

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Факультет автоматизированных и информационных систем



ERA – СОВРЕМЕННАЯ НАУКА: ЭЛЕКТРОНИКА, РОБОТОТЕХНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ

МАТЕРИАЛЫ

**II Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых**

Гомель, 30–31 октября 2025 года

Гомель 2026

УДК 621.3+004+33+378+328(042.3)

ББК 30+65

E10

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, проф. А. А. Бойко (отв. редактор),
канд. физ-мат. наук, доц. А. А. Бабич
канд. техн. наук, доц. И. И. Суторьма
канд. техн. наук, доц. В. А. Савельев
канд. техн. наук, доц. Ю. В. Крышнев
канд. техн. наук, доц. К. С. Курочка
канд. техн. наук, доц. Т. А. Трохова
ст. преподаватель И. В. Дорощенко

Под общей редакцией д-ра техн. наук, доц. *А. А. Бойко*

Подготовка и проведение конференции осуществлены на базе
Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого

ERA – Современная наука: электроника, робототехника, автоматизация : материалы II Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 30–31 окт. 2025 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, фак. автоматизир. и информ. систем ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2026. – 314 с.

ISBN 978-985-535-632-6.

Изложены материалы II Международной научно-технической конференции по следующим направлениям: электроника и радиотехника, наноматериалы и нанотехнологии, физические проблемы производства полупроводников, информационные технологии и управление в технических системах, телекоммуникационные системы и связь, методы и средства специальных измерений, робототехника и автоматизация, тенденции и проблемы производства современных электронных устройств, системное программное, компьютерное моделирование, искусственный интеллект и новейшие информационные технологии, применение информационных технологий в науке и обществе.

Для студентов, аспирантов и молодых ученых.

УДК 621.3+004+33+378+328(042.3)

ББК 30+65

ISBN 978-985-535-632-6

© Оформление. Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Крышнев Ю. В., Запольский А. Е.</i> Комплекс технических решений для совершенствования существующих методов антикоррозийной защиты магистральных трубопроводов	10
<i>Крышнёв Ю. В., Буракова М. У., Крышнёв С. Ю., Дмитрук С. А.</i> Метод інтанаційних табулятор для розпознавання і синтезу прасадичних сродкаў маўлення апаратна-праграмнымі сістэмамі.....	20

Секция I. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Ковалева Д. Ю., Потлов А. Ю.</i> Сферы применения 3D-печати в медицине	29
<i>Любавина М. А., Журавлев Н. Р., Евстигнеева Е. П., Фролова Т. А.</i> Технология отслеживания и анализа сна ребенка.....	30
<i>Панькин Д. В., Дубровин В. В.</i> Сравнение алгоритмов машинного обучения при диагностике состояния сердечно-сосудистой системы.....	33
<i>Шнякина Я. И., Коробов А. А.</i> Модифицированная математическая модель сердечно-сосудистой системы для оценки влияния прибора сердечно-легочной реанимации	35
<i>Ушаков А. Ю., Фролов С. В.</i> Применение цифрового двойника и систем принятия врачебных решений в условиях палат интенсивной терапии и реанимации	37
<i>Евстигнеева Е. П., Любавина М. А., Фролов С. В.</i> Умная таблетница для слепых	39
<i>Савинова К. С., Ковалева Д. Ю., Фролов С. В.</i> Реализация усовершенствованного двухпозиционного управления гидродинамическим фантомом новорожденного	41
<i>Алшауки З. М. А. А., Аль-Камали М. Ф. С. Х.</i> Инновационные технологии в стоматологии: аддитивное восстановление зубов на основе 3D-печати с интеграцией передовых материалов, цифровых систем и биосовместимых решений	43
<i>Аллакулыев Ш., Суннатов А.</i> Обеспечение безопасности данных в прикладном программном обеспечении: технологии шифрования, защиты от утечек и соответствие стандартам (GDPR, HIPAA) в разработке приложений	45
<i>Мырадов П. С.</i> Использование искусственного интеллекта в прикладных приложениях	47
<i>Хамраев А. М.</i> Методы защиты данных в телекоммуникационных сетях.....	48
<i>Мартинович Л. В., Семец В. А., Петровская Т. А.</i> Оптимизация активов предприятия как ключевой фактор повышения эффективности персонала.....	50
<i>Артамонов А. А., Намдаг Т. Ц., Косарева Е. М.</i> Экспертная оценка точности работы нейросети для оценки правильности решения заданий школьной программы.....	52
<i>Бардашевич А. В., Федоренко В. А.</i> Разработка RAG-системы на основе локальной базы знаний для автоматизированного обучения специалистов в отрасли связи.....	54

Барковский В. Д., Федоренко В. А. Анализ современных фишинговых атак и методов защиты от социальной инженерии	56
Глушаченко Н. С., Деменковец Д. В., Бранцевич П. Ю. Система оценки равновесия и положения голеностопного сустава	58
Кедик П. Р., Врублевский И. А. Сравнительный анализ алгоритмов шифрования	60
Кушнер А. А., Косарева Е. М. Принципы проектирования UI-дизайна для медицинских приложений на примере программного средства диагностики и коррекции хронического постинсультного болевого синдрома	62
Лазарева Ю. А., Скудняков Ю. А. Мобильное приложение для определения заболеваний кожи человека с использованием лампы Вуда	64
Лазарева Ю. А., Скудняков Ю. А. Программно-алгоритмическое обеспечение диагностики и лечения кожных заболеваний человека	67
Фирсов А. А., Герасимов А. С. Анализ современных фишинговых атак и методов защиты от социальной инженерии	69
Шкляник М. И., Сидоров С. В. Цифровое развитие «умных городов» и интеллектуальные решения	70
Богомаз К. С., Боброва Н. Л. Современные методы решения задач логистики с помощью систем поддержки принятия решений	72
Шорех Д. В., Шуть В. Н. Применение кассетно-конвейерной технологии скоростных систем городского общественного транспорта для связи городов-спутников с Минском	74
Колодич М. П., Грицук Д. Ю., Шуть В. Н. Скоростные возможности метро щелевого типа	76
Сундуков П. А., Шах А. В. Компьютерное моделирование прочностных характеристик зубных имплантов	78
Авчинникова А. И., Александрова С. А. Использование IoT-технологий в логистике	80
Задоя Е. С., Александрова С. А. Внедрение технологичных способов оплаты проезда в общественном транспорте г. Могилева	82
Марченко М. Н., Тарасова А. М., Фомченко Д. А., Бородич Т. А. Искусственный интеллект и новейшие информационные технологии	85
Морозова К. В., Бородич Т. А. Применение информационных технологий в управлении запасами автотранспортного предприятия	87
Олехнович М. Н., Травничева П. В. Разработка кроссплатформенного приложения для поддержания здорового образа жизни с адаптивной системой геймификации	89
Бородич А. Д., Травничева П. В. Разработка кроссплатформенного мобильного приложения для комплексного контроля психоэмоционального состояния	91
Клецко Е. А., Иванченко Н. С., Травничева П. В. Проектирование и реализация высокопроизводительной системы хранения и индексирования нейроданных с семантическим поиском	93
Ильющенко Я. А., Травничева П. В. Эффективная архитектура системы мониторинга на основе разделяемой памяти для Unix-подобных операционных систем	95
Голубев Р. Д., Сипаков И. Е. Разработка модуля автоматизированной оценки качества электронных образовательных ресурсов для системы управления обучением Moodle	97

Голубев Р. Д., Сипаков И. Е. Применение искусственного интеллекта для анализа данных учебной активности в LMS Moodle: предиктивная модель для выявления студентов в группе риска.....	99
Гиоргадзе Т. Т., Хвостюк П. О., Сипаков И. Е. Разработка бэкенд-архитектуры для системы прогнозирования академических рисков студентов.....	101
Хвостюк П. О., Гиоргадзе Т. Т., Сипаков И. Е. Разработка Front-end компонента для информационной системы учета и анализа успеваемости студентов с модулем прогнозирования рисков	103
Мацук И. А., Сипаков И. Е. Интеграция адаптивных алгоритмов в Telegram-бот для персонализации процесса изучения английского языка	105
Гончарова В. В., Янкевич Е. М. Место информационных технологий в образовательном процессе.....	107
Лавринович М. Н., Янкевич Е. М. Подходы к автоматизированной обработке анализа статистических данных.....	109
Петроченко В. С., Янкевич Е. М. Место информационных технологий в эффективной адаптации баз данных.....	111
Тимофеева А. Р., Янкевич Е. М. Влияние информационных технологий на эффективность процессов циркулярной экономики	113
Лисовский А. С., Янкевич Е. М. Разработка универсального мобильного приложения для оптимизации доступа к расписанию занятий в учреждениях образования.....	115
Бувеч В. А., Бувеч Т. В. Разработка образовательного ИИ-ассистента для изучения физики	117
Лукашевич В. В., Скуковская А. А. Анализ потерь данных в цепочке межсистемного обмена форматами	119
Посох М. А., Булохов К. Ю., Скуковская А. А. Функциональные требования к программе для учета кураторской группы.....	121
Филатов Е. Ю., Постник И. В. Программное обеспечение станции мониторинга окружающей среды Wifi-School-Station в учреждениях образования.....	123
Маханова В. Ю., Пулко Т. А. Интегрированная система обнаружения аномалий сервера и IoT-устройств	125
Залесский М. К., Андрейчук О. Н., Середа И. А. Система автоматизированного проектирования чат-ботов на базе мессенджера Telegram.....	127
Морковский А. М., Дерюжкова О. М. Эволюция интерфейсов системного программного обеспечения: от командной строки к графике	129
Дубовик В. И., Капшай В. Н. Визуализация условий квантования для четных и нечетных функций: идея интерактивного приложения.....	132
Железко Н. С., Лукашевич С. А. Асинхронный подход в программировании	134
Муслех Б. С. Х., Князюк А. С. Лазерный шов в хирургии: современный метод закрытия ран и заживления тканей.....	136
Пивовар С. Н., Рогов С. В. Применение 3D-печати в изготовлении деталей сельскохозяйственных машин.....	138
Глушенок А. А., Асенчик О. Д. Архитектура программного комплекса для создания учебных программ с использованием больших языковых моделей	140
Евженко Ю. Д., Курочка К. С. Проблема контролируемости и верификации в автономных LLM-агентах	142

<i>Ren Huanhai, Wang Xuemei, Kurachka K. S.</i> Methodology for assessing the accuracy and quality of labeling and segmentation of MRI images of the human lumbar spine	144
<i>Wang Xuemei, Ren Huanhai, Kurachka K. S.</i> Research on the method of human lumbar spine model reconstruction based on public datasets	146
<i>Морозько И. В., Суторьма И. И.</i> Процедурная генерация контента.....	148
<i>Wang Hao, Zhang Nan, Komrakov V. V.</i> Lubricating oil property insights through simplified measurement	150
<i>Маслак Е. И., Комраков В. В.</i> Информационно-аналитическая система для повышения экономической эффективности работы автотранспорта РУП «Гомельэнерго».....	152
<i>Черкас Е. А., Комраков В. В.</i> Управление выводом изображения на светодиодные матрицы без применения распределенных систем	154
<i>Поливач Я. А., Токочаков В. И.</i> Компьютерная модель и программные средства для моделирования работы холодильной компрессорной станции с рекуперацией тепловой энергии	157
<i>Клевжиц Д. А., Андреевец Ю. А., Стасенко Д. Л.</i> Моделирование работы гидросистемы рулевого управления погрузчика в приложении Automation Studio	158
<i>Клевжиц Д. А., Андреевец Ю. А., Стасенко Д. Л.</i> Моделирование работы гидросистемы рабочего оборудования погрузчика в приложении Automation Studio	161
<i>Дробышевский Е. А., Дорощенко И. В.</i> Web-приложение для оценки постинсультной боли и подбора рекомендаций по лечению.....	163
<i>Волосевич М. В., Дорощенко И. В.</i> Цифровой голографический микроскоп.....	165
<i>Лазовой М. А., Ларионов А. В., Торговцов П. А., Дорощенко И. В.</i> Система мониторинга оборудования буровых установок на базе платформ с открытым исходным кодом	167
<i>Чижевский С. О., Дорощенко И. В.</i> Интерактивное игровое приложение в жанре метроидвания на платформе Unity	168
<i>Шаблинский Д. А., Асенчик О. Д.</i> Архитектура программного комплекса для создания достоверных учебных материалов с использованием языковых моделей	170
<i>Пищук А. Ю., Токочаков В. И.</i> Имитационная модель и соответствующие программные средства моделирования работы когенерационной установки районной больницы	172
<i>Езепенко Р. О., Стародубцев Е. Г.</i> Программный комплекс для интеграции и семантического обогащения разнородных информационных ресурсов предприятия на основе онтологических моделей	173
<i>Поливач Я. А., Токочаков В. И.</i> Проектирование систем рекуперации отработанного тепла на промышленных объектах	175
<i>Al-Ameri O. A. S. M., Al-Kamali M. F. S. H.</i> Privacy risks in the age of artificial intelligence: challenges and safeguards	177
<i>Blalah J. A. A., Al-Kamali M. F. S. H.</i> Digital transformation in Yemen's healthcare sector: enhancing data protection and resilience	179
<i>Saeed G. A. K., Osipov B. B.</i> Privacy and data protection in digital healthcare: challenges and innovations.....	181
<i>Бабкин М. А., Запольский А. Е.</i> Блок управления для автоматизированной теплицы	183

Илларионов П. А., Ковалев А. В., Запольский А. Е. Система тестирования насосного оборудования с идентификацией объекта проверки	186
Фэнт Найфань, Крышнев Ю. В., Запольский А. Е. Разработка модульной метеостанции на базе микроконтроллера STM32 для задач Интернета вещей	189
Аль-Шамери Ш. А., Ковалев А. В., Запольский А. Е. Встроенная система мониторинга режимов работы оборудования комбинированной дорожной машины с электрогидрофицированными рабочими органами	192
Дмитриев Д. Д., Дерябин Е. В., Удодова К. А., Запольский А. Е. Аналитический обзор систем домашней автоматизации: архитектура и протоколы, принципы построения и современные тенденции.....	194
Хафід Анджар, Крышнєў Ю. В., Запольскі А. Я., Кухарэнка С. М., Сахарук А. У. Структура унутрытрубнай прылады пошукавай сістэмы для рухомых тэхнічных прылад нафтаправода	197

Секция II. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Кузнецова А. В., Петров И. Э., Фролов С. В. Конструкционные особенности умных очков для слабослышащих и глухих людей.....	201
Кузнецова А. В., Аветисян А. Р., Проскурин С. Г. Измерение вариабельности сердечного ритма на основе тоноплетизмографии	203
Моргунов Н. Р., Сеченева Е. В., Судаков Д. Е. Сравнительное исследование веноскопа и стандартного метода поиска вен	205
Сеченева Е. В., Моргунов Н. Р., Коробов А. А. Цифровая трансформация лечебно-диагностических процессов и внедрение систем поддержки принятия врачебных решений.....	207
Чупахин И. А., Демидов М. С., Гребенникова Н. М. Стенд для обучения пилотированию беспилотных летательных аппаратов.....	209
Альнакиб И. С. А. Х., Аль-Камали М. Ф. С. Х. Современные методы прогнозирования и оценки надежности машин на этапе проектирования и эксплуатации	211
Мырадов П. С. Методы защиты автоматизированных систем управления от кибератак	213
Мырадов П. С. Использование искусственного интеллекта в прикладных приложениях	215
Хамраев А. М. Роль искусственного интеллекта в обнаружении и предотвращении угроз в реальном времени	216
Чарыев А. Б., Байлиев Б. Н. Робототехника и автоматизация: технические и программные средства с манипуляторами	218
Шайымов С. С., Веллиева С. Т. Современные направления развития робототехники и автоматизации	220
Шайымов С. С., Веллиева С. Т. Роботизация и автоматизация в транспорте: достижения, вызовы и перспективы	221
Коваленко Д. А., Врублевский И. А. Электрические свойства аморфных углеродных пленок с графитоподобной структурой	224
Коваленко Д. А., Буневич М. А., Врублевский И. А. Исследование механизма проводимости анодных пленок TiO ₂ при низких температурах	226
Дворникова Т. Н., Юревич В. А. Система мониторинга автомобильной безопасности с цифровой обработкой сигналов на базе ESP32.....	228

Будник В. С., Врублевский И. А. Поверхностная структура и светопропускание хлорзамещенных металлоорганических перовскитов, легированных RNH^{3+} катионами.....	231
Зелинский И. А., Федоренко В. А. Анализ механизмов затухания и рефракции радиоволн в тропосфере на основе количественных моделей и данных реальных систем	233
Карник С. Э., Парамонов А. И. Анализ покупательского интереса на основе интеллектуальной обработки видеопотока	235
Ковалев Д. Ю., Ланин В. Л., Слижева А. В. Модификация паяных соединений поверхностного монтажа углеродными нанотрубками.....	237
Лушакова М. С., Тихон О. И., Мадвейко С. И. Влияние высоты рабочего объема плазменной камеры на процесс травления кремния.....	239
Тихон О. И., Мадвейко С. И. Исследование процесса удаления фоторезиста в объеме СВЧ разряда при непрерывном режиме генерации электромагнитной энергии	241
Прокошин М. И., Врублевский И. А. Экспериментальная оценка системы активной защиты контролируемой зоны от утечки речевой информации по виброакустическому каналу.....	244
Ковалев Д. Ю., Ланин В. Л., Рахлин М. Е., Юшко Д. Е. Физические эффекты индукционного нагрева в воздушном зазоре магнитопровода.....	247
Пакуш П. А., Врублевский И. А. Анализ обеспечения защиты речевой информации выделенного помещения от утечки по акустоэлектрическим каналам	250
Хаджинова К. А., Хаджинов М. К. Одноконтурный позиционный электропривод	254
Алексеев А. Д., Федоренко В. А. Внедрение современных технологий 5G, IoT и искусственного интеллекта в систему связи для повышения эффективности и надежности	257
Будревич Н. С., Веселовский В. А., Исаев А. В. Максимально-дифференциальные тепловые пожарные извещатели	258
Веселовский В. А., Будревич Н. С., Исаев А. В. Модернизация конструкции извещателя охранного звукового пассивного	261
Kazlouskaya Y. A., Slassi Mutabir S. A. Trends and problems in the production of modern electronic devices in the context of import substitution.....	263
Марченко И. С., Голяк А. И., Ковалевский Р. В., Матрунчик Ю. Н. Роботизация процесса транспортирования заготовок, деталей, инструмента и другого вспомогательного оборудования с использованием декартового робота.....	265
Филатов Е. Ю., Бойкачев П. В., Менжинский А. Б., Сицко А. Л., Дубовик И. А. Разработка системы мониторинга и анализа параметров среды для продления сроков хранения продуктов в бытовых холодильниках и контроля микроклимата помещений	267
Эйсмонт Я. Ю., Постник И. В. Умная школа на микроконтроллере ESP32 с возможностью управления удаленно	269
Радкевич А. А., Павлюковец С. А. Определение параметров позиционирования автономного мобильного робота на основе анализа и обработки информации от лазерного дальномера	271
Плясункова А. А., Шматок Е. В., Врублевский И. А. Анализ закономерностей формирования пленочных дендритов меди методом электрокристаллизации	274

Плясункова А. А., Шматок Е. В., Врублевский И. А. Оценка междендритных пустот дендритов меди, полученных электрокристаллизацией, с использованием параметра Area Fraction	276
Тарасевич М. Д., Вабищевич Л. И. Беспилотная тележка под управлением программируемого логического контроллера.....	277
Травничева П. В., Нестерович К. А. Разработка USB-накопителя с возможностью Wi-Fi доступа	279
Макаева А. П., Шишова О. Н. Основные методы многокритериальной оптимизации и их применение к структурной оптимизации технологических процессов.....	281
Шилов А. В., Сотский А. Б. Измерение дифракционных полей в оптических волноводах	283
Киселев С. Р., Вабищевич Н. В. Разработка емкостной панели управления на базе Arduino Uno	285
Монархович И. Е., Галушко В. Н., Громыко И. Л. Разработка удаленной системы мониторинга и диагностики электроустановок системы железнодорожного электроснабжения с использованием сверточных нейронных сетей.....	287
Alanesi T. A. A., Al-Kamali M. F. S. H. Design and optimization of Low-power implantable pacemaker system using advanced microelectronic technologies.....	289
Amhaz W. H., Al-Kamali M. F. S. H. Wireless capsule endoscopy: a technological leap toward replacing traditional endoscopic methods	291
Боровикова Е. А., Горст В. А., Комнатный Д. В. Резонанс-трансформаторы.....	293
Ли Мосянь, Брель В. В. Проектирование пьезоэлектрического насоса на основе трехмерного моделирования: модернизация и оптимизация интеллектуального оборудования	295
Сулейманов Теймур, Савельев В. А. Автоматизация процессов охлаждения и термообработки металла с применением адаптивных систем управления	297
Чжан Лифан, Савельев В. А. Проблемы и перспективы применения TinyML для интеллектуального мониторинга промышленного оборудования....	299
Чжан Чжунбинь, Савельев В. А. Перспективы применения и актуальные проблемы матричных преобразователей частоты	301
Цзя Шусян, Погуляев М. Н. Системы нагружения резервных дизель-генераторов.....	303
Яо Бинь, Погуляев М. Н. Энергосберегающее нагрузочное устройство для испытаний дизель-генераторов локомотивов	305
Ли Дэцян, Кудин В. П. Проектирование фазированной антенной решетки с двойной наклонной поляризацией	307
Ли Чонг, Кудин В. П. Проектирование миниатюрной антенны с ультрашироким диапазоном и множественным входом и выходом	309
Эсанов Т. Б. Перспективы использования современных электронно-солнечных электрических зарядных станций для обеспечения энергоэффективности электромобилей в регионах с высокой солнечной активностью	312

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ АНТИКОРРОЗИЙНОЙ ЗАЩИТЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Ю. В. Крышнев, А. Е. Запольский

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Рассмотрены основные проблемы антикоррозийной защиты подземных магистральных трубопроводов. Проведен анализ энергетической эффективности существующих станций катодной защиты (СКЗ) и факторов, вызывающих неравномерность защитного потенциала. Предложен комплекс технических решений, включающий переход к инверторным СКЗ с многоканальным импульсным регулированием, применение альтернативных источников энергии (солнечных панелей и ветрогенераторов), организацию резервированного канала телеметрии с использованием коротковолновой цифровой радиосвязи и внедрение нейросетевых алгоритмов для прогнозирования отказов и адаптивного управления защитой. Приводятся расчетные соотношения для выбора фотоэлектрических преобразователей и определения параметров изоляции. Реализация предложенных мер позволяет повысить равномерность распределения защитного потенциала, снизить энергопотребление и обеспечить автономность СКЗ на удаленных участках трасс.

Ключевые слова: катодная защита, магистральный трубопровод, энергоэффективность, инверторная станция, солнечная панель, коротковолновая радиосвязь, искусственный интеллект, нейронная сеть.

COMPLEX OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR INCREASING ENERGY EFFICIENCY AND AUTONOMY OF CATHODIC PROTECTION SYSTEMS FOR MAIN PIPELINES

Yu. V. Kryshneu, A. Ya. Zapolski

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The main problems of anticorrosion protection of underground main pipelines are considered. An analysis of the energy efficiency of existing cathodic protection stations (CPS) and factors causing non-uniformity of protective potential is carried out. A set of technical solutions is proposed, including the transition to inverter CPS with multichannel pulse regulation, the use of alternative energy sources (solar panels and wind generators), the organization of a redundant telemetry channel using short-wave digital radio communication, and the introduction of neural network algorithms for failure prediction and adaptive protection control. Calculation relationships for selecting photovoltaic converters and determining insulation parameters are given. The implementation of the proposed measures will improve the uniformity of distribution of protective potential, reduce energy consumption and ensure the autonomy of the CPS in remote sections of the route.

Keywords: cathodic protection, main pipeline, energy efficiency, inverter station, solar panel, shortwave radio communication, artificial intelligence, neural network.

Трубопроводный транспорт является критически важным элементом экономики Республики Беларусь, обеспечивая транзит нефти, природного газа и нефтепродук-

тов. Стоит отметить, что значительная часть существующей инфраструктуры эксплуатируется длительное время.

Основной причиной отказов и аварийных ситуаций является коррозия – постепенный электрохимический или химический процесс разрушения металлоконструкций при взаимодействии с агрессивной окружающей средой, вызванный термодинамической неустойчивостью металлов, которые в естественной среде находятся в окисленном состоянии. Коррозия классифицируется по механизму ее прохождения, характеру разрушения, типу окружающей среды.

Классификация по механизму прохождения коррозии является определяющей: химический и электрохимический подтип. Степень активности металлов зависит от их способности вытеснять водород из воды и кислотных растворов [1].

Химическая коррозия определяется площадью контакта «металл–среда (не электролит)», продолжительностью взаимодействия, температурой, качеством и видом обработки металлической поверхности. Грунты делятся на 3 степени коррозионной активности – высокую (при $\rho \leq 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$: торфяники и влажные черноземы), среднюю (при $\rho = 20\text{--}50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$: торфяники и черноземы с низкой влажностью), низкую (при $\rho \geq 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$: песок, глина, бедный чернозем) [2].

Электрохимическая коррозия связана с разрушением металла под действием гальванических элементов, возникающих в коррозионно-активной среде. Основным элементом электрохимической коррозии является электролит, который при взаимодействии «металл–металл–электролит» или «металл–сплав–электролит» приводит к возникновению в замкнутом гальваническом элементе разрушающего ионного тока: металл с меньшим окислительно-восстановительным потенциалом разрушается, а с большим – сохраняется.

По характеру прохождения коррозия делится на полную, общую и локальную. Первые 2 вида являются наиболее критичными, так как могут полностью вывести объект из строя.

При этом скорость коррозии на разных участках трубопровода отличается, что приводит к неоднородному износу объекта на разных его участках, что делает коррозию сложным процессом, на который наибольшее влияние оказывает взаимодействие «объект – внешняя среда».

Способы антикоррозионной защиты можно разделить на активные и пассивные. К активным методам относят электрохимическую защиту, к пассивным – изоляционные покрытия. Принцип реализации активной защиты в виде конфигурации станции катодной защиты продемонстрирован на рис. 1.

При катодной защите трубопровода положительный полюс источника постоянного тока (анод) подключается к специальному анодному заземлителю, а отрицательный (катод) – к защищаемому сооружению [2].

Принцип действия катодной защиты аналогичен электролизу. Под воздействием электрического поля начинается движение электронов от анодного заземлителя к защищаемому сооружению. Теряя электроны, атомы металла анодного заземлителя переходят в виде ионов в раствор почвенного электролита, при этом анодный заземлитель разрушается, что определяет его второе название – «жертвенный анод». На катоде (трубопроводе) наблюдается избыток свободных электронов (восстановление металла защищаемого сооружения).

Реализация мероприятий по защите объектов нефтепроводного транспорта требует значительных экономических затрат, в первую очередь – затрат на электроэнергию для систем активной противокоррозионной защиты, главным звеном которых являются станции катодной защиты (СКЗ).

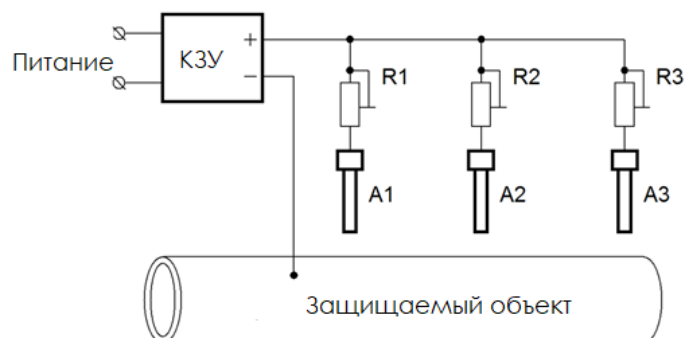


Рис. 1. Технологическая схема электрохимической защиты с распределенными анодами:

КЗУ – катодное защитное устройство; R1, R2, R3 – регулировочные сопротивления; A1, A2, A3 – анодные заземлители

При этом действующие нормативы (ГОСТ 9.602-2016, СТБ ГОСТ Р 51164-2001) оставляют нерешенными ряд проблем [3, 4]:

- 1) отсутствие гарантий равномерного распределения защитного потенциала по поверхности большой протяженности;
- 2) отсутствие требований по автоматической подстройке под постоянно изменяющиеся параметры эквивалентного контура протекания тока защиты (сезонная и микробиологическая динамика сопротивления грунта, состояние жертвенного анода и др.);
- 3) отсутствие учета переходных процессов нарастания и спада поляризации;
- 4) отсутствие учета ускоренного коррозионного разрушения металлических конструкций на ответвляемых от основного защищаемого нефтепровода участках;
- 5) отсутствие критериев совместимости параметров электрохимической защиты с материалами трубопровода и его защитного покрытия;
- 6) отсутствие требований по энергоэффективности применяемых технических решений и др.

Исходя из этого актуальной задачей является разработка комплекса технических решений по антикоррозионной защите магистральных трубопроводов.

Комплексное решение должно включать меры, концентрирующие в себе современные аппаратные и программные средства, направленные на повышение энергетической эффективности и автономности СКЗ при одновременном обеспечении равномерной катодной защиты подземных магистральных трубопроводов.

Решение данных проблем возможно комплексным путем: увеличением количества СКЗ и анодных заземлений, изменением установленной мощности и режимов работы станций и др. Перспективными являются применение импульсного тока электрохимической защиты, широкое использование природных источников энергии для формирования защитных потенциалов, пересмотр концепций установки анодных заземлителей с целью повышения интегральной эффективности защиты подземного трубопровода в целом.

Существующие нормативные документы не содержат прямого указания на конкретные расстояния между станциями, так как этот параметр является расчетной величиной. Он зависит от многих факторов: диаметра и толщины стенки трубы, сопротивления изоляционного покрытия, удельного сопротивления грунта и силы тока

станций. Однако именно СТБ ГОСТ Р 51164-2001 задает общие требования (например, к величине защитного потенциала), которые используются при проектировании для определения оптимального количества и мест установки станций электрохимической защиты.

Разработка и внедрение данного комплекса позволит увеличить срок службы существующих и новых нефтепроводов, снизить затраты на их обслуживание и ремонт.

Станции катодной защиты по типу силового преобразователя различают выпрямительные, тиристорные, инверторные.

Трансформаторные станции с тиристорными преобразователями обладают простотой конструкции и ремонтпригодностью, однако характеризуются: низким коэффициентом полезного действия (КПД) – 60–80 % в номинальном режиме, при этом реальный КПД значительно падает при снижении выходной мощности.

Инверторные СКЗ обладают КПД на уровне 90–93 % на номинальной мощности. За счет перенесения трансформации напряжений в высокочастную область они имеют меньшие габариты и вес, а также обеспечивают низкий уровень пульсаций выходного тока. Они технически совершеннее тиристорных станций, однако имеют более сложную схемотехнику.

Зависимость КПД различных по технической реализации СКЗ от коэффициента их загрузки показана на рис. 2.

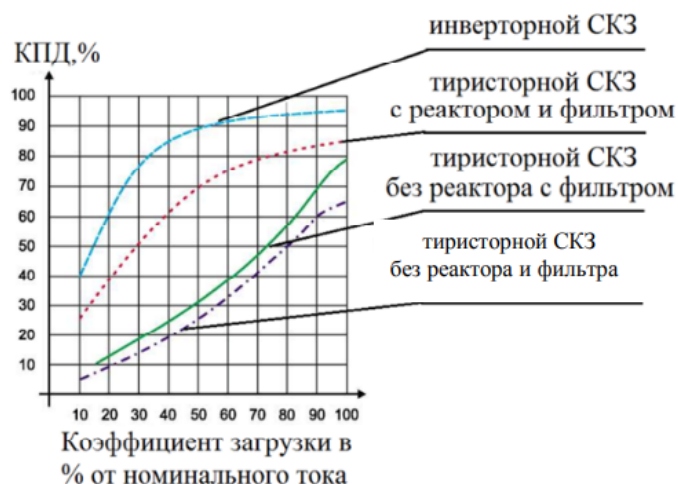


Рис. 2. Зависимость КПД различных по технической реализации СКЗ от коэффициента их загрузки [5]

Из рис. 2 видно, что для достижения наибольшей энергоэффективности, режим эксплуатации СКЗ любого типа по нагрузке должен приближаться к 100 %. Однако необходимо подчеркнуть, что с учетом требований запаса по мощности, реальная установленная мощность эксплуатируемых СКЗ значительно (в 8–10 раз) превышает нормативную, необходимую для поддержания заданного режима работы. Это приводит к снижению КПД станций.

Мощность СКЗ зависит от таких критериев, как сезонно-зависимое удельное электрическое сопротивление грунта и состояние основных системообразующих элементов станции.

Удельное электрическое сопротивление является системой сопротивлений, в которую входит характеристическое входное сопротивление трубопровода, сопротивление соединительных проводов и сопротивление анодных заземлителей.

Характеристическое входное сопротивление трубопровода также определяется как система сопротивлений, которую образует продольное сопротивление металла трубы, переходное сопротивление изоляции и сопротивление грунта.

В процессе эксплуатации переходное сопротивление изоляции падает по экспоненциальному закону, сопротивление анодных заземлителей монотонно возрастает вследствие образования на них коррозионных отложений и их постепенного растворения в грунте; удельное сопротивление грунта испытывает сезонные колебания, достигающие его абсолютной величины. При фиксированных настройках тока или напряжения СКЗ, указанные вариации приводят к неравномерности защитного потенциала и появлению локальных участков с недопустимо низкой защищенностью.

Графики временных зависимостей сопротивлений, которые оказывают влияние на защитный потенциал, показаны на рис. 3, график изменения сопротивления изоляции в зависимости от времени ее использования показан на рис. 4.

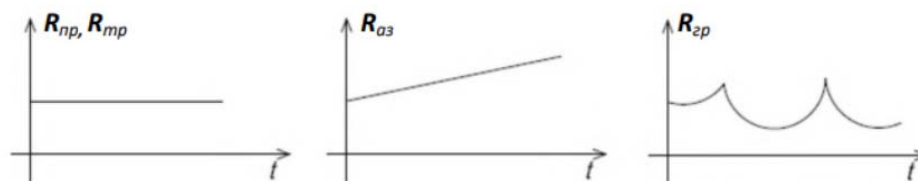


Рис. 3. Графики зависимостей сопротивлений, которые оказывают влияние на защитный потенциал, от времени:

$R_{пр}$ – сопротивление проводов; $R_{аз}$ – сопротивление анодных заземлителей;
 $R_{гр}$ – сопротивление грунта (вдоль трубопровода)

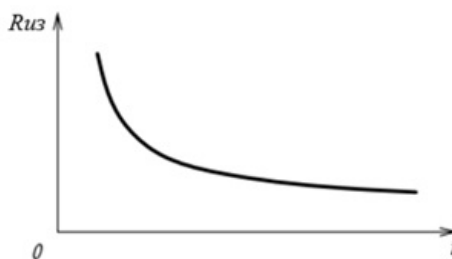


Рис. 4. График изменения сопротивления изоляции в зависимости от времени ее использования

Таким образом, первоочередными задачами совершенствования являются переход на энергоэффективные инверторные преобразователи с возможностью оперативного регулирования по состоянию объекта и применение источников питания, обеспечивающих автономность СКЗ на удаленных участках трасс.

Базовый силовой блок должен быть построен на инверторной (бестрансформаторной) схеме, выполненной на MOSFET-транзисторах с минимальным временем переключения и управляемой микропроцессорным устройством управления (МПУУ). Принцип реализации стабилизатораа анодного тока для СКЗ телемеханического типа показан на рис. 5, реализация СКЗ данного типа с микропроцессорным управляющим устройством – на рис. 6.

Для снижения динамических потерь применяются высокоскоростные драйверы, а для минимизации статических потерь в выпрямителе – синхронное выпрямление на диодах Шоттки. Омические потери в обмотках трансформаторов минимизируют-

ся за счет высокой частоты преобразования (десятки кГц), что позволяет резко сократить число витков и использовать проводники увеличенного сечения.

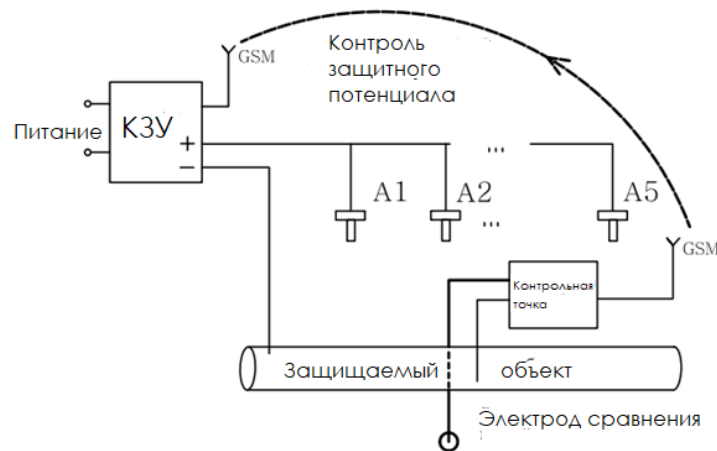


Рис. 5. Принцип реализации стабилизатора анодного тока для СКЗ телемеханического типа:

КЗУ – катодное защитное устройство; А1–А5 – глубинные анодные заземлители

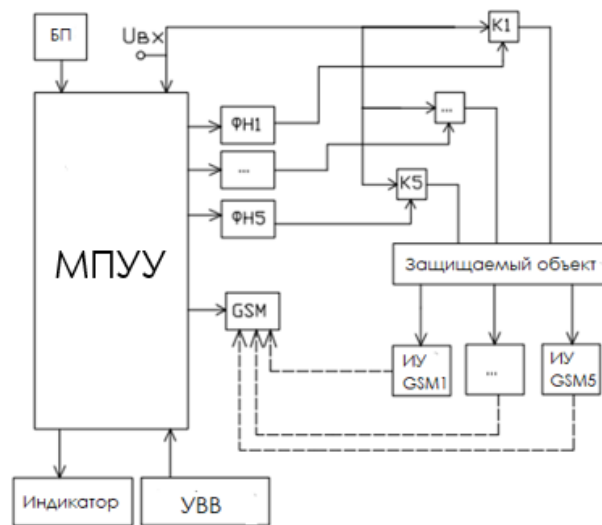


Рис. 6. СКЗ с микропроцессорным управляющим устройством:

МПУУ – микропроцессорное устройство управления;

К1–К5 – каналы стабилизатора-делителя тока;

ИУ1– ИУ5 – измерительные усилители; БП – блок питания;

ФН1–ФН5 – формирователи напряжения;

GSM – телекоммуникационные модули формата GSM

Одним из ключевых элементов системы является многоканальный импульсный стабилизатор анодного тока. МПУУ через измерительные усилители непрерывно контролирует величину защитного потенциала на каждом глубинном анодном заземлителе и индивидуально регулирует ток каждого канала таким образом, чтобы выровнять потенциал по всей защищаемой поверхности. Регулирование ведется с компенсацией омической составляющей методом кратковременного отключения то-

ка, что позволяет выделить поляризационный потенциал, непосредственно влияющий на скорость коррозии. Встроенный GSM-модуль обеспечивает передачу телеметрической информации на диспетчерский пункт. Структурная схема устройства мониторинга защитного потенциала с микроконтролерным управлением и дистанционным каналом связи [6, 7] показана на рис. 7.

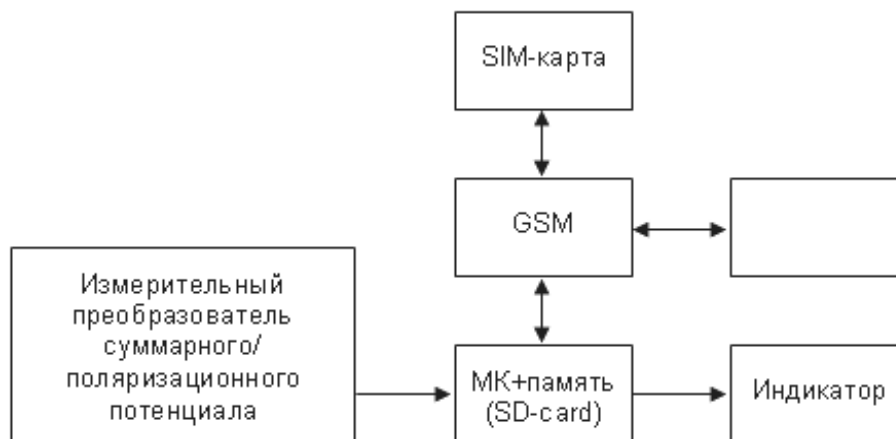


Рис. 7. Структурная схема устройства мониторинга защитного потенциала с микроконтролерным управлением и дистанционным каналом связи

Значительная протяженность трубопроводов и удаленность многих участков от линий электропередачи делают актуальным перевод СКЗ на автономное энергоснабжение с использованием фотоэлектрических панелей (ФЭП) и ветрогенераторов [8, 9].

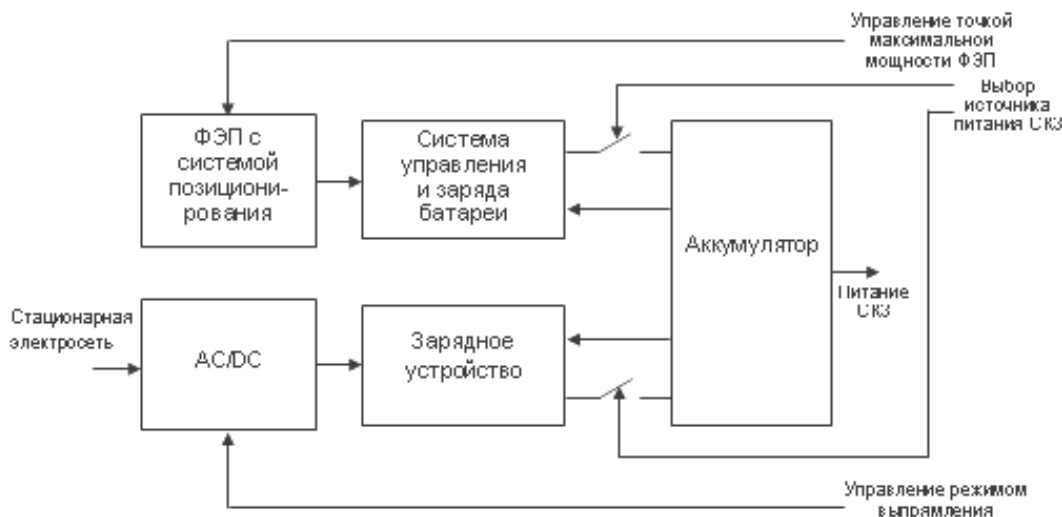


Рис. 8. Структурная схема автономного питания с использованием солнечных панелей с поворотным механизмом

Суточная энергия, вырабатываемая панелью, зависит от суточной инсоляции, приходящейся на горизонтальную поверхность с учетом реальных погодных условий и КПД фотоэлектрического преобразователя [9].

Для увеличения отбора мощности в условиях переменной освещенности целесообразным является использование МРРТ-контроллера (Maximum Power Point Tracking), который в реальном времени смещает рабочую точку ФЭП в точку максимальной мощности [10].

Структурная схема автономного питания с использованием солнечных панелей с поворотным механизмом показана на рис. 8, реализация различных механизмов поворота солнечных панелей относительно Солнца – на рис. 9.

Дополнительное повышение эффективности достигается применением систем автоматического позиционирования панелей: одноосевых или двухосевых трекеров, а также алгоритмических систем, рассчитывающих азимут и угол места Солнца по географическим координатам и времени без использования внешних датчиков.

Комбинированное использование ФЭП и малых ветроустановок совместно с буферными накопителями энергии позволяет сгладить суточные и сезонные колебания генерации и обеспечить гарантированное питание СКЗ.

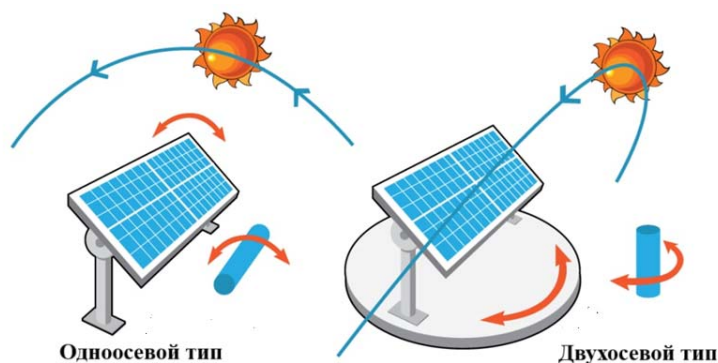


Рис. 9. Реализация различных механизмов поворота солнечных панелей относительно Солнца: одноосевой и двухосевой механизм

Для реализации удаленного мониторинга и управления СКЗ предлагается двух-уровневая система связи. Основной канал организуется на базе сотовой сети, что обеспечивает высокую скорость передачи данных о защитных потенциалах, состоянии оборудования и тревожных событиях. Однако зависимость от инфраструктуры и операторов связи делает этот канал уязвимым в аварийных ситуациях и на участках с неустойчивым покрытием.

В качестве резервного и полностью автономного канала предлагается использование цифровой коротковолновой (КВ) радиосвязи. Выполненный анализ условий распространения декаметровых волн с учетом поверхностной и пространственной составляющих показал, что оптимальным для организации связи на расстояниях от десятков до первых сотен километров в любое время суток является 40-метровый диапазон (7,0–7,2 МГц). Он практически не имеет «мертвой зоны» и позволяет передавать информацию при относительно низкой мощности передатчика. Для небольших расстояний допустимо применение 80-метрового диапазона. Механизм распространения радиоволн показан на рис. 10.

Передача данных может вестись с использованием узкополосных цифровых протоколов (PSK31, Olivia, FT8), обеспечивающих высокую помехоустойчивость при малом отношении сигнал/шум.

Предложенный КВ-канал обеспечивает доставку на диспетчерский пункт контрольных сигналов (срабатывание защит, несанкционированный доступ, переход на

резервное питание), результатов измерения защитного потенциала и состояния электродов сравнения, а также общего энергопотребления системы. Таким образом, достигается полная автономность информационного обмена, не зависящая от функционирования внешней телекоммуникационной инфраструктуры [11].



Рис. 10. Механизм распространения радиоволн

Поток данных, поступающих от распределенной системы контрольно-измерительных пунктов, содержит скрытые закономерности, отражающие динамику деградации изоляции, сезонные тренды сопротивления грунта и предвестники отказов оборудования. Для оперативной обработки этого потока и выработки управляющих воздействий предлагается применение глубоких нейронных сетей [12].

Для решения задачи прогнозирования образования локальных участков недозащиты и оценки остаточного ресурса изоляционного покрытия могут использоваться нейросетевые модели, обученные на исторических данных о распределении токов и потенциалов вдоль трассы, температуре, влажности, химическом составе грунта и маркерных событиях (результаты шурфовок, данные о ремонтах). Сеть способна выявлять аномалии и предсказывать развитие дефектов, что позволяет перейти от плановых ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию.

Для прогнозирования отказов силовых элементов СКЗ (транзисторных модулей, анодных заземлителей, электродов сравнения) и автоматической коррекции уставок защитного тока предлагается использовать рекуррентные сети типа LSTM (Long Short-Term Memory), эффективно улавливающие долгосрочные зависимости во временных рядах измерений, либо сверточные нейронные сети (CNN), обрабатывающие пространственно-временные паттерны со множества точек контроля. Глубокое машинное обучение позволяет также оптимизировать распределение тока между анодными заземлителями по критерию минимума энергопотребления при заданном уровне защищенности [12].

Практическое внедрение интеллектуального управления позволяет сократить эксплуатационные затраты на электроэнергию и обслуживание, одновременно повышая надежность противокоррозионной защиты.

Выполненный анализ и предложенный комплекс технических решений охватывают ключевые аспекты совершенствования систем катодной защиты магистральных трубопроводов: энергоэффективное преобразование, автономное энергоснабжение, резервированную телеметрию и адаптивное интеллектуальное управление. Внедрение инверторных СКЗ с многоканальным импульсным регулированием позволяет устранить проблему неравномерности защитного потенциала. Использование солнечных панелей с MPPT-контроллерами и ветрогенераторов позволяет отказаться от дорогостоящей инфраструктуры ЛЭП на удаленных участках. Применение коротковолновой радиосвязи в качестве аварийного канала обеспечивает надежный

дистанционный контроль вне зависимости от состояния сотовых сетей. Наконец, нейросетевые алгоритмы открывают путь к предиктивному обслуживанию и оптимальному управлению защитой, минимизируя человеческий фактор. В совокупности предложенные решения создают научно-техническую основу для построения распределенной адаптивной системы антикоррозионной защиты нового поколения.

Литература

1. Аналіз умоў узнікнення карозіі падземных трубаправодаў і метадаў яе прадухілення / Ю. В. Крышнеў, А. Я. Запольскі, М. А. Рогаў, Ю. Я. Котава // Современные проблемы машиноведения : сб. науч. тр. В 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 218–221.
2. Аналіз нарматыўных патрабаванняў да арганізацыі актыўных і пасіўных спосабаў абароны магістральных трубаправодаў / Ю. В. Крышнеў, А. Я. Запольскі, Бай Вэй Вэй [і інш.] // Современные проблемы машиноведения : сб. науч. тр. В 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 253–256.
3. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии : ГОСТ 9.602-2016.
4. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии : СТБ ГОСТ Р 51164-2001.
5. Семенов, А. Г. Что такое электрохимическая защита и как выбрать катодную станцию / А. Г. Семенов, Л. П. Сыса // Новости теплоснабжения. – 2004. – № 10. – С. 34–38.
6. Многоканальный стабилизатор катодного тока с возможностью удаленного управления / Л. А. Захаренко, В. М. Лукашов, А. В. Мельников [и др.] // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому) / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 154–155.
7. Запольский, А. Е. Повышение энергетической эффективности катодных защитных устройств / А. Е. Запольский, М. В. Дравица, Р. С. Бондаренко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2022 г. В 2 ч. Ч. 2 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – С. 43–46.
8. Запольскі, А. Я. Спажывальны разлік сонечных панэляў для павышэння энергетычнай эфектыўнасці станцый катоднай абароны падземных трубаправодаў / А. Я. Запольскі, М. А. Рогаў // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2024 г. В 2 ч. Ч. 2 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 60–63.
9. Запольскі, А. Я. Выкарыстанне ветраной энергіі для павышэння энергетычнай эфектыўнасці станцый катоднай абароны падземных трубаправодаў / А. Я. Запольскі, М. А. Рогаў // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2024 г. В 2 ч. Ч. 2 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 63–65.
10. Бондаренко, Р. С. Система автоматизированного управления солнечными панелями для солнечной электростанции / Р. С. Бондаренко, А. Е. Запольский, Д. А. Борешка // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2023 г. В 2 ч. Ч. 2 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 48–51.
11. Запольский, А. Е. Организация телеметрии с использованием коротковолновой радиосвязи для пункта управления станции катодной защиты подземных трубопроводов / А. Е. Запольский, А. В. Сахарук, Ю. В. Крышнев // Проблемы взаимодействия излучения с веществом : сб. материалов VI Междунар. науч. конф., посвящ. акад. Б. В. Бокутю, Гомель, 14 нояб. 2024 г. / Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины, Отд.-ние физики, математики, информатики Нац.

- акад. наук Беларуси, Ин-т физики им. Б. И. Степанова Нац. акад. наук Беларуси ; редкол.: С. А. Хахомов [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2025. – С. 251–252.
12. Запольский, А. Е. Возможности совершенствования систем катодной защиты магистральных нефтепроводов / А. Е. Запольский // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 24–25 апр. 2025 г. : в 2 ч. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 229–231.

МЕТАД ІНТАНАЦЫЙНЫХ ТАБУЛАТУР ДЛЯ РАСПАЗНАВАННЯ І СІНТЭЗУ ПРАСАДЫЧНЫХ СРОДКАЎ МАЎЛЕННЯ АПАРАТНА-ПРАГРАМНЫМІ СІСТЭМАМІ

Ю. В. Крышнёў², М. У. Буракова², С. Ю. Крышнёў¹, С. А. Дзмітрук²

¹Гомельскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Францыска Скарыны,
Рэспубліка Беларусь

²Гомельскі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт імя П. В. Сухого,
Рэспубліка Беларусь

Апісваецца метада інтанацыйных табулатур для кадавання прасадых параметраў маўлення (вышыні тону, інтэнсіўнасці, тэмпу) з мэтай іх распазнавання і сінтэзу апаратна-праграмнымі сістэмамі. Разгледжаны акустычныя аспекты гукаўтварэння, сегментныя і супraseгментныя адзінкі мовы, асноўныя функцыі інтанацыі. Прапанавана прадстаўленне інтанацыйнага контуру ў выглядзе паслядоўнасці 8-бітных кодаў, якія адпавядаюць ячэйкам матрыцы 8×8 (табулатыры), дзе камбінацыі бітаў задаюць гучнасць, зрух частаты фарманты і працягласць. Метада дазваляе незалежна перадаваць лічбавыя эквіваленты фундаментальных супraseгментных параметраў, што важна для дакладнага сінтэзу маўлення і ўдасканалення маўленчых інтэрфейсаў. Апісаны этапы рэалізацыі метада: выяўленне акустычных інварыянтаў, распрацоўка метадалогій аналізу і сінтэзу, стварэнне праграма-тэхнічных сродкаў і базы даных.

Ключавыя словы: інтанацыйныя табулатыры, прасодыя, распазнаванне маўлення, сінтэз маўлення, акустычныя параметры, вышыня тону, інтэнсіўнасць, тэмп, фарманты, сегментныя адзінкі.

METHOD OF INTONATIONAL TABLATURES FOR RECOGNITION AND SYNTHESIS OF PROSODIC SPEECH MEANS BY HARDWARE-SOFTWARE SYSTEMS

Yu. V. Kryshneu², M. V. Burakova², S. Yu. Kryshneu¹, S. A. Dzmitruk²

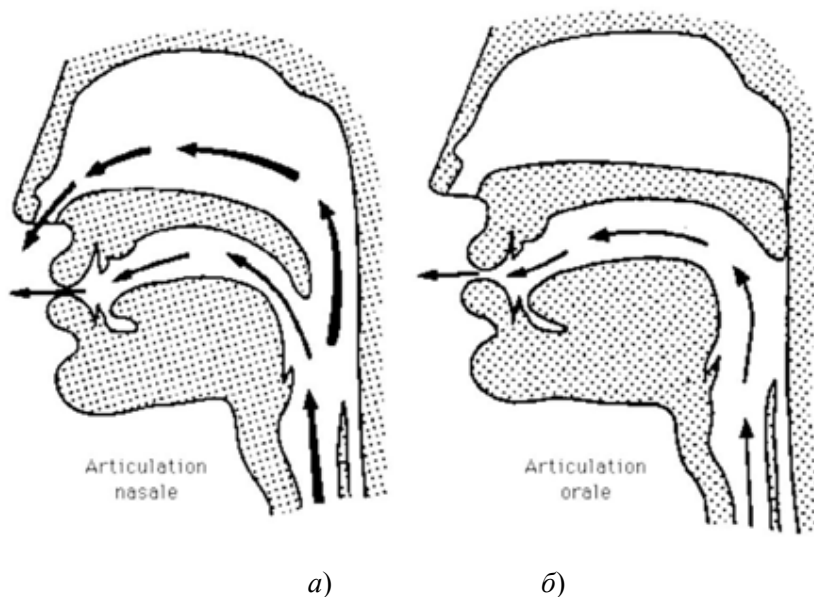
¹Francysk Skaryna State University of Gomel, Republic of Belarus

²Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper describes a method of intonational tablatures for coding prosodic speech parameters (pitch, intensity, tempo) to enable their recognition and synthesis by hardware-software systems. Acoustic aspects of phonation, segmental and suprasegmental units of language, and the main functions of intonation are considered. The proposed approach represents the intonation contour as a sequence of 8-bit codes corresponding to cells of an 8×8 matrix (tablature), where bit combinations encode loudness, formant frequency shift, and duration. The method allows independent transmission of digital equivalents of fundamental suprasegmental parameters, which is important for accurate speech synthesis and improving speech interfaces. The implementation stages of the method are outlined: identification of acoustic invariants, development of analysis and synthesis methodologies, creation of hardware-software tools, and a database.

Keywords: intonational tablatures, prosody, speech recognition, speech synthesis, acoustic parameters, pitch, intensity, tempo, formants, segmental units.

Аспекты гукавых з’яваў пры артыкуляцыі. Навуковая галіна акустычнай фанетыкі з’яўляецца міждысцыплінарнай і залучае ў свой склад элементы мовазнаўства, анатоміі, фізікі, а ў апошні час – дадаткова інфармацыйна-вымяральной тэхнікі і праграмавання. Анатамічны аспект неабходны для дэталёвага разгляду пытанняў гукаўтварэння з дапамогай галасавога тракту чалавека. Паслядоўнасць гукаўтварэння можа быць спрощана прадстаўлена наступным ланцужком. Лёгкія забяспечваюць неабходны ціск паветра і рэгулююць яго сілу, тым самым вырабляючы змены ў інтэнсіўнасці гукаў гаворкі. Непасрэднае гукаўтварэнне адбываецца ў гартані, глотцы, ротавай і носавай парожнінах. Паветраны струмень, які выходзіць з лёгкіх, атрымлівае ў іх важныя змены [1, 2].



Мал. 1. Праходжанне паветранага струменя пры назальнай (а) і аральнай (б) артыкуляцыі

Рухі органаў маўлення змяняюць форму, памер і аб’ём надгартаных парожнін (глоткі, рота і носавай парожніны), тым самым змяняючы голас, які зыходзіць з лёгкіх. У выніку атрымліваецца галосны гук вызначанай якасці.

Калі ў надгартаных парожнінах узнікае перашкода для паветранага струменя, узнікае шум. Характар шуму (трэнне ці выбух) залежыць ад тыпу перашкоды і вызначае адмысловую якасць створаанага пры гэтым зычнага.

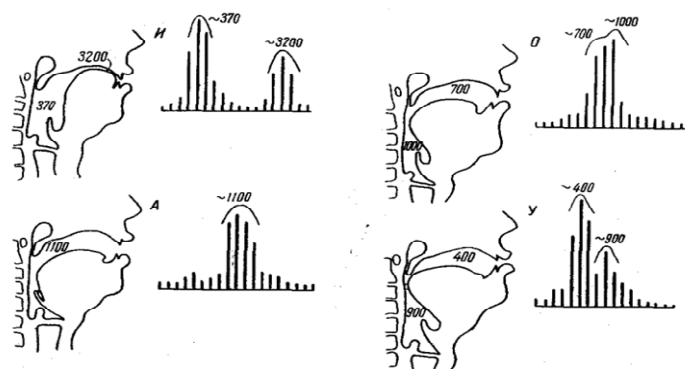
Такім чынам, існуюць дзве асноўныя крыніцы вібрацыі пры адукацыі гукаў гаворкі – галасавыя звязкі і розныя віды перашкод.

Як і любыя іншыя гукі прыроды, гукі гаворкі існуюць у форме гукавых хваляў і маюць тыя ж фізічныя ўласцівасці – частату, інтэнсіўнасць, працягласць і спектр.

Галасавыя звязкі вібуюць такім чынам, што яны вырабляюць розныя віды хваляў адначасова. Асноўныя калыханні галасавых звязак па ўсёй іх даўжыні вырабляюць асноўны тон голасу. Адначасовыя калыханні кожнай часткі галасавых звязак вырабляюць парцыяльныя тоны (абертаны ці гармонікі).

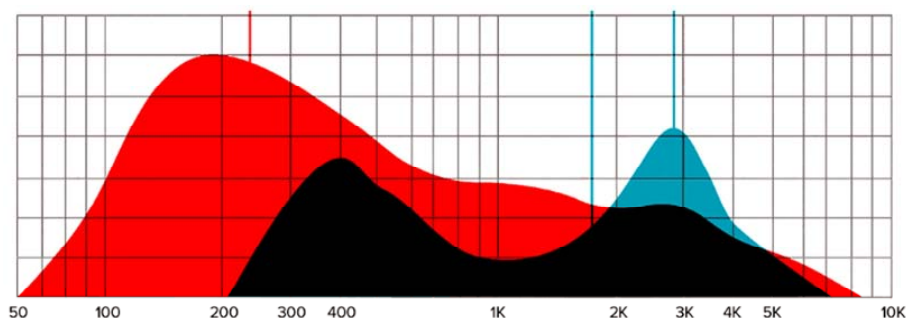
Частата асноўных калыханняў галасавых звязак – гэта асноўная частата (абазначаецца як F_0). Асноўная частата вызначае вышыню голасу і складае акустычную аснову мелодыкі гаворкі. Яна адносна невысокая, каля 40–400 Гц у агульным дыяпазоне голасу. Частоты абертанаў значна вышэй.

Накладанне асноўных і парцыяльных калыханняў прыводзіць да стварэння складанага тону.



Мал. 2. Фарміраванне складанага тону (частоты ўказаны ў герцах)

Галосныя гукі маюць прынамсі дзве фарманты, якія пазначаюцца F_1 і F_2 , якія разам адказваюць за адмысловую якасць кожнага тыпу галоснага. F_1 характарызуецца ніжэйшымі частотамі, F_2 – больш высокімі частотамі. Так, F_1 галоснага /а:/ роўная 800 Гц, а F_2 – 1100 Гц. Фарманты галоснага /і:/ роўныя 380 і 2500 Гц адпаведна.



Мал. 3. Фармантныя структуры розных галосных гукаў

Інтэнсіўнасць гукаў гаворкі залежыць ад амплітуды вібрацыі. Змены інтэнсіўнасці звязаныя з націскам у тых мовах, дзе ёсць дынамічны націск. Інтэнсіўнасць вымяраецца ў дэцыбелах (дБ).

Як і любая іншая форма матэрыі, гук існуе і рухаецца ў часе. Любы гук мае пэўную працягласць. Працягласць гуку – гэта колькасць часу, на працягу якога працягваюцца адны і тыя ж калыханні. Яе прынята вымяраць у мілісекундах.

Артыкуляцыйныя здольнасці чалавека фарміруюць наступныя сегментныя адзінкі маўлення (ад простага да складанага):

Гук – найменшая, далей не падзельная сегментная адзінка.

Склад – сегментная адзінка, якая складаецца са складаўтваральнага элемента (галоснага) ці злучэння складаўтваральнага элемента з адным або некалькімі зычнымі.

Фанетычнае слова – сегментная адзінка, якая ўяўляе сабой або адну словаформу, якая несе на сабе націск, або злучэнне ў струмені мовы націскай словаформы з суседняй безнаціскай словаформай (радзей – з дзвюма безнаціскнымі словаформамі).

Сінтагма – мінімальны інтанацыйна вылучаны, цэласны адрэзак мовы. Сінтагматычная структура звязаная з сэнсавай і сінтаксічнай структурай тэксту.

Выказванне (фраза) – адзінка дзялення струменя мовы, звычайна роўная сказу і прадстаўляе сабой скончаны ў сэнсавым паняцці фрагмент, вылучаны з абодвух бакоў паўзамі.

Інтанацыя і яе функцыі. Эфектыўнасць камунікацыі ў значнай ступені залежыць ад такіх уласцівасцей гаворкі, як варыяцыі вышыні тону, інтэнсіўнасці, тэмпу і тэмбру галаса. Гэта прасадычныя, або несегментарныя (супрасегментныя), уласцівасці, якія ўтвараюць складанае адзінства, якое звычайна называюць інтанацыяй, або прасодыяй выказвання (utterance prosody).

Інтанацыя не толькі з’яўляецца абавязковай структурнай характарыстыкай моўнага выказвання, але і выконвае шэраг важных моўных функцый:

1. Інтанацыя размяжоўвае выказванні і часткі выказванняў у маўленчай плыні на асобныя інтанацыйныя групы – дэлімітатыўная (размежавальная) функцыя.

2. Інтанацыя надае дакладнасць інфармацыі, якая перадаецца ў выказванні, кантрастна сігналізуе аб цэнтральнай кропцы інфармацыі – акцэнтна-інфармацыйнай функцыя.

3. Інтанацыя перадае камунікатыўны намер, г.зн. агульную мэту выказвання – камунікатыўная функцыя.

4. Інтанацыя перадае стаўленне прамоўцы да прадмета выказвання, да слухача, або ягоныя эмоцыі – мадальна-прагматычная (мадальна-эмацыйная) функцыя.

Эфект вылучэння ствараецца комплексам мадыфікацый прасадычных параметраў, якія ў агульным выглядзе можна апісаць як змяненні інтэнсіўнасці, хуткасці артыкуляцыі і вышыні асноўнага тону, злучанае з ударным складам семантычна вылучанага слова.

Абазначэнні інтанацыйных малюнкаў. Існуе шэраг сродкаў для абазначэння прасадычных прыкмет англійскай мовы, найбольш вядомымі з якіх з’яўляюцца [1–7]:

1. Музыкальная натацыя (Дж. Фанагі і К. Мэгдыкс).
2. Танічная натацыя Г. Палмера.
3. Сістэма танічнага націска-знака Р. Кінгдана.
4. Міжрадковыя сістэма.
5. Лічбавая сістэма.
6. Сігнальная сістэма.
7. Лінгвістычная канфігурацыя вышынь Д. Болінера.



Мал. 4. Музыкальная натацыя (Дж. Фанагі і К. Мэгдыкс)

You↑won't/see her if you\go there. (Even if you go there)
 You↑won't\see her if you/go there. (You may if you don't)
 Or again:
 That's from my uncle who lives in London↓ (implies that the speaker has more than one uncle)
 That's from my uncle↑ who lives in London↓ (implies that he has only one uncle)

Мал. 5. Танічная натацыя Г. Палмера

Kinetic Tones:

Tone IH — the High Rising Tone: Shall I 'come?

Tone IL — the Low Rising Tone: I,can't,do it,now.

Tone IHH — the High Falling Tone: I'want it'now.

Tone IIL — the Low Falling Tone: Where's it,now?

Tone III Undivided — the Falling—Rising Tone: It'll be easier'now.

Tone III Divided — I can,go.

Tone IV — the Rising—Falling Tone: ^Now.

Tone V — the Rising—Falling—Rising Tone: ^Now.

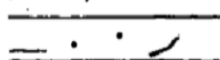
Static Tones:

the High Level Tone : It's'now or'never.

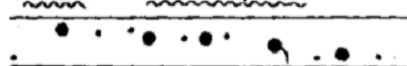
the Low Level Tone: Now,,how did you ,manage,that:

Мал. 6. Сістэма танічнага націска-знака Р. Кінгдана

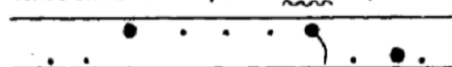
Put on your coat!



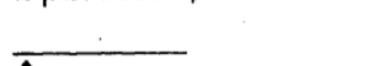
I want to be absolutely sure about it.



What on earth did you do that for, Peter?



Is that the best you can do for us.



Keep it for us.



Мал. 7. Міжрадковая сістэма

I want to go home. or ³I want to go²⁻⁴ home.
₃₋ I want to go home.
₂₋₄

Мал. 8. Лічбавая сістэма

I'm going home. (3-2-4 signals finality)
 I was going home, but it rained. (3-2-3 signals continuation)

Мал. 9. Сігнальная сістэма

He wouldn't believe you.
or
He wouldn't be lieve you.

Мал. 10. Лінгвістычная канфігурацыя вышынь Д. Болінера

Пералічаны найбольш шырока ўжываныя сістэмы абазначэння інтанацыйных малюнкаў (натацый). Некаторыя з якіх маюць шмат абмежаванняў (напрыклад, лічбавая сістэма або музычная натацыя), іншыя больш адэкватныя і гнуткія (напрыклад, прасадычная транскрыпцыя або падрадкавыя сістэмы) [5]. Але аніводная сістэма натацыі не адлюстроўвае дынаміку змянення мінмальна неабходнага базіса прасадычных сродкаў гаворкі – інтэнсіўнасці, хуткасці артыкуляцыі і вышыні асноўнага тону ў фармантнай структуры.

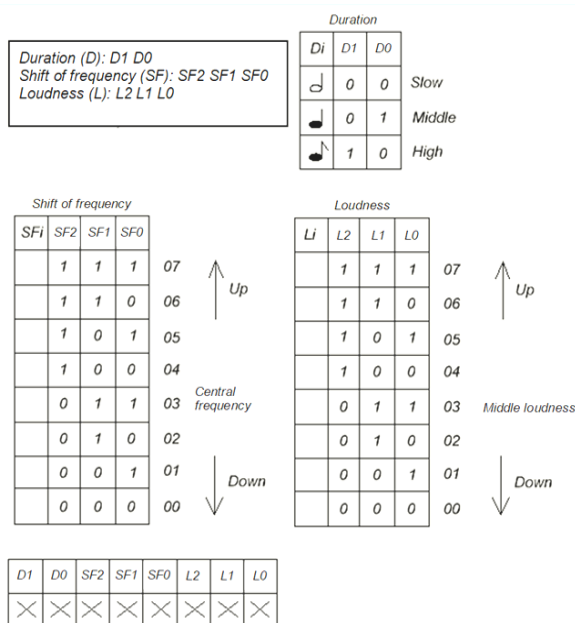
Метад інтанацыйных табулатур. Прапануецца метадавае кадаванне інтанацыі выказванняў з выкарыстаннем паслядоўнасцей алічбаваных інтанацыйных табулатур, як крок для ўдасканалення маўленчых інтэрфейсаў за кошт незалежнай перадачы ў лічбавых эквівалентах усіх фундаментальных супrasegmentных параметраў: 1) вышыні асноўнага тону (частаты); 2) інтэнсіўнасці (гучнасці); 3) тэмпу (працягласці гучання).

У класічнай інтэрпрэтацыі табулатура (познелацінск. *tabulatura*, ад сярэднявеч. лацінск. *tabula* – табліца, схема) уяўляе сабой тып музычнай натацыі, схематычны запіс музыкі для клавійных (аргана, клавесіна), некаторых струнных (лютні, віўэлы, гітары) і (рэдка) духавых інструментаў. Класічная табулатура аперае працоўнымі элементамі музычнай прылады (клавішамі, струнамі, ладамі). Для скарачэння запісу ў табулатуры прымяняюцца літары, лічбы і спецыяльныя сімвалы. У Еўропе росквіт табулатурнай натацыі прыйшоўся на XVI–XVII стагоддзі. У сучаснай практыцы табулатуры часцяком выкарыстоўваюцца для шасціструннай гітары.

Працэс кадавання інтанацыі пачынаецца з аналізу аўдыёсігналу, дзе ключавыя параметры (гучнасць, зрух частаты і працягласць) здабываюцца з запісаных даных.

Гэтыя параметры супастаўляюцца з накіраванымі бінарнымі кодамі, паказанымі ў табліцах. Напрыклад, гучнасць *Loudness* можа вар’іравацца ад цішыні (000) да максімальна высокай (111), зрух частаты фарманты адносна цэнтральнага значэння *Shift of frequency* – ад мінімальнай (самай нізкай) частаты (000) да максімальна высокай (111), а працягласць *Duration* – трыма дыскрэтнымі значэннямі – «павольна» (00), «сярэдне» (01) і «хутка» (10). Кожнае значэнне пакуецца ў агульны 8-бітны код, які затым супастаўляецца з ячэйкамі інтанацыйнай (прасадычнай) табулатуры (матрыцы 8×8).

У залежнасці ад камбінацыі гэтых параметраў у адпаведную ячэйку табліцы запісваецца дыскрэтная нота агульнага меладычнага малюнку, які ўяўляе сабой алічбаваны элемент інтанацыйнага контура.



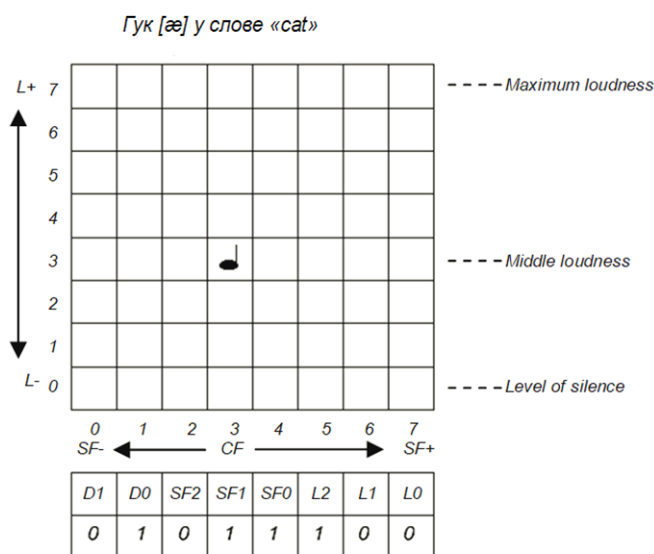
Мал. 11. Прынцып кадавання элемента інтанацыйнага контура

Напрыклад, для галоснага [æ] у слове “cat” гучнасць можа быць сярэдняй (код Loudness = 100), зрух частаты гукавой фарманты – на адну дыскрэту ўніз (код Shift of frequency = 011), а працягласць – сярэдняя (код Duration = 01). Гэтыя біты злучаюцца ў байт і вызначаюць пазіцыю ноты ў інтанацыйнай табулатуры, дзе яна ўсталёўваецца з пазначэннем працягласці.

Такі падыход дазваляе спалучаць кадаванне сегментных адзінак з кадаваннем прасадных (фразавых) сродкаў, што важна для дакладнага сінтэзу гаворкі.

Табулатура ўяўляе сабой матрыцу 8×8 , дзе радкі і слупкі адпавядаюць камбінацыям біт з табліц Duration, Shift of frequency і Loudness.

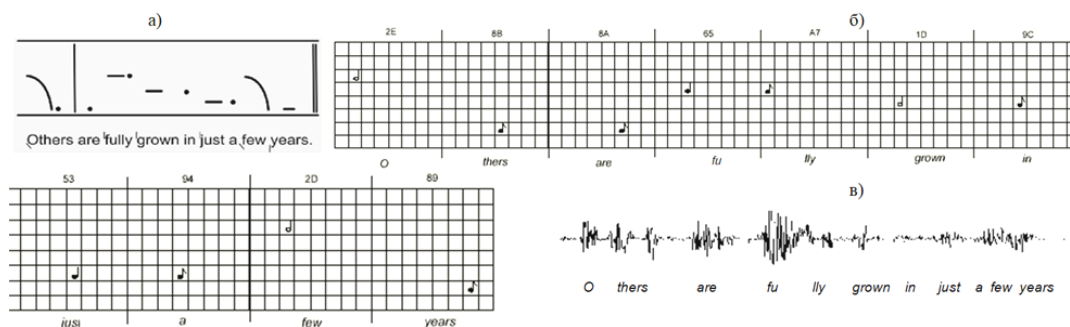
Кожная ячэйка змяшчае знак ноты, або пустое значэнне, калі ў дадзеным месцы кадуецца паўза (код Loudness = 000).



Мал. 12. Прыклад кадавання манафтонага «æ» у слове «cat»

Разгледзім кадаванне англійскага сказу “Others are fully grown in just a few years”:

Спачатку словы разбіваюцца на фанемы, пасля гэтага кожная фанема заносіцца ў адпаведную адзіную ячэйку інтанацыйнай табулаты памерам 8×8 . У залежнасці ад інтанацыйнага контуру атрымліваем 8-бітны код для кожнай фанемы. Напрыклад, для “O” 8-бітны код будзе 00101110, а для “thers” – 10001011, і г. д.



Мал. 13. Прыклад кадавання інтанацыйнага контуру фразы «Others are fully grown in just a few years»:

- а – класічны запіс з абазначэннем танічных сімвалаў, распрацаваных R. Kingdon;
 б – запіс у выглядзе паслядоўнасці алічбаваных інтанацыйных табулатур;
 в – часовая форма зарэгістраванага сігналау

Перспективы дальнейших исследований. З улікам праведзенага аналізу, а таксама сфармуляваных прынцыпаў праграма-тэхнічнай рэалізацыі, можна вылучыць наступныя перспектывы далейшых даследаванняў датычна кожнай мовы, узятай у якасці аб’екта даследавання:

1. Выяўленне асноўных акустычных параметраў: вызначэнне і апісанне асноўных характарыстык акустычных інварыянтаў для фанемных апазіцый; вызначэнне і апісанне тыповых інтанацыйных контураў канкрэтнай мовы.

2. Удасканаленне супрасегментнай транскрыпцыі акустычных кампанентаў інтанацыі для праграма-тэхнічнага кадавання меладычнага малюнку маўлення. Разгляд мэтазгоднасці і магчымасці кадавання дадатковага параметра супрасегментнай транскрыпцыі – тэмбра выказвання.

3. Распрацоўка метадалогіі аналізу: стварэнне інструментаў і спосабаў для вымярэння і аналізу акустычных параметраў, якія характарызуюць фанемныя апазіцыі і супрасегментныя фанетычныя адзінкі канкрэтнай мовы.

4. Распрацоўка метадалогіі сінтэзу: стварэнне інструментаў і спосабаў для сінтэзу маўлення на аснове патокавай функцыянальнай суперпазіцыі акустычных інварыянтаў фанемных апазіцый і акустычных кампанентаў інтанацыі.

5. Распрацоўка праграма-тэхнічных сродкаў для аўтаматычнага распазнавання і сінтэзу маўлення; стварэнне базы даных акустычных інварыянтаў фанемных апазіцый і акустычных кампанентаў інтанацыі канкрэтнай мовы.

Літаратура

1. Борисова, Л. В. Теоретическая фонетика английского языка: учеб. пособие для ин-тов и фак. ин. яз. / Л. В. Борисова, А. А. Метлюк. – Минск : Выш. шк., 1980. – 142 с. : ил.
2. Карневская, Е. Б. Практическая фонетика английского языка на продвинутом этапе обучения: учебник / Е. Б. Карневская, Е. А. Мисурно, Л. Д. Раковская ; под общ. ред. Е. Б. Карневской. – 6-е изд., перераб. – Минск : Аверсэв, 2017. – 411 с. : ил.

3. Cruttenden, Alan. *Gimson's Pronunciation of English*. – 8th ed. – Routledge, 2014.
4. Crystal, David. *The Cambridge Encyclopedia of the English Language*. – 3rd ed. – Cambridge University Press, 2019.
5. Wells, John C. *English Intonation: An Introduction*. – Cambridge University Press, 2006.
6. Roach, P. *English Phonetics and Phonology* / P. Roach. – Cambridge, 1990.
7. Sokolova, M. A. [et al.]. *English Phonetics. A Theoretical Course*. – М., 2004.
8. Айфичер, Э. *Цифровая обработка сигналов: практический подход* / Э. Айфичер, Б. Джервис. – 2-е изд., 2004. – 992 с.
9. Лайонс, Р. *Цифровая обработка сигналов* / Р. Лайонс. – 2-е изд. – М., 2004. – 458 с.
10. Рабинер Л. Р. *Теория и применение цифровой обработки сигналов* : пер. с англ. / Л. Р. Рабинер, Б. Голд ; под ред. Ю. Н. Александрова. – М. : Мир, 1978. – 637 с.
11. “Signals and Systems” by Michael D. Adams, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Victoria, British Columbia, Canada, Edition 3.0, 2020. – 728 p.

СЕКЦИЯ I ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПЕЧАТИ В МЕДИЦИНЕ

Д. Ю. Ковалева, А. Ю. Потлов

Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация

Рассмотрены современные достижения и перспективы применения трехмерной печати (аддитивного производства) в медицине. Проанализированы основные направления использования технологии. Подчеркнут междисциплинарный характер разработки и интеграция различных научных областей для реализации потенциала 3D-печати в здравоохранении.

Ключевые слова: трехмерная печать, медицина, импланты, ткани, персонализация.

3D PRINTING APPLICATIONS IN MEDICINE

D. Y. Kovaleva, A. Yu. Potlov

Tambov State Technical University, Russian Federation

This paper examines the current advances and prospects for the application of 3D printing (additive manufacturing) in medicine. The main applications of this technology are analyzed. The interdisciplinary nature of development and the integration of various scientific fields to realize the potential of 3D printing in healthcare are emphasized.

Keywords: 3D printing, medicine, implants, tissues, personalization.

В последние годы технология трехмерной печати, также известная как аддитивное производство, совершила настоящий прорыв в различных отраслях, в том числе в медицинской сфере. Эта методика, основанная на послойном нанесении материалов для создания трехмерных объектов, предоставила новые возможности для разработки и изготовления медицинских устройств, протезов, имплантатов, а также биологических тканей. В настоящее время применение 3D-печати способствует улучшению качества жизни пациентов, повышению точности медицинских вмешательств и сокращению времени реабилитационных процедур.

Работа над аддитивными проектами требует интеграции технологий из разных научных областей, включая клеточную биологию, медицину, математику, физику, инженерию, науку о биоматериалах, а также отраслей промышленности.

Использование 3D-печати в медицине позволяет создавать индивидуализированные медицинские изделия, ускорять процессы протезирования, имплантации и планирования сложных операций, что способствует повышению эффективности и качества медицинских услуг. В условиях растущего спроса на персонализированный подход и прогрессивных технологических решений, исследование сфер применения 3D-печати приобретает особую важность для дальнейшего развития и интеграции инновационных методов в здравоохранение.

К основным направлениям использования аддитивных технологий в медицине можно отнести:

1. *Хирургия и планирование операций:* 3D-печать помогает изготавливать индивидуальные инструменты и шаблоны для хирургии всего за несколько часов, благо-

даря чему хирурги могут самостоятельно заниматься доработкой готовых инструментов, а стоматологи-создавать персональные направляющие инструменты для защиты здоровых зубов от повреждений при протезировании [1].

2. *Протезирование и имплантация*: 3D-печать позволяет быстро и точно создавать протезы и индивидуальные импланты, учитывая анатомические особенности пациентов, что значительно повышает их эффективность и снижает риск отторжения.

3. *Обучение и образование*: трехмерное моделирование помогает воспроизвести широкий спектр патологий, что позволяет студентам детально разобраться в сложнейших структурах организма, чего невозможно добиться изучая двухмерные снимки [2].

4. *Фармацевтика и разработка лекарств*: аддитивная печать позволяет выпускать персонализированные лекарственные средства по новым рецептурам.

5. *Биопечать и тканевая инженерия*: перспективное направление, позволяющее создавать искусственные ткани и органы из биоматериалов с целью воспроизведения органических тканей и органов [3].

6. *Неонатология*: 3D-печать помогает при создании гидродинамического фантома новорожденного, что позволяет успешно реализовывать систему управления с нейроконтроллером на основе имитационных исследований и усовершенствовать работу неонатальных инкубаторов.

Технология трехмерной печати за последние годы стала значимым инновационным инструментом в современной медицине, открывая широкие возможности для индивидуализации медицинских изделий, повышения точности процедур и оптимизации восстановительных процессов. Рассмотренные направления применения аддитивного производства – от хирургического планирования и протезирования до биопечати и неонатологии – свидетельствуют о многофункциональности и масштабности данного подхода. Интеграция междисциплинарных знаний и постоянное совершенствование материалов и методов 3D-печати способствуют дальнейшему расширению ее роли в здравоохранении.

Таким образом, развитие и внедрение аддитивных технологий имеет высокий потенциал для трансформации традиционных медицинских практик, улучшения качества жизни пациентов и стимулирования научных исследований в области медицины и биоинженерии.

Литература

1. Обзор применения 3D-принтеров в медицине // 3dtool. – URL: <https://3dtool.ru/stati/obzor-3d-printerov-v-meditsine> (дата обращения: 06.10.2025).
2. Применение аддитивных технологий 3D-печати в нейрохирургии, вертебрологии, травматологии и ортопедии / А. В. Яриков, Р. О. Горбатов, А. А. Денисов [и др.] // Клиническая практика. – 2021. – Т. 12, № 1. – С. 98–99.
3. 3D-печать в медицине: от протезов до органических тканей // Point of care. – URL: <https://roc.care/blog/article/134/> (дата обращения: 06.10.2025).

ТЕХНОЛОГИЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ И АНАЛИЗА СНА РЕБЕНКА

М. А. Любавина, Н. Р. Журавлев, Е. П. Евстигнеева, Т. А. Фролова

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Разработано приложение, включающее систему мониторинга и анализа сна младенца, в целях оптимизации режима сна и улучшения качества жизни как ребенка, так и родителя. В основе приложения лежит комплексный подход, объединяющий ручной ввод данных о дневном сне с автоматизированным ночным мониторингом.

Ключевые слова: приложение, ребенок, сон, датчик, Arduino.

TECHNOLOGY FOR TRACKING AND ANALYZING A CHILD'S SLEEP

M. A. Lyubavina, N. R. Zhuravlev, E. P. Evstigneeva, T. A. Frolova

Tambov State Technical University, Russian Federation

An application has been developed that includes a system for monitoring and analyzing infant sleep in order to optimize sleep patterns and improve the quality of life of both the child and the parent. The application is based on an integrated approach that combines manual data entry on daytime sleep with automated nighttime monitoring.

Keywords: application, child, sleep, sensor, Arduino.

Качество и количество сна выступают одним из наиболее значимых характеристик общего состояния здоровья новорожденного. Систематическое недосыпание чревато серьезными последствиями, включая нарушения эмоционального фона, ослабление защитных функций организма и трудности с фокусировкой внимания [1].

По статистике, около 15–20 % новорожденных – высокочувствительны и имеют проблемы со сном. Для решения данной проблемы предлагается создать комплекс для отслеживания сна ребенка, который поможет держать под контролем здоровье младенца.

Информационная часть приложения была реализована на языке Kotlin в среде Android Studio. Программа разделена на некоторые модули, где каждый из них имеет свои функции и компоненты. Основная активность MainActivity отвечает за управление навигацией между экранами, а также координирует работу секундомера и таймера. Три специализированных фрагмента TimerFragment, StopwatchFragment и StatsFragment обеспечивают логическую работу между функциональными блоками таймера, секундомера и графика соответственно.

Для хранения данных используется оптимизированная система управления SleepDataManager, обеспечивающее структурированное сохранение информации с группировкой по дате записей о сне.

В основе данного приложения лежит некоторая комбинация – ручного сбора информации и информации, подаваемой автоматизированной системой. Большую часть функциональных решений принимает аппаратная часть, фиксирующая момент пробуждения ребенка, приложение же функционирует благодаря встроенному секундомеру и таймеру. Первый отслеживает время сна ребенка, запускается и останавливается с помощью участия аппаратного модуля. Время, снятое с секундомера после прекращения работы, записывается и заносится в базу данных для дальнейшего анализа. Интегрированный таймер, который срабатывает после пробуждения ребенка, несет в себе функцию оповещения взрослого о необходимости повторного укладывания. Время таймера определяется в соответствии с физиологическими нормами ребенка.

Сбор информации реализован на базе платформы Arduino и выглядит следующим образом: датчик движения, встроенный в матрас, на котором лежит ребенок, производит совместную работу с датчиком звука и создает одну из возможных вариаций – усиленное движение или небольшое движение и высокочастотный звук интерпретируются как признак пробуждения младенца.

Аппаратная основа состоит из трех модулей. Модуль MPU6050, выступающий в роли акселерометра и гироскопа. Модуль непрерывно отслеживает каждое движение младенца, в том числе покачивания или активные перемещения, фиксируя его положение по осям x , y и z . Система интерпретирует перемещения в сигнал о пробуждении ребенка и посылает уведомление в мобильное приложение.

Модуль ESP8266 обеспечивает передачу различного рода данных, в нашем случае данных о состоянии сна, между устройством и мобильным приложением. Это осуществимо благодаря возможности поддержки протокола WI-FI, а также организации потоковой передачи телеметрической информации о состоянии ребенка в реальном времени на устройства родителей.

Датчик KY-037 предназначен для постоянного мониторинга акустического фона рядом с ребенком. Информация здесь подразделяется на высокоинтенсивный шум или малоинтенсивные звуки, идентифицируя их и сравнивая с установленными пороговыми значениями, при превышении которых происходит генерация сигнализационного сообщения, содержащее в себе информацию о пробуждении ребенка, передаваемое на мобильное приложение.

Получаемые данные аккумулируются и систематизируются приложением. По итогам недели и месяца формируется детальная статистика, которая сопоставляется с нормативными показателями. В случае выявления устойчивого отклонения в меньшую сторону, система генерирует персонализированные рекомендации по гигиене сна. Если же анализ показывает критические нарушения, приложение настоятельно советует обратиться за консультацией к специалисту. Общая схема алгоритма представлена на рис. 1.



Рис. 1. Общая схема работы программно-аппаратного комплекса

В итоге разрабатываемый комплекс предлагает целостный технологический подход к решению проблемы детского сна. Интеграция ручного ввода, автоматического мониторинга и аналитической обработки данных предоставляет родителям мощный инструмент для принятия обоснованных решений, способствуя созданию оптимальных условий для здорового развития младенца.

Литература

1. Современное состояние и тенденции в области исследований и разработок неонатальных инкубаторов / С. В. Фролов, А. А. Коробов, К. С. Савинова, А. Ю. Потлов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – № 11 (4). – URL: <https://moit.vivt.ru/ru/journal/pdf?id=1473> (дата обращения: 11.10.2025).

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Д. В. Панькин, В. В. Дубровин

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Рассмотрены современные подходы к диагностике состояния сердечно-сосудистой системы с применением алгоритмов машинного обучения, ключевые особенности и виды используемых данных. Проведено сравнительное исследование эффективности градиентного бустинга (GBM) и полносвязных нейронных сетей (MLP) при диагностике состояния сердечно-сосудистой системы по данным электрокардиографии (ЭКГ) для решения задачи бинарной классификации. В качестве исходных данных использовались признаки, извлеченные из сигналов ЭКГ, включающие интервалы основных зубцов и вейвлет-признаки. Модели оценивались по разным метрикам, в статье будут приведены ROC-AUC и F1-score как самые информативные.

Ключевые слова: биомедицинские системы, машинное обучение, сердечно-сосудистая система, диагностика, медицинские данные, биомедицина.

COMPARISON OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR CARDIOVASCULAR SYSTEM DIAGNOSTICS

D. V. Pankin, V. V. Dubrovin

Tambov State Technical University, Russian Federation

This paper discusses contemporary approaches to the diagnosis of cardiovascular conditions using machine learning algorithms. It outlines the key characteristics and types of data applied, and presents a comparative analysis of the effectiveness of Gradient Boosting Machines (GBM) and Multilayer Perceptron (MLP) in the diagnosis of cardiovascular disorders based on electrocardiography (ECG) data within the framework of a binary classification task. The input data consisted of features extracted from ECG signals, including intervals of major waveform components and wavelet-based features. Model performance was assessed using several metrics, with ROC-AUC and F1-score reported in this study.

Keywords: biomedical systems, machine learning, cardiovascular system, diagnostics, medical data, biomedicine.

Биомедицинские системы активно интегрируют алгоритмы машинного обучения для анализа физиологических сигналов. Одной из важнейших задач является классификация сигналов ЭКГ и болезней сердца, которые представляют серьезную угрозу здоровью и жизни пациентов. Классические методы машинного обучения, такие как градиентный бустинг, зарекомендовали себя как устойчивые и интерпретируемые подходы. В то же время глубокое обучение, в частности полно связанные нейронные сети (MLP), открывает новые возможности анализа сложных закономерностей в медицинских данных [1].

Будущее диагностики состояния сердечно-сосудистой системы с помощью машинного обучения связано с прогнозированием индивидуального риска развития сердечных заболеваний в долгосрочной перспективе, что позволит перейти от лечения к упреждающей профилактике. Постоянный мониторинг с помощью smart-часов откроет возможности для раннего обнаружения отклонений в реальном времени, подбор оптимальной терапии на основе предикторов ее эффективности для конкретного пациента. Для анализа структурированных данных эффективны классические

модели, такие как градиентный бустинг и его виды, поэтому для сравнения с нейронной сетью взята именно эта классическая модель [2]. Для анализа использовались записи ЭКГ, предварительно обработанные и преобразованные в набор признаков: временные интервалы между зубцами P, QRS, T, амплитудные характеристики пиков, частотные и спектральные показатели.

На основе полученных данных решалась задача классификации отсутствия аритмии или наличия аритмии у пациента. Для ее решения обучались модели градиентный бустинг и полно связанная нейронная сеть. Качество работы оценивалось по метрикам Accuracy, Precision, Recall, F1-score, ROC-AUC, PR-AUC. Результаты сравнения двух метрик представлены на рис. 1 (GBM: ROC-AUC = 0,90, F1-score = 0,86, MLP: ROC-AUC = 0,94, F1-score = 0,91).

Таким образом, в данном случае нейронные сети показали преимущество примерно в 4 % по ROC-AUC и 5 % по F1-score, что особенно важно для задач медицинской диагностики, где критически важно минимизировать ошибки. Градиентный бустинг быстрее обучается, требует меньше ресурсов и обладает высокой интерпретируемостью. Полно связанная нейронная сеть более эффективно извлекает скрытые закономерности и лучше справляется с большим количеством признаков, обеспечивая прирост качества при решении задачи. Все же выбор метода зависит от доступных данных и ресурсов, нельзя однозначно заявить, что классические методы мало эффективны и проигрывают нейронным сетям при решении задач бинарной классификации в диагностике состояния сердечно-сосудистой системы.

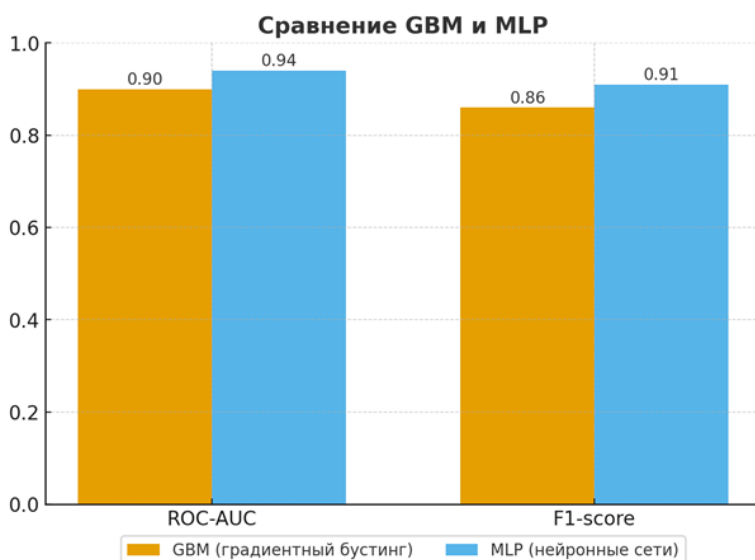


Рис. 1. Сравнение полученных метрик для модели GBM и MLP

Использование алгоритмов машинного обучения при диагностике состояния сердечно-сосудистой системы обладает рядом ключевых особенностей, работа с разнородными данными, необходимость выбора специализированных моделей под конкретную задачу и острая потребность в интерпретируемости результатов. В конкретной задаче полно связанная нейронная сеть обеспечивает более высокую точность чем классический алгоритм. Это демонстрирует потенциал глубокого обучения для работы с биомедицинскими сигналами, но при этом возникает проблема интерпретируемости результатов.

Литература

1. Жарков, В. А. Применение методов машинного обучения для анализа сигналов ЭКГ / В. А. Жарков, С. В. Костромин, Д. О. Кожевников // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2021. – № 4. – С. 45–54.
2. Automatic diagnosis of the 12-lead ECG using a deep neural network / A. H. Ribeiro, M. H. Ribeiro, G. M. M. Paixão [et al.] // Nature Communications. – 2020. – № 11 (1). – P. 1760.

**МОДИФИЦИРОВАННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ
ПРИБОРА СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ**

Я. И. Шнякина, А. А. Коробов

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Представлена нульмерная математическая модель сердечно-сосудистой системы, модифицированная для учета воздействия автоматического прибора сердечно-легочной реанимации. Модель позволяет исследовать гемодинамические эффекты механической компрессии грудной клетки, включая вклад сердечного и грудного насосов, в условиях отсутствия собственной сердечной деятельности.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, сердечно-легочная реанимация, нульмерная модель.

**A MODIFIED MATHEMATICAL MODEL
OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM FOR ASSESSING
THE IMPACT OF A CARDIOPULMONARY RESUSCITATION
DEVICE**

Ya. I. Shnyakina, A. A. Korobov

Tambov State Technical University, Russian Federation

Intelligent methods for controlling technical systems rely on artificial intelligence, cloud technologies and digital twins. These approaches enable data analysis, event prediction, optimal decision-making, and improved efficiency, reliability and safety of processes while fostering the integration of innovative solutions across various sectors.

Keywords: cardiovascular system, cardiopulmonary resuscitation, zero-dimensional mode.

Согласно мировым медицинским данным, внезапная сердечная смерть занимает лидирующую позицию среди всех причин ухода из жизни. Остановка кровообращения – это критическое состояние, при котором отсутствует эффективное кровообращение [1].

Ключевую роль в спасении жизни играет своевременное и качественное проведение сердечно-легочной реанимации (СЛР). Сердечно-легочная реанимация – это система мероприятий, направленных на восстановление эффективного кровообращения, дыхания и сердечной деятельности при клинической смерти с помощью специальных реанимационных мероприятий [1].

На сегодняшний день для повышения эффективности реанимационных мероприятий делаются попытки внедрения автоматических аппаратов для СЛР. Однако их влияние на сердце и сосуды не в полной мере изучено. Во многом это связано с отсутствием адекватных и проработанных математических моделей, учитывающих взаимодействие участков сердечно-сосудистой системы при проведении СЛР.

Для создания модифицированной математической модели сердечно-сосудистой системы с СЛР используется нульмерная математическая модель [2, 3]. Особенности базовой модели являются: добавленная разделенность на верхнюю и нижнюю половины тела (что позволяет моделировать ортостатические эффекты); вены имеют регулируемый ненапряженный объем – важный механизм адаптации при изменении венозного возврата; учитывается модель пульсирующего сердца.

Разрабатываемая модель основана на системе 17 упругих камер (сосуды, камеры сердца) и элементов сопротивления (клапаны).

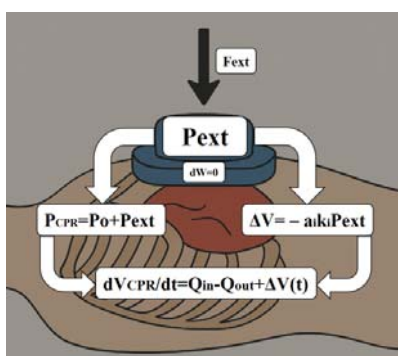
Для интеграции воздействия автоматического прибора СЛР в базовую модель был реализован подход, учитывающий два классических механизма генерации кровотока: прямое механическое сжатие миокарда, моделируемое путем добавления внешнего давления в левом и правом желудочке; повышение внутригрудного давления, передающееся на все упругие камеры грудной полости и вызывающее изменение их объемов.

Внешняя сила СЛР в модели задается в виде синусоидальной функции с плавным нарастанием и спадом воздействия, а также заданной амплитудой, которая соответствует определенной силе. Для задачи моделирования собственная насосная активность сердца исключается.

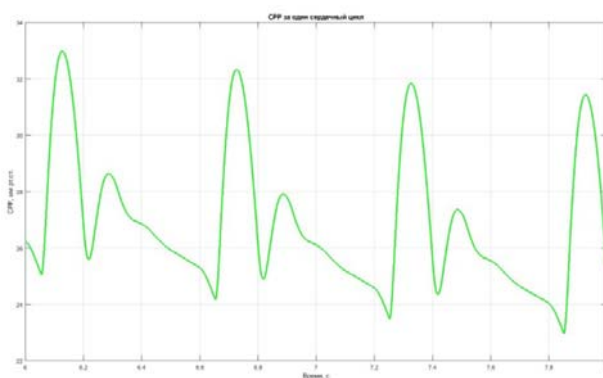
Модель реализована в среде MATLAB. В существующий программный комплекс базовой модели, включающий модули расчета объемов, давлений и кровотоков, были добавлены два новых модуля для задания параметров внешней компрессии (частота, амплитуда, форма волны), а также для расчета изменений давлений и объемов упругих камер под действием механизмов сердечного и грудного насосов.

Схема реализации действия СЛР в базовой модели представлена на рис. 1, а. Результат работы модели в виде коронарного перфузионного давления показан на рис. 1, б.

Результаты моделирования демонстрируют, что разработанная модель обеспечивает поддержание коронарного перфузионного давления на уровне ~25 мм рт. ст., что соответствует клинически установленному целевому диапазону, необходимому для успешной реанимации.



а)



б)

Рис. 1. Реализация действия СЛР (а) и коронарное перфузионное давление (б)

Разработанная математическая модель позволяет проводить имитационные исследования гемодинамики в условиях проведения СЛР с помощью автоматического прибора. Исследования, полученные на модели, позволят оценить влияние различ-

ных механизмов СЛР (компрессия-декомпрессия, с применением клапана или без и т. д.) на коронарное перфузионное давление, что является особенно актуальным для прогнозирования исхода реанимационных мероприятий в разных условиях проведения СЛР.

Л и т е р а т у р а

1. Сердечно-легочная реанимация / В. В. Мороз, И. Г. Бобринская, В. Ю. Васильев [и др.]. – М.: ФНКЦ РР, МГМСУ, НИИОР, 2017. – 60 с.
2. Фролов, С. В. Система поддержки принятия врачебных решений в кардиологии на основе цифрового двойника сердечно-сосудистой системы / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Н. Ветров // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11, № 1 (40). – С. 3–4. – DOI 10.26102/2310-6018/2023.40.1.007. – EDN RKNHVM.
3. Модель сердечно-сосудистой системы с регуляцией на основе нейронной сети / С. В. Фролов, А. А. Коробов, Д. Ш. Газизова, А. Ю. Потлов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2021. – № 2 (38). – С. 79–94. – DOI 10.21685/2227-8486-2021-2-5. – EDN GWHODK.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА И СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПАЛАТ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ И РЕАНИМАЦИИ

А. Ю. Ушаков, С. В. Фролов

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Рассмотрена перспективная концепция интеграции цифрового двойника пациента и клинической системы поддержки принятия решений в работу отделений интенсивной терапии и реанимации. Проанализированы потенциальные преимущества данного подхода, включая прогнозирование осложнений, персонализацию терапии и снижение нагрузки на медицинский персонал. Освещены ключевые технологические вызовы и этические аспекты внедрения.

Ключевые слова: цифровой двойник, клиническая система поддержки принятия решений (СППР), интенсивная терапия, реанимация, искусственный интеллект, персонализированная медицина.

APPLICATION OF DIGITAL TWIN AND MEDICAL SYSTEM OF SUPPORTING DECISION-MAKING IN INTENSIVE CARE UNIT

A. Y. Ushakov, S. V. Frolov

Tambov State Technical University, Russian Federation

This article examines the promising concept of integrating a patient's digital twin and a clinical decision support system into intensive care unit workflows. The potential benefits of this approach are analyzed, including predicting complications, personalizing therapy, and reducing the workload of medical staff. Key technological challenges and ethical aspects of implementation are highlighted.

Keywords: digital twin, clinical decision support system (CDSS), intensive care, resuscitation, artificial intelligence, personalized medicine.

Отделения интенсивной терапии и реанимации являются зоной повышенной медицинской ответственности, где от скорости и точности принятия решений напрямую зависит жизнь пациента. Врачи-реаниматологи сталкиваются с огромными массивами гетерогенных данных: показатели мониторингового наблюдения (ЭКГ, АД, SpO₂), данные лабораторных и инструментальных исследований, информация от ды-

хательных аппаратов и инфузионных насосов. Обработка этого потока в режиме реального времени представляет значительную нагрузку и несет в себе риск человеческой ошибки.

Современное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения и открывает новые возможности для трансформации ОРИТ. Одной из наиболее подходящей концепций является создание комплексной системы, объединяющей цифрового двойника (ЦД) пациента и интеллектуальную систему принятия врачебных решений (СППР).

Цифровой двойник в контексте интенсивной терапии – это не статичная запись в медицинской карте, а высокоточная, динамическая, математическая и программная модель конкретного пациента, которая обновляется в режиме реального времени на основе поступающих с медицинских устройств и информационных систем данных [1, с. 45].

Ключевые компоненты ЦД в ОРИТ включают:

1. Данные в реальном времени: потоковые данные с мониторов, вентиляторов, наркозно-дыхательной аппаратуры, инфузионных помп.

2. Физиологическое моделирование: модели сердечно-сосудистой системы, газообмена в легких, фармакокинетики и фармакодинамики вводимых препаратов, метаболизма [3, с. 112].

3. Исторические и геномные данные: интеграция данных анамнеза, генетических особенностей, влияющих на метаболизм лекарств.

При такой постановке задачи, ЦД становится базой данных конкретного пациента, в которой можно в режиме, близком к реальному времени, тестировать гипотезы о состоянии пациента и прогнозировать ответ на терапевтические вмешательства.

Система поддержки принятия врачебных решений в этой системе – интеллектуальный аналитик. СППР в данной связке выступает в роли аналитического движка, который интерпретирует состояние цифрового двойника. Используя алгоритмы машинного обучения и правила, выведенные из клинических рекомендаций и больших данных (*big data*), СППР решает несколько критически важных задач:

1. Раннее предупреждение об ухудшениях: выявление незначительных изменений в показателях, которые могут предшествовать развитию сепсиса, острого респираторного дистресс-синдрома (ОРДС), кардиогенного шока или других жизнеугрожающих состояний за несколько часов до их проявления [2, с. 78].

2. Персонализация протоколов лечения: стандартные протоколы вентиляции легких или инотропной поддержки могут быть адаптированы под конкретного пациента путем симуляции их воздействия на его ЦД. Это позволяет выбрать оптимальный режим ИВЛ, дозу вазопрессора или антибиотика [3, с. 23].

3. Оптимизация лекарственной терапии: моделирование фармакокинетики позволяет предсказать пиковую концентрацию препарата в крови и избежать токсических эффектов, либо, наоборот, обеспечить ее терапевтический уровень.

4. Автоматизация рутинных задач: система может предлагать или (под контролем врача) автоматически корректировать настройки инфузионных насосов для поддержания целевого артериального давления или уровня глюкозы.

Интеграция цифрового двойника пациента и интеллектуальной системы поддержки принятия решений представляет собой следующий логический шаг в эволюции интенсивной терапии. Эта технология способна перевести реаниматологию из реактивной, где действия направлены на уже возникшие осложнения, в проактивную парадигму.

Литература

1. Digital twins in health care: ethical implications of an emerging paradigm / K. Bruynseels [et al.]. – Journal of Medical Ethics. – 2018. – № 44 (12). – P. 45–50.
2. Effect of a machine learning-based severe sepsis prediction algorithm on patient survival and hospital length of stay: a randomised clinical trial / D. W. Shimabukuro [et al.] // BMJ Open Respiratory Research. – 2017. – № 4 (1), e000234. – P. 76–80.
3. Computational approaches to acute critical illness and injury // T. D. Bennett, P. E. DeWitt. – Current Opinion in Critical Care. – 2022. – № 28 (1). – P. 21–28.

УМНАЯ ТАБЛЕТНИЦА ДЛЯ СЛЕПЫХ**Е. П. Евстигнеева, М. А. Любавина, С. В. Фролов***Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Статья посвящена разработке инновационной таблетницы, предназначенной специально для слабовидящих и незрячих пользователей. Основное внимание уделено решению проблемы самостоятельного приема лекарств людьми с ограниченными возможностями зрения. Описаны конструктивные особенности устройства, позволяющие обеспечить тактильную идентификацию препаратов, включая использование рельефных обозначений и звуковых подсказок для предотвращения путаницы.

Ключевые слова: устройство, лекарства, слепой, будильник, ограниченные возможности, доступность.

SMART PILL CONTAINER FOR THE BLIND**E. P. Evstigneeva, M. A. Lyubavina, S. V. Frolov***Tambov State Technical University, Russian Federation*

This article explores the development of an innovative pillbox designed specifically for visually impaired and blind users. It focuses on solving the problem of self-medication for people with visual impairments. It describes the device's design features that enable tactile identification of medications, including the use of raised markings and audio cues to prevent confusion.

Keywords: device, medication, blind, alarm clock, disabilities, accessibility.

Традиционные таблетницы, подразделяемые на временные сегменты согласно дню недели и периоду суток, ориентированы преимущественно на визуальное восприятие, что создает значительные ограничения для лиц с выраженными нарушениями оптико-визуальных функций. Индивид с полной или частичной потерей зрения оказывается неспособным объективно верифицировать факт принятия препарата, дифференцировать отделения, соответствующие различным дням и временным интервалам. Несмотря на потенциальную полезность тактильной идентификации элементов структуры устройства, остаются нерешенными ключевые проблемы когнитивного напоминания и оперативного контроля последовательности приема лекарственных средств. Стандартный мобильный таймер, настроенный на определенное время, информирует лишь о наступлении заранее установленного временного интервала, однако не обеспечивает необходимого уровня специфической обратной связи относительно наименования конкретного препарата и его требуемой дозировки, что критично влияет на соблюдение терапевтического протокола и клинический исход лечения. Решением этой проблемы становится умная таблетница с будильником, разработанная с учетом потребностей незрячих и слабовидящих людей.

Умная таблетница представляет собой высокотехнологичное устройство для хранения, точного дозирования и своевременного приема лекарственных препаратов. Конструктивно изделие включает корпус, содержащий три отдельные зоны, две из которых состоят из двенадцати индивидуальных отсеков, соответствующих определенным временным промежуткам суток. Функционально прибор оснащен встроенным хронологическим таймером, функционирующим по алгоритму классического будильника с использованием механического интерфейса для ручной настройки временных параметров активации звукового оповещения (рис. 1). Принцип действия основан на реализации автоматизированного процесса извлечения необходимой дозы вещества в установленный временной промежуток, обеспечивая строгую комплаентность назначенной терапевтической стратегии и способствуя эффективному контролю заболевания.

Каждое отделение оснащено четкими тактильными маркерами, выполненными рельефно-точечным способом письма по методу Луи Брайля, что обеспечивает надежное осязательное восприятие и точное определение местоположения препарата.

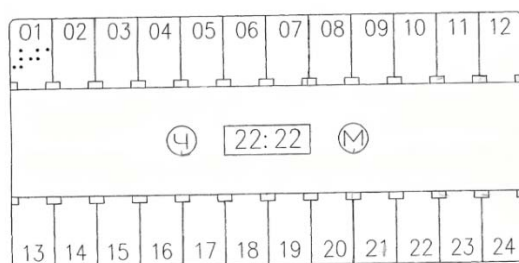


Рис. 1. Прототип таблетницы с будильником

Встроенный акустический таймер генерирует звуковой стимул умеренной интенсивности, синхронизированный с заданным временным интервалом, инициируя постепенное, адаптивное возбуждение сенсорных рецепторов слухового аппарата, что минимизирует эффект неожиданного раздражителя и гарантирует эффективное, физиологически благоприятное пробуждение пользователя.

Дальнейшая деятельность по проектированию таблетницы с интегрированным таймером и последующей практической реализации будет проводиться с применением научного подхода, включающего этапы прототипирования, экспериментальных испытаний и последовательного технологического анализа полученных результатов. Данный процесс предусматривает проведение комплексного инженерного проектирования и разработку эффективного программного обеспечения для точной регулировки режимов работы.

Литература

1. Использование эффективных систем позиционного регулирования для задач медицинской техники / С. В. Фролов, К. С. Савинова, А. Ю. Куликов, И. А. Суконкин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2022. – № 2. – С. 50–62.
2. Frolov S. V. Doppler Mapping of Blood Flow in Soft Biological Tissues Based on Digital Processing of Raw Data Obtained by Real-Time Optical Coherence Tomography / S. V. Frolov, A. Y. Potlov // Biomedical Engineering. – 2021. – Vol. 55 (2). – P. 79–83. – DOI 10.1007/s10527-021-10075-1. – EID: 2-s2.0-85110881919.
3. Фролова, М. С. Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. вып. 52. – С. 106–111.

РЕАЛИЗАЦИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ДВУХПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ ФАНТОМом НОВОРОЖДЕННОГО

К. С. Савинова, Д. Ю. Ковалева, С. В. Фролов

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Представлено исследование систем позиционного управления для задач поддержания параметров в гидродинамическом неонатальном фантоме в целях имитации процессов терморегуляции в организме недоношенного новорожденного. Приведены результаты экспериментов, необходимые для обоснования выбранного алгоритма усовершенствованного двухпозиционного управления параметрами гидродинамического неонатального фантома.

Ключевые слова: неонатальный инкубатор, неонатальный фантом, терморегуляция, микроклимат, позиционное управление.

IMPLEMENTATION OF AN IMPROVED ON-OFF CONTROL OF THE HYDRODYNAMIC PHANTOM OF A NEWBORN

K. S. Savinova, D. Yu. Kovaleva, S. V. Frolov

Tambov State Technical University, Russian Federation

This paper presents a study of on-off control systems for maintaining parameters in a hydrodynamic neonatal phantom, with the aim of simulating thermoregulation processes in the body of a premature newborn. Experimental results are presented to validate the selected algorithm for an improved on-off control of the hydrodynamic neonatal phantom's parameters.

Keywords: neonatal incubator, neonatal phantom, thermoregulation, microclimate, on-off control.

Развитие медицинских технологий требует постоянного поиска новых инструментов и методов, направленных на совершенствование диагностики, выхаживания и лечения преждевременно родившихся новорожденных. Одним из методов решения проблемы выхаживания недоношенных детей является внедрение современных методов управления параметрами микроклимата на основе нейронных сетей. Однако успешная интеграция новых методов управления требует глубокого понимания физических и биофизических закономерностей, определяющих взаимодействие ребенка с условиями окружающей среды. Максимально информативным источником сведений служат комплексные математические исследования, проводимые с использованием специализированных анатомически-корректных фантомов новорожденных, воспроизводящих ключевые физиологические процессы. Целью данной работы является разработка и реализация усовершенствованного двухпозиционного алгоритма управления гидродинамическим фантомом новорожденного в целях поддержания заданной температуры кровеймитирующей жидкости и в дальнейшем проведения исследований для оценки эффективности разрабатываемого метода нейросетевого управления параметрами микроклимата в неонатальном инкубаторе.

Анатомически-корректный гидродинамический фантом новорожденного, созданный посредством технологии 3D-печати и последующим литьем силиконом, представляет собой объект, моделирующий процессы терморегуляции в организме новорожденного, через внутренние полости которого циркулирует кровеймитирующая жидкость [1, 2]. Управление тепло-влажностными процессами осуществляется на блоке управления гидродинамическим фантомом новорожденного экспериментальной установки, реализованном на базе одноплатного микрокомпьютера «Raspberry Pi 4 Model B Desktop Kit» на

языке программирования Python, с применением алгоритма усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования [2, 3].

Выбранный алгоритм усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования отличается от классического позиционного управления наличием дополнительного звена обратной связи, что позволяет мгновенно корректировать параметры системы при возникновении возмущений (рис. 1, а). [3]. На рис. 1, б представлена динамика изменения температуры кровеймитирующей жидкости, протекающей внутри полостей гидродинамического неонатального фантома. Введены следующие параметры работы блока управления гидродинамическим фантомом новорожденного экспериментальной установки управления: коэффициент заполнения ШИМ 40 %, гистерезис 1 °С.

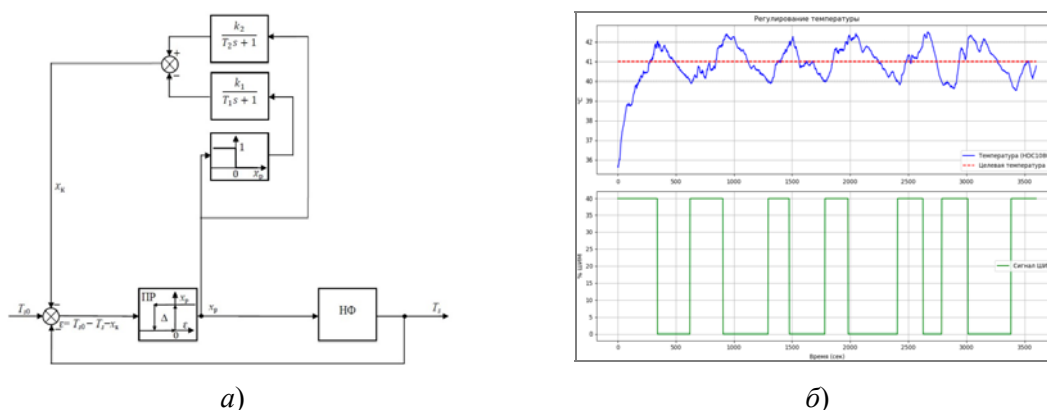


Рис. 1. Структура усовершенствованной двухпозиционной системы управления параметрами неонатального фантома (а) и динамика температуры кровеймитирующей жидкости, циркулирующей через внутренние полости неонатального фантома (б)

Из рисунка 1, б видно, что в течение всего периода времени среднее отклонение температуры от заданного значения 41 °С составляет порядка ± 1 °С, демонстрируя симметричность осцилляции относительно заданного уровня, за счет применения усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования, что подтверждено серией имитационных и экспериментальных исследований.

Таким образом, представленные данные, полученные в результате имитационных и экспериментальных исследований на разработанной экспериментальной модели неонатального инкубатора нового поколения с изменяемой прозрачностью стенок рабочей камеры, демонстрируют высокую стабильность поддерживаемой температуры кровеймитирующей жидкости с минимальной относительной погрешностью 2,68 %, что превосходит другие виды позиционного регулирования более чем в 2,5 раза.

Литература

1. Экспериментальная установка для исследования особенностей управления микроклиматом в неонатальных инкубаторах / К. С. Савинова, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов [и др.] // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2024. – Т. 27, № 2. – С. 52–59.
2. Этапы разработки гидродинамического фантома новорожденного для исследования микроклимата в неонатальном инкубаторе / К. С. Савинова, А. А. Коробов [и др.] // ERA – Современная наука: электроника, робототехника, автоматизация : материалы I Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 2024. – С. 75–76.
3. Использование эффективных систем позиционного регулирования для задач медицинской техники / К. С. Савинова, С. В. Фролов, А. Ю. Куликов, И. А. Суконкин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2022. – № 2. – С. 21–24.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТОМАТОЛОГИИ: АДДИТИВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗУБОВ НА ОСНОВЕ 3D-ПЕЧАТИ С ИНТЕГРАЦИЕЙ ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ И БИОСОВМЕСТИМЫХ РЕШЕНИЙ

З. М. А. А. Алшауки¹, М. Ф. С. Х. Аль-Камали²

¹Новосибирский государственный медицинский университет,
Российская Федерация

²Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Цифровая трансформация стоматологии базируется на аддитивном производстве (3D-печати), которое формирует новую парадигму восстановления зубов. В ее основе лежит синергия трех компонентов: технологий печати (SLA, DLP, DMLS), инновационных материалов (цифровые композиты, биосовместимые сплавы) и цифровых рабочих потоков (сканирование, CAD/CAM). Анализ показывает, что данная интеграция создает стандарт персонализированной, прогнозируемой и малоинвазивной стоматологии, а разработки в области биопечати задают вектор перехода от протезирования к регенерации тканей.

Ключевые слова: аддитивные технологии, цифровая стоматология, 3D-печать зубов, биосовместимые материалы, CAD/CAM, хирургические шаблоны.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN DENTISTRY: ADDITIVE DENTAL RESTORATION BASED ON 3D PRINTING WITH THE INTEGRATION OF ADVANCED MATERIALS, DIGITAL SYSTEMS, AND BIOCOMPATIBLE SOLUTIONS

Z. M. A. A. Alshauki¹, M.F.S.H. Al-Kamali²

¹Novosibirsk State Medical University, Russian Federation

²Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The digital transformation of dentistry is based on additive manufacturing (3D printing), which is creating a new paradigm for dental restoration. It is based on the synergy of three components: printing technologies (SLA, DLP, DMLS), innovative materials (digital composites, biocompatible alloys), and digital workflows (scanning, CAD/CAM). Analysis shows that this integration is creating a standard for personalized, predictable, and minimally invasive dentistry, while developments in bioprinting are setting the stage for the transition from prosthetics to tissue regeneration.

Keywords: additive technologies, digital dentistry, 3D dental printing, biocompatible materials, CAD/CAM, surgical templates.

Традиционные подходы к зубному протезированию, несмотря на свою отработанность, зачастую сталкиваются с ограничениями, связанными с субъективностью этапов, трудоемкостью лабораторных процессов и стандартизацией изделий. Аддитивное производство (Additive Manufacturing, AM), более известное как 3D-печать, совершает революционный переворот, предлагая переход к полностью цифровому, контролируемому и персонализированному рабочему потоку. Инновационный потенциал заключается не в самой технологии печати, а в ее глубокой интеграции в единую цифровую цепочку: диагностика → цифровой дизайн (CAD) → аддитивное производство (AM) → клиническая интеграция. Эта работа призвана систематизировать знания о триаде «технологии–материалы–цифровые системы», лежащей в основе современной концепции аддитивного восстановления зубов [1, 2]. Анализ совре-

менной практики и научных данных позволяет систематизировать ключевые компоненты цифрового аддитивного workflow в виде сравнительной таблицы (см. таблицу), которая наглядно демонстрирует синергию технологий, материалов и клинических применений.

Сравнительный анализ технологий 3D-печати в стоматологии

Критерий	SLA/DLP	DMLS	FDM/MJP
Точность	Очень высокая (25–100 мкм)	Высокая (20–50 мкм)	Средняя (100–200 мкм)
Основные материалы	Фотополимерные смолы («цифровые композиты»)	Титановые и кобальт-хромовые сплавы	Стандартные и биосовместимые полимеры
Ключевые применения	Хирургические шаблоны, временные и постоянные реставрации, модели, каппы	Индивидуальные аббатменты, каркасы протезов, имплантаты с пористой поверхностью	Диагностические и рабочие модели, временные конструкции, прототипы
Интеграция в workflow	Полная цифровая цепочка (IOS → CAD → Печать). Основа для Digital Surgery	Критична для виртуального планирования и печати сложных металлоконструкций	Используется преимущественно для этапа моделирования и прототипирования
Статус клинической валидации	Утвержден, «золотой стандарт» для полимеров	Утвержден для постоянных металлических конструкций	Утвержден для моделей и временных изделий
Преимущества	Гладкость поверхности, высокая детализация, скорость	Прочность, биосовместимость, создание сложных структур	Экономичность, скорость для серийного производства моделей
Ограничения	Ограниченная прочность некоторых смол, необходимость постобработки	Высокая стоимость оборудования и материалов, требования к постобработке	Ограниченная точность и прочность для финальных изделий

Проведенный анализ позволил интегрировать ключевые аспекты в единую систему и сформулировать следующие выводы. Максимальный клинический результат достигается не выбором отдельной технологии, а оптимизацией всей цифровой цепочки: от точного внутривитрового сканирования (IOS) через грамотный CAD-дизайн до адекватного выбора метода печати и материала. Данные подтверждают четкое разделение технологических ниш: SLA/DLP для высокоточных полимеров, DMLS для металлических конструкций и FDM/MJP для прототипирования.

Эволюция отрасли связана не только с аппаратными решениями. Развитие материалов, таких как «цифровые композиты» и керамические суспензии, расширяет области применения и перераспределяет рынок, а биопечать задает вектор будущего переход от протезирования к регенерации тканей. Несмотря на высокие стартовые инвестиции, технологии демонстрируют экономическую эффективность за счет сокращения сроков лечения, минимизации ручного труда, снижения брака и возможности оказания персонализированных услуг для того аддитивное производство формирует новую инженерно-цифровую парадигму в стоматологии.

Таким образом, аддитивные технологии, основанные на синергии 3D-печати, цифрового дизайна и новых материалов, стали новым клиническим стандартом, оз-

наменовав переход от ремесленного подхода к инженерно-цифровой парадигме. Будущее направления связано с автоматизацией, ИИ в проектировании, печатью керамики и развитием биопечати для регенерации тканей. Массовому внедрению, однако, способствуют вызовы: высокая стоимость, необходимость обучения специалистов и развитие нормативной базы для инновационных материалов.

Литература

1. AL-Aimiri, M. A. M. K. ERPNext: revolutionizing manufacturing management in factories / M. A. M. K. AL-Aimiri, M. F. S. H. AL-Kamali // Инновационное станкостроение, технологии и инструмент : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30 нояб. 2023 г. / М-во пром-сти Респ. Беларусь ; под общ. ред. М. И. Михайлова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 102–104.
2. AL-Aimiri, M. A. M. K. Streamlining factory operations: designing an effective manufacturing management program / M. A. M. K. AL-Aimiri, M. F. S. H. AL-Kamali // Инновационное станкостроение, технологии и инструмент : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30 нояб. 2023 г. / М-во пром-сти Респ. Беларусь ; под общ. ред. М. И. Михайлова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 105–106.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДАННЫХ В ПРИКЛАДНОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ: ТЕХНОЛОГИИ ШИФРОВАНИЯ, ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧЕК И СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТАМ (GDPR, HIPAA) В РАЗРАБОТКЕ ПРИЛОЖЕНИЙ

Ш. Аллакулыев, А. Суннатов

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Рассмотрены ключевые технологии шифрования, такие как симметричное и асимметричное шифрование, методы предотвращения утечек данных (DLP-системы) и требования стандартов GDPR и HIPAA. Цель исследования – анализ подходов к интеграции этих мер в процесс разработки, включая оценку рисков, выбор инструментов и тестирование. Методика основана на обзоре специализированной литературы и практических рекомендаций. Результаты показывают, что комбинированное использование шифрования данных в покое и в транзите, мониторинга доступа и аудита логов позволяет минимизировать риски утечек, обеспечивая соответствие регуляторам. В итоге подчеркивается необходимость комплексного подхода для повышения надежности ПО.

Ключевые слова: безопасность данных, шифрование, защита от утечек, GDPR, HIPAA, разработка приложений.

DATA SECURITY IN APPLICATION SOFTWARE: ENCRYPTION TECHNOLOGIES, LEAK PREVENTION, AND COMPLIANCE WITH STANDARDS (GDPR, HIPAA) IN APPLICATION DEVELOPMENT

S. Allakulyyev, A. Sunnatov

The State Energy Institute of Turkmenistan, Mary

The article examines key encryption technologies, such as symmetric and asymmetric encryption, data leak prevention methods (DLP systems), and GDPR and HIPAA standards requirements. The research aim is to analyze approaches to integrating these measures into the development process, including risk assessment, tool selection, and testing. The methodology is based on a review of specialized literature and practical recommendations. The results demonstrate that combining data encryption at rest and in transit, access monitoring, and log auditing minimizes leak risks, ensuring regulatory compliance. Ultimately, the need for a comprehensive approach to enhance software reliability is emphasized.

Keywords: data security, encryption, data leak prevention, GDPR, HIPAA, application development.

В современном мире, где приложения ежедневно обрабатывают огромные объемы личных и корпоративных данных, вопрос безопасности выходит на первый план. Утечки данных могут привести к финансовым потерям, репутационному ущербу и юридическим санкциям. По данным отчетов, в 2024 г. количество кибератак на приложения выросло на 30 % [1, с. 2], что подчеркивает актуальность темы. Целью данного исследования является изучение технологий шифрования, механизмов защиты от утечек и способов обеспечения соответствия стандартам GDPR (Общий регламент по защите данных ЕС) и HIPAA (Закон о переносимости и подотчетности медицинского страхования США) в процессе разработки прикладного ПО. Мы рассмотрим, как эти элементы интегрируются для создания надежных систем, минимизируя риски.

Методика проведения исследований опирается на анализ научной и практической литературы, включая обзоры стандартов и кейсы разработки. Были изучены рекомендации по шифрованию от ведущих источников, а также требования регуляторов [2, с. 3–5]. Для оценки эффективности применялись сравнительные методы: анализ преимуществ симметричного шифрования (например, AES-256) по сравнению с асимметричным (RSA), моделирование сценариев утечек и проверка compliance-чеклистов. Исследование проводилось на основе открытых данных и симуляций в тестовых средах, без реального доступа к конфиденциальным базам.

В результате анализа выявлено, что технологии шифрования играют ключевую роль в защите данных. Например, шифрование в покое (at rest) с использованием AES обеспечивает конфиденциальность хранимых данных, предотвращая несанкционированный доступ даже при физическом взломе устройств [1, с. 4]. Для данных в транзите рекомендуется TLS 1.3, который интегрирует шифрование и аутентификацию, снижая риски перехвата [2, с. 6]. Защита от утечек реализуется через DLP-системы, такие как мониторинг трафика и классификация данных, где алгоритмы машинного обучения выявляют аномалии в реальном времени [3, с. 7]. В контексте GDPR акцент делается на принципах “privacy by design”, включая минимизацию данных и прозрачность обработки, что требует внедрения consent-менеджмента в коде приложения [2, с. 4]. Для HIPAA фокус на медицинских данных: обязательное шифрование PHI (protected health information), аудит логов и контроль доступа с использованием ролевых моделей (RBAC), что снижает вероятность нарушений на 40–50 % по статистике [3, с. 8–9]. Полученные результаты показывают, что интеграция этих мер на этапе дизайна ПО позволяет не только соответствовать стандартам, но и повысить общую устойчивость к угрозам, как демонстрируют кейсы из здравоохранения.

Обеспечение безопасности данных в прикладном ПО требует комплексного подхода, сочетающего передовые технологии шифрования, DLP-инструменты и строгое соблюдение GDPR и HIPAA. Исследование подтверждает, что ранняя интеграция этих элементов минимизирует риски и повышает доверие пользователей. В будущем, с ростом ИИ и облачных сервисов, разработчикам стоит фокусироваться на автоматизированных аудитах и адаптивных системах защиты [1, с. 10]. Это не только юридическая необходимость, но и стратегическое преимущество в конкурентной среде.

Литература

1. Topflight Apps. HIPAA Compliant App Development in 2025 // Topflightapps.com. – 2025. – P. 1–10.
2. Appventurez. GDPR & HIPAA Compliance in IT Services / Data Security Guide // Appventurez.com. – 2025. – P. 3–6.
3. MobiDev. Healthcare Software Security and Data Protection Strategies // Mobidev.biz. – 2025. – P. 7–9.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В ПРИКЛАДНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ****П. С. Мырадов***Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары**Рассмотрены особенности применения технологии искусственного интеллекта в различных сферах человеческой деятельности.***Ключевые слова:** искусственный интеллект, машинное обучение, обработка естественного языка, автоматизация.**USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN APPLICATIONS****P. S. Myradov***The State Energy Institute of Turkmenistan, Mary**The article examines the specifics of applying artificial intelligence (AI) technology in various areas of human activity.***Keywords:** artificial intelligence, machine learning, natural language processing, automation.

Развитие искусственного интеллекта стало одним из ключевых направлений цифровой трансформации общества. Сегодня ИИ перестал быть абстрактным понятием из научной фантастики и превратился в мощный инструмент, внедряемый в практические решения, направленные на повышение эффективности и точности в разных сферах деятельности человека. В основе большинства прикладных приложений лежат алгоритмы машинного обучения и методы обработки естественного языка, которые позволяют системам не просто выполнять запрограммированные действия, но и обучаться на данных, выявлять закономерности и принимать решения [1].

В медицинской практике искусственный интеллект используется для анализа изображений, прогнозирования заболеваний и выбора оптимальных схем лечения. Например, системы компьютерного зрения, основанные на нейронных сетях, способны с высокой точностью распознавать опухоли на рентгеновских снимках и МРТ, превосходя по эффективности традиционные методы диагностики [1]. Это не только ускоряет процесс постановки диагноза, но и снижает риск человеческих ошибок.

В финансовом секторе ИИ применяется для анализа поведения клиентов, выявления мошеннических операций и управления инвестиционными портфелями. Алгоритмы машинного обучения анализируют миллионы транзакций, определяя подозрительные паттерны и предотвращая финансовые преступления [2]. Кроме того, технологии ИИ используются для прогнозирования рыночных тенденций, что помогает компаниям принимать стратегические решения на основе данных, а не интуиции.

В сфере образования ИИ способствует формированию персонализированных образовательных траекторий. Интеллектуальные обучающие системы анализируют

успеваемость студентов и подбирают учебные материалы в зависимости от их уровня подготовки и стиля обучения [3]. Такие подходы позволяют повысить мотивацию учащихся и эффективность образовательного процесса. Более того, чат-боты на основе обработки естественного языка предоставляют студентам круглосуточную поддержку и помогают решать учебные вопросы в интерактивной форме.

Интеграция искусственного интеллекта в прикладные приложения открывает новые горизонты для развития человеческого общества. В медицине ИИ спасает жизни, в финансах – обеспечивает безопасность и устойчивость, а в образовании – делает процесс обучения более гибким и доступным. Однако для успешного внедрения необходимо уделять внимание этическим вопросам, конфиденциальности данных и прозрачности алгоритмов. В будущем роль ИИ будет только возрастать, и от того, насколько ответственно человечество подойдет к его использованию, зависит эффективность и безопасность цифрового прогресса [2].

Литература

1. Кудрявцев, А. И. Искусственный интеллект и машинное обучение: современные тенденции и приложения / А. И. Кудрявцев. – М. : Наука, 2021. – 256 с.
2. Новиков, Д. А. Технологии искусственного интеллекта в экономике и управлении / Е. В. Смирнова. – СПб. : Питер, 2022. – 304 с.
3. Смирнова, Е. В. Цифровизация образования: роль искусственного интеллекта / Е. В. Смирнова // Образовательные технологии и общество. – 2023. – № 2. – С. 60–70.

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

А. М. Хамраев

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Рассмотрены ключевые методы защиты данных, применяемые в телекоммуникационных системах. Особое внимание уделено криптографическим технологиям, аутентификации, контролю доступа и новым направлениям – гомоморфному шифрованию и дифференциальной приватности. Цель исследования – определить наиболее эффективные подходы к обеспечению безопасности данных в условиях возрастающих угроз и усложняющихся сетевых архитектур. Методика основана на анализе современных публикаций и практического опыта специалистов отрасли. Результаты показывают, что комплексное сочетание классических и инновационных методов защиты позволяет повысить устойчивость сетей к несанкционированному доступу и утечкам информации.

Ключевые слова: телекоммуникации, защита данных, шифрование, аутентификация, приватность.

METHODS OF DATA PROTECTION IN TELECOMMUNICATION NETWORKS

A. M. Hamrayev

The State Energy Institute of Turkmenistan, Mary

This paper discusses key data protection methods used in telecommunication systems, focusing on cryptography, authentication, access control, and emerging approaches such as homomorphic encryption and differential privacy. The study aims to identify the most effective strategies to ensure data security amid growing cyber threats. The methodology is based on a review of current literature and industry practices. The results demonstrate that combining traditional and innovative protection techniques significantly enhances network resilience against unauthorized access and data leaks.

Keywords: telecommunications, data protection, encryption, authentication, privacy.

Современный этап развития информационного общества характеризуется стремительным ростом телекоммуникационных технологий и объемов передаваемых данных. Телефонная связь, интернет, облачные сервисы и мобильные приложения объединены в сложные распределенные системы, функционирующие в режиме реального времени. Однако вместе с технологическим прогрессом возросли и угрозы безопасности: утечки информации, перехват трафика, вредоносные вмешательства и нарушение конфиденциальности стали повседневной реальностью операторов связи [1, с. 17].

Проблема защиты данных в телекоммуникационных сетях выходит за рамки чисто технической задачи. Это комплексный вопрос, включающий криптографические, организационные и правовые аспекты. Цель данного исследования – рассмотреть существующие и перспективные методы защиты данных, выявить их преимущества и ограничения, а также предложить направления повышения уровня информационной безопасности телекоммуникационных систем.

Ключевым элементом выступает криптография, обеспечивающая защиту данных на уровне каналов связи и протоколов. Использование симметричных алгоритмов (AES, ChaCha20) в сочетании с асимметричными (RSA, ECC) дает высокий уровень безопасности. Тем не менее, как подчеркивает Габидулин [1, с. 22], эффективность криптографических средств зависит не только от алгоритма, но и от правильного управления ключами, длины ключей и защиты программной реализации. Ошибки в этих аспектах часто становятся причиной компрометации систем.

Не менее важным направлением является аутентификация и управление доступом. Без четкой системы разграничения прав даже самая надежная криптография не сможет предотвратить внутренние угрозы. В современных телекоммуникационных компаниях применяются механизмы двухфакторной аутентификации, цифровые сертификаты и системы управления ролями (RBAC). Они позволяют ограничить действия пользователей в зависимости от их статуса и ответственности.

На смену традиционным методам защиты приходят инновационные технологии, такие как гомоморфное шифрование. Этот подход позволяет обрабатывать данные в зашифрованном виде, что особенно актуально для операторов, проводящих аналитические расчеты и прогнозирование нагрузки сети. Исследование Ванга и соавторов [2, с. 45] показывает, что использование гомоморфного шифрования в сочетании с атрибутным управлением доступом повышает безопасность без существенного снижения производительности.

Кроме того, все большее значение приобретает дифференциальная приватность – технология, позволяющая анализировать большие массивы данных без раскрытия информации об отдельных пользователях. По мнению Манды [3, с. 13], именно этот метод станет ключевым элементом защиты в эпоху 5G и 6G, где телекоммуникационные компании обрабатывают терабайты персональных сведений ежедневно.

Результаты исследования показывают, что защита данных в телекоммуникационных сетях невозможна без комплексного подхода. Отдельные технологии, такие как криптография, аутентификация или приватные вычисления, эффективны лишь в сочетании друг с другом. Для обеспечения устойчивости к современным киберугрозам требуется интеграция технических и организационных мер, регулярное обновление алгоритмов защиты, а также учет международных стандартов и нормативов.

В ближайшие годы ключевыми тенденциями станут развитие постквантовой криптографии, использование искусственного интеллекта для мониторинга сетевой безопасности и дальнейшее внедрение методов приватных вычислений. Только системное применение этих технологий позволит создать доверенную цифровую среду, где данные пользователей и компаний будут надежно защищены на всех уровнях телекоммуникационной инфраструктуры.

Литература

1. Габидулин, Э. М. Защита информации в телекоммуникационных сетях / Э. М. Габидулин // CyberLeninka. – 2013. – С. 17–24.
2. Privacy protection of communication networks using fully homomorphic encryption and attribute encryption / W. Wang [et al.] // Scientific Reports. – 2024. – P. 45–52.
3. Manda, J. K. Privacy-Preserving Technologies in Telecom Data Analytics / J. K. Manda // Telecom Review. – 2025. – P. 11–19.

**ОПТИМИЗАЦИЯ АКТИВОВ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК КЛЮЧЕВОЙ
ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРСОНАЛА****Л. В. Мартинович, В. А. Самец, Т. А. Петровская***Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Повышение эффективности персонала как ключевого актива любого предприятия имеет огромное значение для оптимального функционирования организаций. В статье описаны способы оптимизации структуры персонала, используя современное программное обеспечение.

Ключевые слова: активы предприятия, персонал, оптимизация, программное обеспечение.

**OPTIMIZATION OF THE COMPANY'S ASSETS AS A KEY FACTOR
IN INCREASING STAFF EFFICIENCY****L. V. Martsinovich, V. A. Samets, T. A. Petrovskaya***Belarusian National Technical University, Minsk*

Increasing the efficiency of personnel as a key asset of any enterprise is of great importance for the optimal functioning of organizations. The article describes ways to optimize the personnel structure using modern software.

Keywords: company assets, personnel, optimization, software.

К активам предприятия относится все, чем владеет компания, от наличных денег до оборудования и интеллектуальной собственности. Активы компании представляют собой ресурсы, которые могут быть использованы для создания прибыли.

Структура активов оказывает значительное влияние на инвесторов, политиков и на сам объект хозяйствования, а именно на его устойчивость, конкурентоспособность и способность к росту. Для любой компании оптимизация структуры активов может повысить прибыльность, снизить финансовые риски и заложить основу устойчивого роста. Инвесторам понимание структуры активов компании может помочь оценить инвестиционные риски и потенциальную доходность. Следовательно, необходимо оптимизировать деятельность компании с точки зрения структуры активов.

В условиях динамично меняющейся экономической среды компании сталкиваются с необходимостью оптимизации своих активов также для повышения эффективности, достижения стратегических целей, минимизации рисков и максимизации доходов [1].

Оптимизация состава активов — процесс определения соотношения отдельных видов активов, обеспечивающего наилучшие условия производственно-коммерческой деятельности при высоком уровне ликвидности [2].

Для начала процесса оптимизации необходимо провести анализ структуры активов.

Оптимизация активов на предприятии может проводиться следующим образом:

1. Аудит или проверки, которые помогают обнаружить устаревшие или неактуальные активы.

2. Внедрение передовых технологий в производство для повышения его эффективности.

3. Постоянное повышение квалификации персонала, вложения в обучающие программы и курсы.

4. Создание стратегического плана и четкое следование ему, что помогает выделять основные направления, подвергаемые оптимизации [3].

Однако любое предприятие функционирует не изолировано, а в условиях изменяющейся рыночной среды, поэтому при оптимизации структуры и состава активов компании необходимо учитывать факторы внутренней и внешней среды.

Таким образом, оптимизация активов предприятия невозможна без грамотного управления персоналом, как важнейшим активом компании.

При оптимизации структуры персонала нужно следовать нескольким правилам, которые помогут преобразовать проблемы в возможности. Установить четкие роли и обязанности для каждого члена компании. Это устранил путаницу, ускорит время выполнения задач, а значит сократит потерю рабочего времени, минимизирует дублирование работы и гарантирует, что все аспекты будут рассмотрены. При подборе персонала следует учитывать разнообразие навыков и комплектовать штат таким образом, чтобы все члены команды дополняли друг друга, образуя единое целое. Организовать постоянную коммуникацию, что позволит всем быть в курсе хода проекта и адаптироваться к изменениям. Поддерживать коллективный дух, так как когда члены команды чувствуют себя частью сплоченной группы, они более склонны делиться идеями и эффективно сотрудничать. Обеспечивать гибкость производству. В современном быстро меняющемся цифровом мире способность легко адаптироваться к потребностям конкретного потребителя и рынка в целом дает преимущества организации и помогает оставаться конкурентоспособной. Выделить лидера и оказывать ему поддержку [3].

Сосредоточившись на этих ключевых характеристиках, мотивация сотрудников будет расти, а комфортные условия труда будут способствовать эффективной работе, что гарантирует организации достижение поставленных целей.

Современным трендом является организация удаленной работы для персонала. Вместе с этим возникает необходимость в дополнительном программном обеспечении, которое позволит контролировать время работы сотрудника. С одной стороны, для компании это приводит к дополнительным затратам, связанным с разработкой новой или покупкой существующей программы, внедрение ее и обучении работы с ней. Но с другой, ответственность сотрудников и качество работы возрастут. А значит и эффективность деятельности компании увеличится. Примером таких платформ являются Crocotime, ИНСАЙДЕР, StaffCop, Kickidler, Bitcop и другие. Изучение их работы будет полезно для любой компании, так как автоматизация рабочего процесса заметно сокращает объем обязанностей сотрудников. Однако важно следить за продуктивностью персонала в течение дня. Для этого подойдут данные программы, которые контролируют, чем занимаются сотрудники на ПК и смартфонах и фиксируют активность каждого работника для дальнейшего анализа.

Таким образом, активы компании играют огромную роль в хозяйственной деятельности любой организации, обеспечении эффективности производительности и максимизации прибыли. Но без оптимизации состава и структуры, активы не достигнут высоких результатов. Персонал как ключевой актив любой компании также нуждается в постоянном совершенствовании и корректировке. Применение различных методов оптимизации структуры работников позволит компаниям эффективно управлять своими ресурсами, повышать конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках и достигать поставленных целей.

Литература

1. Экономика организации (предприятия) : учеб. пособие / Л. Н. Нехорошева [и др.]. – Минск : БГЭУ, 2020. – 687 с.
2. Бланк, И. А. Словарь-справочник финансового менеджера / И. А. Бланк. – К. : Ника-Центр, 1998. – 480 с.
3. Мишкин, Ф. С. Экономика денег, банковское дело и финансовые рынки / Ф. С. Мишкин. – М. : Вильямс, 2019. – 821 с.

**ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАБОТЫ НЕЙРОСЕТИ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРАВИЛЬНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ
ШКОЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

А. А. Артамонов, Т. Ц. Намдаг, Е. М. Косарева

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Представлен протокол экспертной оценки, направленный на определение точности ответов нейросетевой модели, используемой для проверки решения заданий школьного уровня.

Ключевые слова: искусственный интеллект, образовательные технологии, оценка точности, экспертная валидация, протокол тестирования.

**EXPERT EVALUATION OF THE ACCURACY OF A NEURAL
NETWORK FOR ASSESSING THE CORRECTNESS OF SOLVING
SCHOOL CURRICULUM ASSIGNMENTS**

A. A. Artamonov, T. Ts. Namdag, E. M. Kosareva

Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk

The article presents an expert evaluation protocol aimed at determining the accuracy of responses from a neural network model used to check the solutions to school-level assignments.

Keywords: user interface, medical diagnostic systems, usability engineering.

Актуальность разработки данного протокола обусловлена необходимостью объективной проверки качества работы интеллектуальных систем, применяемых в образовательной среде. В условиях активного внедрения технологий искусственного интеллекта в учебный процесс возрастает значение системной и воспроизводимой методики оценки точности генерируемых ответов.

Типы заданий, используемых в качестве выборки для оценки точности ответов нейросети, можно классифицировать следующим образом:

1. Тестовые задания (с выбором ответа) – предполагают выбор одного или нескольких правильных вариантов из предложенных [4].
2. Краткие ответы – требуют воспроизведения конкретного факта, формулы или определения. Основным критерий – фактическая точность [4].
3. Развернутые ответы (эссе, объяснения, решения задач) – оцениваются по полноте раскрытия, логической структуре и языковой корректности [1].
4. Задания на вычисления – предполагают получение численного результата. Оценка проводится через сравнение с эталоном с допустимой погрешностью [4].

Оценка точности ответов нейросети производится на основании совокупности факторов, отражающих как содержательные, так и формальные характеристики решений.

Каждый ответ нейросети оценивается по следующим критериям:

- фактическая точность;
- логическая связность;
- полнота раскрытия;
- языковая корректность;
- соответствие уровню задания [3].

Метод оценки точности ответов нейросети основан на сопоставлении с эталонными решениями и последующей экспертной валидации.

Для каждого критерия выставляется балл от 0 до 2:

0 – несоответствие критерию;

1 – частичное выполнение;

2 – полное выполнение.

После этого рассчитывается интегральный показатель точности представленные по формуле

$$T = \frac{\sum B_i}{2n},$$

где B_i – сумма баллов по критериям для i -го задания; n – число заданий.

Полученный процент отражает степень совпадения ответов нейросети с эталоном и позволяет классифицировать уровень ее точности. Модель демонстрирует соответствие учебным стандартам при точности ответов 85–100 %.

Результаты оценки точности работы модели представлены в таблице.

Результаты оценки точности работы модели

Название предмета	Тип задания	Процент правильности ответа
Математика	Тестовое задание	100
Математика	Вычислительное задание	100
Математика	Краткий ответ	100
Математика	Развернутый ответ	96

Разработанная методика была применена для оценки ответов нейросети, обученной на базе школьных учебных данных. В процессе тестирования были проанализированы задания различных типов. На основании экспертных оценок и вычисления интегрального показателя установлено, что нейросетевая модель продемонстрировала высокий уровень точности. Особенно высокий результат был зафиксирован при решении вычислительных и тестовых заданий, где степень совпадения с эталоном достигала 100 %. Незначительные отклонения отмечены преимущественно в развернутых ответах, требующих интерпретации и логического обоснования.

Таким образом, предложенная система экспертной оценки доказала свою эффективность как инструмент объективного анализа когнитивных возможностей нейросетевых моделей. Полученные результаты подтверждают, что разработанная нейросетевая модель демонстрирует устойчивую способность к воспроизведению корректных решений в рамках школьной программы и может быть использована в образовательных целях. Представленный протокол может служить основой для дальнейшей стандартизации процедур оценки искусственного интеллекта в сфере образования и внедрения адаптивных систем контроля качества обучающихся моделей.

Литература

1. Системы искусственного интеллекта в образовании: методики тестирования и валидации – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-iskusstvennogo-intellekta-v-obrazovanii/viewer> (дата обращения: 14.10.2025).
2. Методы оценки эффективности интеллектуальных систем. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48563291> (дата обращения: 14.10.2025).
3. ГОСТ Р 57197-2016. Системы искусственного интеллекта. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2016. – 20 с.

РАЗРАБОТКА RAG-СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОТРАСЛИ СВЯЗИ

А. В. Бардашевич, В. А. Федоренко

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Представлена RAG-система на основе локальной базы знаний, предназначенная для автоматизированного обучения и оперативной поддержки специалистов в отрасли связи. Система функционирует в автономном режиме, сочетая семантический поиск релевантной информации и генерацию точных ответов на естественном языке. Это обеспечивает быстрый доступ к нормативно-технической документации без подключения к Интернету, повышает эффективность обучения и снижает риски ошибок в профессиональной деятельности.

Ключевые слова: RAG-система, локальная база знаний, автоматизированное обучение, семантический поиск, генерация текста, искусственный интеллект, специалисты связи, автономный режим, информационная безопасность, цифровизация образования.

DEVELOPMENT OF A RAG SYSTEM BASED ON A LOCAL KNOWLEDGE BASE FOR AUTOMATED TRAINING OF COMMUNICATIONS SPECIALISTS

A. V. Bardashevich, V. A. Fedorenko

Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk

This paper presents a RAG system based on a local knowledge base, designed for automated training and operational support of communications specialists. The system operates offline, combining semantic search for relevant information and the generation of accurate natural language responses. This ensures quick access to regulatory and technical documentation without an internet connection, improves training efficiency, and reduces the risk of professional errors.

Keywords: RAG system, local knowledge base, automated training, semantic search, text generation, artificial intelligence, communications specialists, offline mode, information security, digitalization of education.

С развитием искусственного интеллекта все большее внимание уделяется автоматизации процессов обучения и поддержки специалистов. В отрасли связи, где требуется высокая оперативность и точность выполнения задач, особенно остро стоит вопрос быстрого доступа к актуальной информации. Однако в условиях отсутствия интернета или при работе с закрытыми данными использование облачных решений невозможно. Эту проблему поможет решить система на основе Retrieval-Augmented Generation (RAG), предназначенная для автоматизированного обучения и сопровождения специалистов связи в автономном режиме.

Методология основана на архитектуре Retrieval-Augmented Generation (RAG) –

гибридном подходе, сочетающем точный поиск информации с возможностью генерации осмысленных ответов на естественном языке. Целью является создание автономного интеллектуального помощника, предназначенного для поддержки и обучения специалистов в отрасли связи, работающего в условиях ограниченного доступа к интернету, в том числе в закрытых сетях и оффлайн-режиме.

Процесс разработки состоит из трех последовательных этапов: подготовка и структурирование базы знаний, семантический поиск релевантной информации и генерация ответа [1].

На первом этапе формируется локальная база знаний – централизованный источник информации, содержащий нормативные документы, технические руководства, и другие материалы, необходимые для профессиональной деятельности. Информация представляется в виде текстовых блоков, каждый из которых описывает законченную тему или процедуру. Такое структурирование позволяет системе эффективно анализировать и использовать данные, обеспечивая высокую точность поиска. База знаний хранится в простом формате (например, TXT, JSON или CSV).

Второй этап – семантический поиск – заключается в определении наиболее релевантного фрагмента знаний на основе вопроса пользователя. Входной запрос преобразуется в числовое векторное представление (эмбединг) с помощью модели для анализа естественного языка. Аналогичным образом кодируются все элементы базы знаний. Затем система вычисляет степень сходства между вектором запроса и векторами контекстов, выбирая один или несколько наиболее близких по смыслу фрагментов. Этот подход позволяет находить релевантную информацию даже тогда, когда формулировка вопроса отличается от текста в базе, обеспечивая понимание по смыслу, а не по ключевым словам.

Третий этап – генерация ответа – предполагает формирование информативного, краткого и понятного ответа на естественном языке. Для этого используется языковая модель, которой передаются найденный контекст и исходный вопрос. Модель интерпретирует информацию и формулирует ответ в удобной для восприятия форме.

Интерфейс взаимодействия реализуется в виде веб-приложения или десктопного клиента, обеспечивающего удобный доступ для пользователей. Система может работать как на отдельном компьютере, так и в локальной сети, позволяя нескольким специалистам одновременно получать консультации.

Таким образом, предложенная методология представляет собой масштабируемое, безопасное и эффективное решение для автоматизации обучения и повышения квалификации специалистов связи, применимое в различных образовательных и оперативных контекстах.

RAG-система найдет широкое применение в процессе подготовки и повседневной деятельности специалистов связи. Ее основное назначение – ускорение доступа к информации и повышение качества усвоения знаний в условиях, когда время и точность имеют критическое значение [1].

В учебном процессе система выступит в роли интеллектуального помощника, который помогает студентам быстрее ориентироваться в объемных учебных материалах. Вместо долгого поиска по документам они могут задать вопрос в чате и мгновенно получить точный ответ. Это способствует более глубокому пониманию материала, снижает нагрузку на преподавателей и формирует навык самостоятельной работы с информацией [2].

В оперативной деятельности RAG-система становится справочником, доступным в любое время. Специалист, столкнувшись с нестандартной ситуацией или необходимостью восстановить работоспособность оборудования, может получить кон-

сультацию буквально за несколько секунд. Благодаря этому снижается вероятность ошибок, ускоряется принятие решений и повышается общая эффективность действий.

В перспективе RAG-система может быть расширена за счет интеграции мультимедальных возможностей – например, анализа изображений, схем или видеоинструкций, что особенно актуально при обучении работе с техническими средствами связи.

Дополнительные направления развития включают внедрение поддержки диалогового контекста для ведения многоступенчатых бесед, интеграцию с системами электронного обучения (LMS), а также развертывание на мобильных устройствах для оперативного доступа в полевых условиях [3].

Особое значение имеет автономность системы: ее способность функционировать в оффлайн-режиме делает ее применимой в учебных заведениях, полевых условиях и закрытых сетях, где требования к информационной безопасности исключают использование облачных сервисов [3]. Простота обновления базы знаний обеспечивает актуальность контента, что особенно важно в условиях динамичного развития технологий связи.

Таким образом, система не только ускоряет процесс обучения, но и способствует формированию навыков самостоятельной работы с информацией, развивает оперативное мышление и повышает общую подготовленность специалистов. В перспективе такая архитектура может быть адаптирована для других профессиональных направлений, включая управление инфраструктурой, техническое обслуживание и обучение в чрезвычайных ситуациях.

Л и т е р а т у р а

1. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks / P. Lewis, G. Izacard, I. Augenstein [et al.] // arXiv. – 2020. – URL: <https://arxiv.org/abs/2005.11401> (дата обращения: 09.10.2025).
2. Крупская, Е. С. Проблемы современного профессионального образования / Е. С. Крупская. – М. : Высш. шк., 2022. – 187 с.
3. Башмаков, А. И. Цифровизация образования: теория и практика / А. И. Башмаков. – М. : Просвещение, 2023. – 240 с.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ФИШИНГОВЫХ АТАК И МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ СОЦИАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

В. Д. Барковский, В. А. Федоренко

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Основной целью данной статьи является анализ принципов квантовой криптографии, ее преимуществ и перспектив внедрения в сферу кибербезопасности.

Ключевые слова: квантовая криптография, квантовое распределение ключей, фотон, кубит, протокол BB84.

ANALYSIS OF MODERN PHISHING ATTACKS AND METHODS OF PROTECTION AGAINST SOCIAL ENGINEERING

V. D. Barkovsky, V. A. Fedorenko

Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk

The main objective of this article is to analyze the principles of quantum cryptography, its advantages, and the prospects for its implementation in the field of cybersecurity.

Keywords: quantum cryptography, quantum key distribution, photon, qubit, BB84 protocol.

В отличие от традиционной криптографии, основанной на математике, квантовая криптография полагается на физику и использует свойства квантовых частиц, таких как фотоны, для обмена ключами и защиты передачи данных от подслушивания или подделки. Фотоны представляют собой двоичные кубиты [2].

Квантовая криптография основывается на фундаментальных принципах квантовой физики, таких как:

- принцип неопределенности Гейзенберга – любое измерение состояния квантовой системы приводит к ее изменению. Это позволяет мгновенно обнаружить попытку перехвата данных;

- принцип суперпозиции – квантовые частицы могут находиться в нескольких состояниях одновременно, что усложняет задачу взлома;

- эффект запутанности – изменение состояния одной частицы моментально отражается на другой, независимо от расстояния между ними.

Одним из основных элементов квантовой криптографии является квантовый канал связи, который обеспечивает надежную передачу квантового состояния между двумя сторонами.

Квантовая криптография предлагает несколько преимуществ по сравнению с традиционными криптографическими методами:

- обеспечивает безопасность, поскольку опирается на фундаментальные принципы квантовой механики, обеспечивающие безопасность. Это гарантирует, что ни один злоумышленник не сможет перехватить или изменить зашифрованные данные, не будучи обнаруженным;

- позволяет безопасно распространять ключи шифрования с помощью КРК, гарантирующее, безопасный обмен ключами и не может быть перехвачен третьей стороной. Это устраняет риск перехвата или угадывания ключей, существующий в традиционных методах;

- считается ориентированной на будущее, поскольку неуязвима перед потенциальными достижениями в области квантовых вычислений, которые могут нарушить традиционные методы шифрования;

- используя квантовые ключи, гарантирует, что отправитель и получатель, а также любые посредники могут безопасно аутентифицировать друг друга. Это помогает предотвратить несанкционированный доступ и защищает от атак типа «человек посередине».

В целом, преимущества квантовой криптографии заключаются в ее способности обеспечивать надежную защиту, безопасное распределение ключей, защиту от достижений квантовых вычислений в будущем и надежные механизмы аутентификации [2].

Потенциальные недостатки и ограничения, связанные с квантовой криптографией, включают следующее:

- протоколы КРК ограничены максимальным расстоянием, на котором они могут быть реализованы. Это связано с потерей квантовых состояний через передающую среду;

- скорость распространения ключей значительно медленнее, чем в классической криптографии;

- стоимость систем квантовой криптографии может быть значительно выше по сравнению с традиционными криптографическими методами. Ожидается, что по мере развития технологии и ее более широкого использования стоимость будет снижаться.

Современные исследования в области квантовой криптографии сосредоточены на развитии квантовых сетей и улучшении протоколов распределения квантовых ключей (QKD). Наиболее известные протоколы, такие как BB84 и E91, уже проде-

монстрировали свою эффективность в лабораторных условиях и в ограниченных коммерческих проектах.

Недавние прорывы в области квантовых ретрансляторов позволяют расширить дальность передачи квантовых сигналов, что является важным шагом к созданию глобальных квантовых сетей. Такие сети обещают стать основой для безопасной передачи данных на большие расстояния без риска перехвата. Кроме того, ведутся работы по созданию спутниковых квантовых сетей, которые смогут обеспечить безопасную связь на уровне целых континентов.

Квантовая криптография представляет собой одно из самых перспективных направлений в области кибербезопасности.

Л и т е р а т у р а

1. Основы квантовой криптографии. – URL: <https://na-journal.ru/62023-informacionnye-tehnologii/5918-osnovy-kvantovoy-kriptografii> (дата обращения: 13.10.2025).
2. Роль квантовой криптографии в будущем кибербезопасности. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-kvantovoy-kriptografii-v-buduschem-kiberbezopasnosti/viewer> (дата обращения: 13.10.2025).

СИСТЕМА ОЦЕНКИ РАВНОВЕСИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА

Н. С. Глушаченко, Д. В. Деменковец, П. Ю. Бранцевич

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Представлена разработка комплекса для проведения тренировок на баланс с использованием балансировочного диска, оснащенного акселерометром. Система позволяет измерять углы наклона диска и отслеживать положение голеностопного сустава в режиме реального времени. Реализована тренировка с биологической обратной связью, в которой пациент управляет меткой на экране, стремясь удерживать ее в центре мишени. Полученные данные позволяют объективно анализировать динамику восстановления и разрабатывать оптимальные программы реабилитации пациентов с хронической нестабильностью голеностопного сустава и нарушениями равновесия.

Ключевые слова: балансировочный диск, реабилитационный модуль, голеностопный сустав.

SYSTEM FOR ASSESSING THE BALANCE AND POSITION OF THE ANKLE JOINT

N. S. Glushachenko, D. V. Demenkovets, P. Yu. Brantsevich

Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk

The paper presents the development of a complex for balance training using a balancing disc equipped with an accelerometer. The system allows measuring the angles of inclination of the disc and tracking the position of the ankle joint in real time. A training program with biological feedback has been implemented, in which the patient controls a marker on the screen, trying to keep it in the center of the target. The data obtained allows for objective analysis of the dynamics of recovery and the development of optimal rehabilitation programs for patients with chronic ankle instability and balance disorders.

Keywords: balancing disc, rehabilitation module, ankle joint.

Тренировки на баланс (Balance Training) являются одним из эффективных методов оценки и коррекции нарушений работы голеностопа, особенно у пациентов с хронической нестабильностью голеностопного сустава (ХНГС). Тренировки на баланс значительно улучшают процесс реабилитации пациентов. Это подтверждается метриками, такими как результаты теста Star Excursion Balance Test (SEBT), где изолированные силовые тренировки не смогли обеспечить сопоставимый прогресс [1]. Также подобные тренировки используются при реабилитации спортсменов и людей с нарушениями вестибулярного аппарата. В практической плоскости программы баланса реализуются путем использования нестабильных поверхностей.

Выделяют различные виды нестабильных поверхностей. Одним из них является балансировочный диск. Подобный диск особенно полезен для выполнения упражнений, направленных на развитие проприоцепции, и часто применяется в клинической физиотерапии после травм нижней конечности или хирургических вмешательств, особенно на поздних этапах реабилитации [2].

Для получения данных при использовании балансировочного диска был разработан аппаратный комплекс, содержащий коммуникационный модуль со встроенным программным обеспечением. Модуль имеет в своем составе акселерометр для вычисления углов наклона диска. Встраиваемая система представляет собой блок, интегрируемый в балансировочный диск. При этом размер и форма балансировочного диска не имеют значения за счет портативности комплекса.

Благодаря использованию акселерометра можно отслеживать положение голеностопа. Таким образом можно разработать систему тренировок с биологической обратной связью, где процесс реабилитации будет представлять собой игру. На основании собранных координат предполагается рассчитать числовые характеристики, которые позволят оценить эффективность различного вида тренировок, что позволит создать оптимальный набор тренировок для выполнения реабилитации пациентов с нарушениями вестибулярного аппарата и ХНГС.

На данный момент разработана тренировка, в ходе которой пациент управляет меткой с помощью изменения положения балансировочного диска (наклон диска соответствует наклону голеностопа), стараясь удерживать смещаемую в зависимости от положения центра давления метку в центре мишени. Отображаемая метка и мишень представлены на рис. 1.

Среди числовых характеристик были выбраны следующие:

- среднеквадратическое отклонение по осям ОХ и ОУ для оценки разброса общего центра давления;
- смещение по осям ОХ и ОУ для оценки среднего положения общего центра давления;
- средняя скорость для сравнения различных по длительности исследований;
- площади эллипса и выпуклой фигуры для определения смещения пациента;
- скорость сближения курсора с мишенью для оценки подвижности голеностопа.

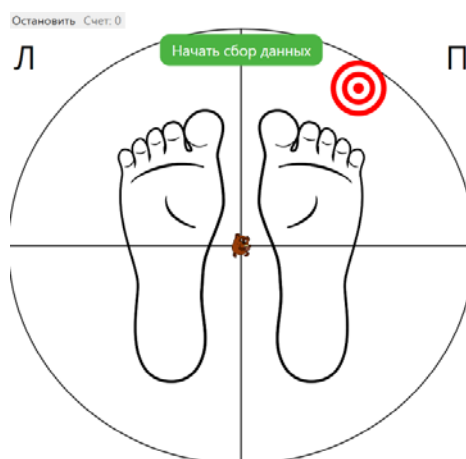


Рис. 1. Разработанная тренировка

Таким образом, в результате проведенной работы были выбраны требуемые для диагностики числовые характеристики, реализованы алгоритмы их расчета и графического представления. В дальнейшем планируется разработать несколько видов тренировок, различающихся по сложности и направленности. На основе анализа собранных данных предполагается сформировать комплекс тренировок, адаптированный под индивидуальные особенности пациента. Такой подход обеспечит персонализированную реабилитацию, направленную на восстановление функции голеностопного сустава и улучшение проприоцепции.

Литература

1. Effects of Combination of Strength and Balance Training on Postural Control and Functionality in People with Chronic Ankle Instability: A Systematic Review and Meta Analysis / A. B. S. U. Yuying [et al.], 2023.
2. Demir, A. Comparison Of Effect Of Balance Disc And Bosu Ball On Ankle Dorsiflexor And Plantarflexor Muscle Strength / A. Demir // European Journal of Physical Education and Sport Science. – 2019.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ

П. Р. Кедик, И. А. Врублевский

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Проведен комплексный сравнительный анализ двух фундаментальных классов криптографических алгоритмов – симметричных и асимметричных. Задачей исследования было выявление их ключевых характеристик, преимуществ и ограничений в контексте современных требований к информационной безопасности. При проведении сравнительного анализа в первую очередь учитывались такие параметры, как скорость работы и производительность, уровень криптостойкости, механизмы управления ключами, области практического применения и устойчивость к различным типам атак.

Ключевые слова: сравнительный анализ, симметричное шифрование, асимметричное шифрование, криптостойкость, производительность, управление ключами, гибридные криптосистемы, AES, RSA, ECC.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENCRYPTION ALGORITHMS

P. R. Kedzik, I. A. Vrublevsky

Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk

The article provides a comprehensive comparative analysis of two fundamental classes of cryptographic algorithms: symmetric and asymmetric. The research aims to identify their key characteristics, advantages, and limitations within the context of modern information security requirements. The primary focus is on comparing such parameters as operational speed and performance, the level of cryptographic strength, key management mechanisms, practical application areas, and resilience to various types of attacks.

Keywords: comparative analysis, symmetric encryption, asymmetric encryption, cryptographic strength, performance, key management, hybrid cryptosystems, AES, RSA, ECC.

Современные вызовы информационной безопасности требуют глубокого понимания криптографических методов защиты данных. Симметричные и асимметричные алгоритмы шифрования представляют собой два фундаментальных подхода к обеспечению конфиденциальности информации. Их сравнительный анализ позволяет выявить оптимальные сферы применения каждого метода. Симметричные алгоритмы характеризуются высокой скоростью работы и эффективностью при шифровании больших объемов данных. Асимметричные методы решают критически важную проблему безопасного распределения ключей. Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимального сочетания этих подходов в условиях их практической реализации. В статье приведен систематический анализ характеристик обоих типов шифрования с упором на сравнение производительности, криптостойкости и сложности управления ключами. На основе результатов исследований предложены рекомендации по выбору алгоритмов для эффективного решения различных прикладных задач.

Симметричные алгоритмы шифрования используют один ключ для операций шифрования и дешифрования. К наиболее распространенным алгоритмам относятся AES (Advanced Encryption Standard) с длиной ключа 128-256 бит, DES (Data Encryption Standard) и его преемник 3DES, отечественный стандарт ГОСТ 28147-89 (рис. 1).



Рис. 1. Схема симметричного алгоритма шифрования

Асимметричные алгоритмы основаны на использовании пары ключей – открытого и закрытого. Основные представители RSA (Rivest-Shamir-Adleman), эллиптические кривые ECC (Elliptic Curve Cryptography), алгоритмы Диффи-Хеллмана (рис. 2).



Рис. 2. Схема асимметричного алгоритма шифрования

Производительность: симметричные алгоритмы демонстрируют в 100–1000 раз более высокую скорость обработки данных. Например, AES показывает скорость около 1–2 Гбит/с на современном оборудовании, в то время как RSA 2048-bit – всего 5–10 Мбит/с.

Криптостойкость: асимметричные алгоритмы требуют значительно большей длины ключей для обеспечения сопоставимой стойкости. Эквивалентная стойкость достигается при $\text{AES-128} \approx \text{RSA-3072}$ и $\text{AES-256} \approx \text{RSA-15360}$.

Управление ключами: симметричные алгоритмы требуют безопасного канала для передачи ключа, что создает проблему $n(n-1)/2$ ключей для n пользователей. Асимметричные алгоритмы решают эту проблему через открытые ключи.

В реальных условиях оба типа алгоритмов используются совместно в гибридных системах: симметричное шифрование для передачи сеансового ключа и симметричное шифрование для основного обмена данными.

Такое сочетание позволяет использовать преимущества обоих подходов, таких как высокую скорость симметричного шифрования и безопасное распределение ключей асимметричных методов.

Сравнительный анализ показывает комплементарный характер двух классов алгоритмов. Оптимальный выбор зависит от конкретных требований к безопасности, производительности и масштабируемости системы. Современные реализации должны учитывать необходимость гибридного подхода для достижения максимальной эффективности защиты.

Л и т е р а т у р а

1. Тимофеев, А. М. Криптографическая защита информации : учеб.-метод. пособие / А. М. Тимофеев. – Минск : БГУИР, 2020. – 112 с.
2. Аграновский, А. В. Практическая криптография: алгоритмы и их программирование / А. В. Аграновский, Р. А. Хади. – М. : СОЛОН-Пресс, 2009. – 256 с.

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ UI-ДИЗАЙНА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ И КОРРЕКЦИИ ХРОНИЧЕСКОГО ПОСТИНСУЛЬТНОГО БОЛЕВОГО СИНДРОМА

А. А. Кушнер, Е. М. Косарева

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Рассмотрены принципы проектирования компонентов пользовательских интерфейсов медицинских приложений на примере диагностического приложения для врачей-неврологов.

Ключевые слова: пользовательский интерфейс, медицинские диагностические системы, юзабилити-инжиниринг.

UI DESIGN PRINCIPLES FOR MEDICAL APPLICATIONS USING THE EXAMPLE OF A SOFTWARE TOOL FOR DIAGNOSTICS AND CORRECTION OF CHRONIC POST-STROKE PAIN SYNDROME

A. A. Kushner, E. M. Kosareva

Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk

This article examines the design principles of user interface components for medical applications using the example of a diagnostic application for neurologists.

Keywords: user interface, medical diagnostic systems, usability engineering.

Тенденция к цифровизации, охватывающая все отрасли функционирования государства, оказывает существенное влияние и на медицину. К примеру, в сфере неврологии наблюдается переход от бумажной фиксации к применению автоматизированных систем для сбора анамнеза и проведения тестирования с целью оценки различных показателей при диагностике неврологических синдромов у пациентов.

В работе с постинсультными пациентами одним из аспектов является периодическая диагностика болевого синдрома. Предлагаемым подходом к решению данной задачи является веб-приложение «PainMetrika». Оно позволяет осуществлять оценку болевого синдрома неврологических пациентов на основе опросов.

Цветовая схема интерфейса разработана с целью обеспечения визуальной гармонии, эмоционального комфорта пользователей. Оттенок синего (#2E67F6) был выбран в качестве основного цвета интерфейса исходя из принципов эргономики восприятия и эмоциональной нейтральности. Дополнительные синие оттенки (#2E7CF6, #5391F2, #D4E6FF) используются для создания глубины интерфейса и выделения функциональных элементов без чрезмерной визуальной нагрузки.

Нейтральная палитра серых цветов (от #262626 до #F9F9F9) применяется для обеспечения читаемости текстовой информации и визуального баланса. Более темные оттенки применяются для отображения текста, при этом достигается уровень контрастности AAA, что свидетельствует о соблюдении принципа доступности [1]. Более светлые оттенки серого служат фоновыми тонами, формируя структурированное визуальное пространство. В качестве цвета фона используется белый цвет (#FFFFFF).

Для отображения предупреждений и сообщений об ошибках используется оттенок красного (#E43D3D), который обеспечивает визуальное выделение и легкое считывание информации.

Цветовая схема интерфейса представлена на рис. 1.

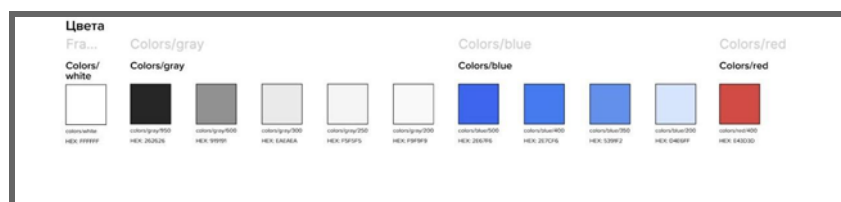


Рис. 1. Цветовая схема интерфейса

В качестве основного шрифта интерфейса выбран *Proxima Nova* [2], отличающийся высокой читаемостью и нейтральным визуальным стилем. Благодаря сбалансированным пропорциям и оптимальному межбуквенному интервалу шрифт снижает зрительную нагрузку, повышая комфорт при длительном использовании приложения. В качестве базового размера шрифта был выбран основной текст (*p*) размером в 12 *pt*; остальные размеры были вычислены на основании *Major third* с множителем 1.25.

Пример экрана приложения представлен на рис. 2.

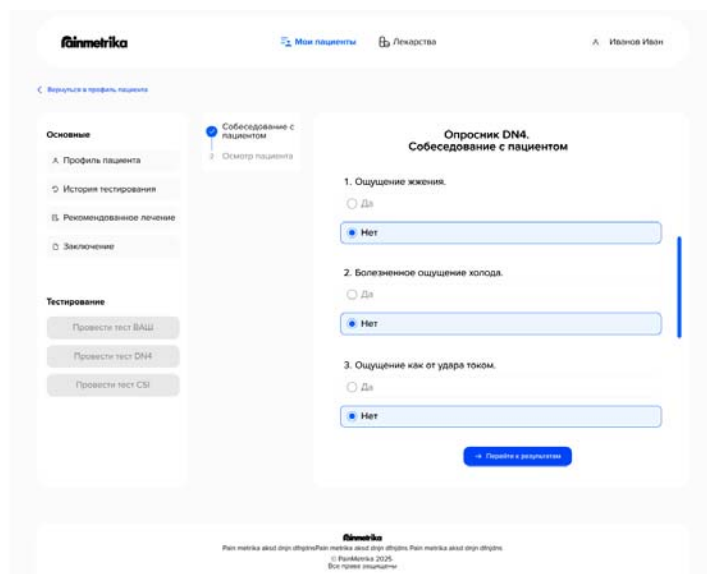


Рис. 2. Пример экрана прохождения теста

Описанные принципы лежат в основе проектирования *UI* более двадцати экранов. Для оценки качества полученного решения планируется апробировать результаты путем проведения моделируемого тестирования и тестирования доступности.

Литература

1. WCAG 2. – URL: <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/> (дата обращения: 10.10.2025).
2. Proxima nova. – URL: <https://fonts-online.ru/fonts/proxima-nova> (дата обращения: 10.10.2025).

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАМПЫ ВУДА

Ю. А. Лазарева, Ю. А. Скудняков

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск

Данная работа посвящена актуальной теме – автоматизации проведения диагностики кожных заболеваний человека. Целью выполнения работы является разработка мобильного приложения, которое работает на основе созданных графовых, структурно-функциональной и алгоритмической моделей для проведения диагностики кожных заболеваний человека. Мобильное приложение разработано при использовании фреймворка *ReactNative* с интеграцией библиотеки *OpenCV*, которая работает на основе компьютер-

ного зрения и обеспечивает определение заболеваний кожи через загруженное изображение интересующего участка кожи в свете лампы Вуда. Мобильное приложение позволяет проводить диагностику кожи на наличие заболеваний в домашних условиях на основе использования спектрального анализа подсвечиваемого заболевания.

Ключевые слова: модели, автоматизация, мобильное приложение, нейросети, фреймворк ReactNative, компьютерное зрение, диагностика.

MOBILE APP FOR DETERMINING SKIN DISEASES OF A HUMAN USING A WOOD LAMP

Yu. A. Lazareva, Yu. A. Skudnyakov

Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk

This work is devoted to the relevant topic of automating the diagnosis of human skin diseases. The goal of this work is to develop a mobile application that uses graph, structural-functional, and algorithmic models to diagnose human skin diseases. The mobile application is developed using the ReactNative framework and integrates the OpenCV library, which uses computer vision to detect skin diseases based on the uploaded image of the skin area of interest under Wood's lamp illumination. The mobile application allows for the diagnosis of skin diseases at home using spectral analysis of the illuminated disease.

Keywords: models, automation, mobile application, neural networks, ReactNative framework, computer vision, diagnostics.

Проблемы с кожей представляют собой одну из ключевых медицинских трудностей глобального масштаба. Некоторые из наиболее распространенных заболеваний кожи включают: грибковые заболевания, микроспория, вульгарные угри (акне), эритразма, разноцветный лишай, заболевание Фавуса, витилиго, красная волчанка. Использование созданного мобильного приложения позволяет ускорить и облегчить диагностирование кожных заболеваний на ранних стадиях без участия специалиста.

Лампа Вуда – это устройство, излучающее длинноволновый ультрафиолетовый свет. Она была изобретена в 1903 г. американским физиком-экспериментатором Робертом Вудом и названа в его честь «blacklightlampwood». Так называемый «черный свет», исходящий от этой лампы, активно применяется дерматологами и косметологами для диагностики болезней кожи [1]. Благодаря ультрафиолетовому свечению пораженные грибком или микроэлементами области эпидермиса начинают выделяться различными оттенками. Знание принципа работы лампы Вуда дает понимание того, как функционирует мобильное приложение, интегрированное с этой лампой. Программное обеспечение создано на основе фреймворка ReactNative с применением языка программирования JavaScript. Использование комбинации ReactNative и JavaScript обеспечивает широкие возможности для мобильной разработки, включая простоту изучения, совместимость с несколькими платформами, наличие обширной инфраструктуры и высокий уровень производительности. Для разработки мобильного приложения были использованы графовые, структурно-функциональная и алгоритмическая модели. Применение созданных графовых моделей позволяет формально описать процессы диагностики и лечения кожных заболеваний, а использование разработанных в работе структурно-функциональной и алгоритмической моделей обеспечивает автоматизацию проведения процессов диагностики и лечения кожных заболеваний человека.

Работа начинается с запуска пользователем приложения и перехода на нужную страницу, где активация кнопки дает возможность выбрать фотографию участка кожи, обработанного ультрафиолетовым светом, из галереи устройства. Полученное изображение представлено в формате RGB, где каждый пиксель обозначается тремя числами, отражающими интенсивность красного, зеленого и синего цветов соответственно. Далее происходит конвертация картинки из формата RGB в формат HSV («тон-насыщенность-значение») при работе с библиотекой OpenCV. OpenCV (OpenSourceComputerVisionLibrary) – библиотека программного обеспечения для компьютерного зрения и машинного обучения с открытым исходным кодом. OpenCV был создан для обеспечения общей инфраструктуры для приложений компьютерного зрения и ускорения использования машинного восприятия в коммерческих продуктах [2]. Важным преимуществом модели HSV является разделение цветовой информации на три компонента: тон определяет сам цвет, насыщенность отражает чистоту оттенка, а значение характеризует общую степень освещения. Разбиение на компоненты облегчает работу нейронной сети, улучшая точность интерпретации и классификации оттенков. Параметр тона особенно ценен для диагностики, поскольку болезни кожи отображаются разнообразием оттенков в условиях ультрафиолетового излучения. Кожа может светиться следующими оттенками: светло-синий цвет: свидетельствует о нормальной здоровой коже пациента; зеленый цвет: символизирует о наличии грибковых заболеваний; белый цвет: наличие воспаленных тканей у пациента; молочно-белый цвет: витилиго; снежно-белый цвет: заболевание – красная волчанка; тускло-желтый цвет кожи: заболевание – разноцветный лишай; желто-зеленый цвет: микроспория; кораллово-красный цвет: диагноз – эритразма; бледно-серебристый цвет: симптомы заболевания Фавуса; оранжево-красный цвет свечение: вульгарные угри [3].

Подводя итог, особое внимание будет уделено значимости внедрения передовых технологий, среди которых выделяются мобильные приложения, использующие нейросетевые алгоритмы и преобразования цветовых пространств, для диагностирования кожных заболеваний. Преобразование изображений из формата RGB в модель HSV, способствующий повышению эффективности работы нейросетей, поскольку такая схема четко выделяет основные показатели цвета – оттенок, насыщенность и яркость. Применение лампы Вуда в дерматологии также остается важным элементом, так как именно благодаря ей удастся обнаружить скрытые изменения на коже, невидимые обычным зрением. Кроме того, следует отметить, что разработанные графовые и алгоритмические модели являются универсальными, применение которых в медицинской практике обследования и лечения кожных заболеваний человека позволяет специалистам получать значительный объем значений параметров, отражающих физическое состояние поврежденных участков кожи пациента на этапе диагностики. Это дает возможность получать точные результаты анализа кожного покрова и принимать объективные решения для лечения кожных заболеваний.

Литература

1. Что такое лампа Вуда и как она работает. – URL: <https://www.medkv.ru/chto-takoe-lampa-vuda-i-kak-ona-rabotaet.html> (дата обращения: 10.10.2025).
2. About – OpenCV. – URL: <https://opencv.org/about/> (дата обращения: 10.10.2025).
3. Осмотр лампой «Вуда». – URL: <https://doktorstolet.ru/articles/dermatologiya/-diagnostika-lampy-vuda/> (дата обращения: 10.10.2025).

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ КОЖНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА

Ю. А. Лазарева, Ю. А. Скудняков

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Разработаны алгоритм и на его основе программное обеспечение, использование которых в медицинской практике позволяет автоматизировать процессы диагностики и лечения кожных заболеваний (КЗ) человека и тем самым, по сравнению с существующими подходами, достичь более высоких показателей качества: минимизация временных издержек, возможность обработки больших массивов данных для принятия объективных решений при подборе наиболее эффективных из существующих средств диагностики и лечения КЗ человека.

Ключевые слова: кожные заболевания, диагностика, лечение, алгоритм, программное обеспечение.

PROGRAM AND ALGORITHMIC SUPPORT FOR DIAGNOSTICS AND TREATMENT OF HUMAN SKIN DISEASES

Yu. A. Lazareva, Yu. A. Skudnyakov

Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk

An algorithm and software (SW) based on it have been developed, the use of which in medical practice allows to automate the processes of diagnostics and treatment of human skin diseases (SD) and, thereby, in comparison with the existing approaches, to achieve higher quality indicators: minimization of time costs, the ability to process large arrays of data for making objective decisions when selecting the most effective of the existing means of diagnostics and treatment of human SD.

Keywords: skin diseases, diagnostics, treatment, algorithm, software.

В настоящее время решение задачи диагностики и лечения кожных заболеваний (КЗ) человека является весьма сложной проблемой, поскольку разновидностей и индивидуальных особенностей КЗ достаточно много, а также отсутствие точных методов и средств обнаружения и лечения КЗ. Это утверждение справедливо и для большинства других заболеваний, так как в медицине пока, как правило, используется метод проб и ошибок [1]. Поэтому достижение успешного выздоровления кожи человека на основе применения современных методов, моделей и средств автоматизации является актуальной задачей [2]. Исходя из вышеизложенного следует, что целью данной работы является разработка и практическое применение программно-алгоритмического обеспечения для автоматизации проведения процессов диагностики и лечения КЗ человека.

Сначала рассмотрим первый этап для выздоровления КЗ – технологию диагностики, при использовании которой в настоящее время применяются различные современные методы, методики и средства: 1) клиническое обследование; 2) дерматоскопия; 3) биопсия кожи; 4) лабораторные исследования (анализ для подтверждения диагноза); 5) ПЦР-диагностика; 6) серологические тесты; 7) гистологическое исследование; 8) культуральный метод; 9) клинические пробы. Второй (заключительный) этап – лечение КЗ, для проведения которого необходимо применять ряд основных методов, методик и средств: 1) лекарственная терапия; 2) физиотерапия (светолече-

ние – дозированное воздействие на место заболевания кожи инфракрасного или ультрафиолетового излучения); 3) дарсонвализация – воздействие на ткань кожи импульсным током высокой частоты); 4) лазерное излучение – для заживления повреждений эпидермиса; 5) магнитотерапия – для заживления поврежденного эпителия. Для автоматизации реализации процессов диагностики и лечения КЗ человека разработан алгоритм, схема которого представлена на рис. 1.

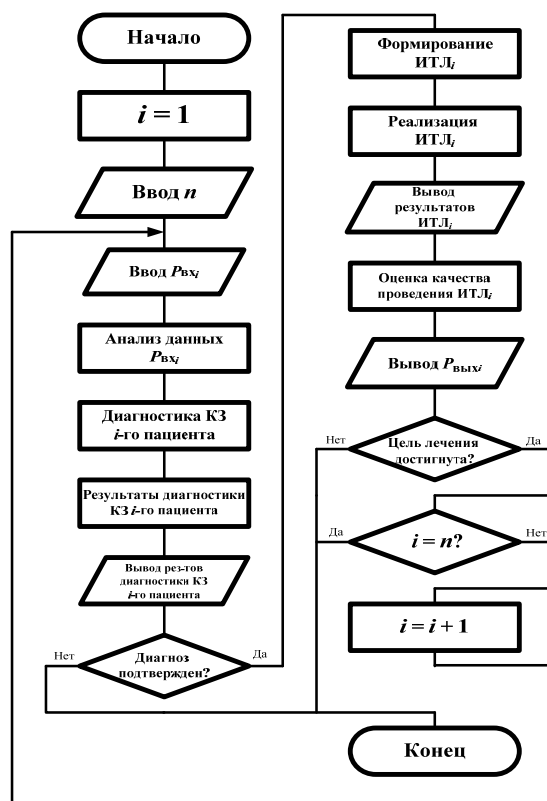


Рис. 1. Схема алгоритма реализации диагностики и лечения КЗ человека

Исходя из приведенной наглядной интерпретации, понятна логика работы алгоритма. На схеме обозначены: i – индекс изменения количества пациентов от 1 до n ; $P_{вхi}$ – множество параметров, отражающих состояние кожи пациента до диагностики; ИТЛ _{i} – индивидуальная траектория лечения КЗ i -го пациента; $P_{выхi}$ – множество выходных параметров, отражающих состояние кожи i -го пациента после лечения. Алгоритм работает для реализации процессов диагностики и лечения n пациентов. В случае отсутствия подтверждения диагноза и цели достижения лечения алгоритм работает только для каждого пациента. Логика работы алгоритма реализована с помощью ПО, разработанного на языке С#.

Для повышения эффективности процессов диагностики и лечения КЗ человека разработаны алгоритмическое и программное обеспечение, применение которого позволяет повысить точность анализа состояния кожи пациента и сократить время лечения. С точки зрения перспективы развития полученных результатов необходимо на основе системного подхода использовать такие эффективные технологии как: нейросетевые, инфокоммуникационные и квантовые технологии (в случае их практического внедрения).

Литература

1. Хэбиф, Т. П. Кожные болезни: Диагностика и лечение / Т. П. Хэбиф ; пер. с англ. Т. П. Хэбиф. – 4-е изд. – М. : МЕДпресс-информ, 2016. – 704 с.
2. Скудняков, Ю. А. Модели для автоматизации проведения диагностики и лечения кожных заболеваний человека / Ю. А. Скудняков, Ю. А. Лазарева // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование – 2025 : XVI Междунар. науч.-техн. конф. – Донецк : Донец. нац. техн. ун-т. – С. 155–161.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ФИШИНГОВЫХ АТАК И МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ СОЦИАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

А. А. Фирсов, А. С. Герасимов

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Проанализированы современные фишинговые атаки, усилившиеся применением искусственного интеллекта и технологий глубоких подделок. Рассмотрены тенденции автоматизации и персонализации атак, показана ограниченность традиционных средств защиты. Предложен многоуровневый подход, включающий машинное обучение, поведенческий анализ и обучение персонала.

Ключевые слова: фишинг, социальная инженерия, информационная безопасность, искусственный интеллект, методы защиты.

ANALYSIS OF MODERN PHISHING ATTACKS AND METHODS OF PROTECTION AGAINST SOCIAL ENGINEERING

A. A. Firsov, A. S. Gerasimov

Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk

The paper analyzes modern phishing attacks that have intensified due to the use of artificial intelligence and deepfake technologies. Trends of automation and personalization of attacks are considered, and the limitations of traditional protection methods are demonstrated. A multi level approach is proposed, including machine learning, behavioral analysis, and personnel training.

Keywords: phishing, social engineering, information security, artificial intelligence, protection methods.

Актуальность темы обусловлена экспоненциальным ростом сложности и масштабов фишинговых атак, усиленных повсеместным использованием технологий искусственного интеллекта. По данным аналитического отчета «Лаборатории Касперского» о трендах киберугроз для бизнеса, в 2024–2025 гг. наблюдается резкий рост целевых фишинговых кампаний, использующих генеративный искусственный интеллект (далее – ИИ) для создания гиперреалистичного контента. Согласно отчету, такие атаки становятся основной причиной инцидентов информационной безопасности в корпоративной среде [1]. Угроза перестала быть исключительно цифровой, активно развиваются гибридные атаки, сочетающие электронную почту, мессенджеры и телефонные звонки.

Целью работы является анализ современных трендов в фишинговых атаках с использованием ИИ и разработка комплексной модели защиты для организаций критической информационной инфраструктуры. Для достижения цели поставлены следующие задачи: проанализировать случаи использования генеративного ИИ и deepfake-технологий в фишинге, оценить эффективность традиционных систем защиты и предложить усовершенствованный многоуровневый подход.

Ключевой тренд 2024–2025 годов – полная автоматизация и гиперперсонализация фишинговых кампаний с помощью ИИ. Атаки типа Business Email Compromise стали использовать deepfake-аудио для имитации голосов руководителей в звонках после отправки фишингового письма, что многократно повышает доверие жертвы. Как показал анализ «Лаборатории Касперского», злоумышленники активно эксплуатируют уязвимости в цепочках поставок программного обеспечения и используют сервисы-конструкторы фишинговых страниц (Phishing-as-a-Service), доступные в даркнете [1]. Это позволяет киберпреступникам с низким уровнем технической подготовки запускать масштабные и эффективные кампании. Основными векторами остаются smishing (SMS-фишинг) с использованием поддельных уведомлений от служб доставки и банков, а также фишинг в корпоративных мессенджерах.

Методы и средства защиты требуют адаптации к новым реалиям. Традиционные сигнатурные методы анализа почты показывают низкую эффективность против атак, генерируемых ИИ. На первый план выходят поведенческие анализаторы и системы на базе машинного обучения. Критически важным становится внедрение строгих регламентов проверки любых распоряжений, связанных с финансовыми операциями или передачей конфиденциальных данных. Как подчеркивается в обзоре Национального координационного центра по компьютерным инцидентам Беларуси, основой защиты является непрерывное обучение персонала с применением тренажеров, имитирующих реальные атаки с элементами глубоких подделок [2]. Пользователи должны быть обучены распознавать не только традиционные признаки фишинга, но и новые триггеры, связанные с использованием ИИ.

Проведенный анализ подтверждает, что фишинг в 2025 г. трансформировался в высокотехнологичную угрозу, борьба с которой требует применения предиктивных и поведенческих систем защиты. Успешное противодействие невозможно без интеграции трех ключевых компонентов: продвинутых технических средств (ML/AI-аналитика), строгих организационных процедур и постоянного повышения киберграмотности персонала, адаптированного к новым методам социальной инженерии. Дальнейшее развитие защитных механизмов должно быть направлено на проактивное выявление угроз, в том числе на основе рекомендаций профильных организаций [1, 2].

Литература

- 1 Лаборатория Касперского. Актуальные тренды киберугроз для бизнеса: 2024–2025 гг. – Kaspersky, 2025. – URL: <https://www.kaspersky.ru/enterprise-security/resources/white-papers> (дата обращения: 11.10.2025).
2. Национальный координационный центр по компьютерным инцидентам Республики Беларусь (НКЦКИ). Обзор основных угроз информационной безопасности в Республике Беларусь за 2024 год / ГосСОПКА. – Минск, 2025. – 78 с. – URL: <https://cert.gov.by/> (дата обращения: 11.10.2025).

ЦИФРОВОЕ РАЗВИТИЕ «УМНЫХ ГОРОДОВ» И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

М. И. Шкляник, С. В. Сидоров

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Рассмотрены ключевые аспекты цифрового развития умных городов и интеллектуальные решения, которые делают их более устойчивыми и удобными.

Ключевые слова: искусственный интеллект (ИИ), IoT (интернет вещей), информационные и коммуникационные технологии (ИКТ).

**DIGITAL DEVELOPMENT OF SMART CITIES
AND INTELLIGENT SOLUTIONS****M. I. Shklyanik, S. V. Sidorov***Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk*

This paper examines key aspects of the digital development of smart cities and intelligent solutions that make them more sustainable and convenient.

Keywords: artificial intelligence (AI), IoT (Internet of Things), information and communications technology (ICT).

«Умный город» – это городской район, который использует информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) для повышения качества жизни. Основные характеристики умного города включают:

- инфраструктура: использование сенсоров и IoT (интернет вещей) для сбора данных;
- транспорт: умные транспортные системы, включая управление движением и общественным транспортом;
- энергия: устойчивые источники энергии и управление потреблением;
- образование и здоровье: инновационные подходы в образовании и здравоохранении.

Цифровые технологии играют ключевую роль в формировании умных городов. Вот несколько из них (см. таблицу):

- интернет вещей (IoT) – сенсоры и устройства IoT собирают данные о различных аспектах городской жизни, таких как качество воздуха, уровень шума и трафик. Эти данные помогают в реальном времени принимать решения по улучшению городской инфраструктуры;
- большие данные и аналитика – анализ больших данных позволяет выявлять паттерны и тренды, что способствует более эффективному управлению ресурсами. Например, анализ данных о движении помогает оптимизировать маршруты общественного транспорта;
- искусственный интеллект – искусственный интеллект (ИИ) применяется для прогнозирования и автоматизации процессов. Например, ИИ может использоваться для управления энергопотреблением или для предсказания потребностей в общественном транспорте[1].

Такая модель умного города объединяет жителей, власти и бизнес для достижения устойчивого развития, включая экологическую стабильность, экономическую эффективность и повышение качества жизни.

Ключевые компоненты стратегии умного города

Компонент	Описание
Управление видением	Формирование долгосрочного видения города как умного и устойчивого
Роуд-мэппинг	Разработка плана действий с четкими этапами и временными рамками
Управление городскими ресурсами	Эффективное использование ресурсов с помощью умных технологий
Эффективность открытой платформы	Создание единой IT-платформы для интеграции систем и данных

Интеллектуальные решения для умных городов:

– умное освещение — системы умного освещения регулируют уровень яркости в зависимости от времени суток и наличия людей. Например: система подсвечивает только те участки улиц, где находятся люди или автомобили, снижая освещенность в пустых зонах;

– умные светофоры под управлением ИИ отслеживают движение транспорта и пешеходов и, анализируя данные, регулируют время показа того или иного сигнала. Например, если образовалась пробка, система может дольше светить зеленым на определенном направлении, чтобы быстрее ее ликвидировать;

– важной составляющей умного города является беспилотный транспорт. Они способны сократить интервалы между рейсами, оптимизировать маршруты и уменьшить пробки на дорогах;

– умные парковки – системы умных парковок помогают водителям находить свободные места, используя мобильные приложения. Это снижает уровень трафика и загрязнения воздуха;

– умные системы управления отходами – системы мониторинга контейнеров для мусора помогают оптимизировать маршруты вывоза отходов, что снижает затраты на топливо и время [2].

Несмотря на успехи, умные города сталкиваются с рядом проблем:

– конфиденциальность данных: сбор и хранение личных данных вызывает опасения у граждан;

– неравенство: доступ к технологиям может быть ограничен для определенных групп населения;

– инфраструктурные ограничения: устаревшая инфраструктура может затруднять внедрение новых технологий.

Цифровое развитие умных городов и интеллектуальные решения имеют потенциал для значительного улучшения качества жизни горожан. Однако для успешной реализации этих технологий необходимо учитывать вызовы, связанные с конфиденциальностью, доступом и устойчивостью. Стратегический подход к планированию и внедрению технологий поможет создать более устойчивые и комфортные города для будущих поколений.

Л и т е р а т у р а

1. Умный город: как цифровые технологии меняют городскую среду и повседневную жизнь. – URL: https://roscongress.org/materials/umnyy-gorod-kak-tsifrovye-tekhnologii-menyayut-gorodskuyu-sredu-i-povsednevnyu-zhizn/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.by%2F (дата обращения: 24.09.2025).
2. Будущее умных городов: технологии для мегаполисов. – URL: <https://rg.ru/2025/09/02/-budushchee-umnyh-gorodov-tehnologii-dlia-megapolisov.html> (дата обращения: 25.09.2025).

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛОГИСТИКИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

К. С. Богомаз, Н. Л. Боброва

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Данная работа посвящена анализу современных методов решения задач логистики с помощью систем поддержки принятия решений (СППР). Современные системы общественного транспорта функционируют в условиях высокой сложности, неопределенности и динамичности, что требует применения передовых инструментов для планиро-

вания и управления. СППР используют математическое моделирование, оптимизацию и интеллектуальный анализ данных для повышения эффективности.

Ключевые слова: СППР, логистика, вероятностные модели, управления рисками, планирование, оптимизация, общественный транспорт.

MODERN METHODS OF SOLVING LOGISTICS PROBLEMS USING DECISION SUPPORT SYSTEMS

K. S. Bogomaz, N. L. Bobrova

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

This work is devoted to the analysis of modern methods of solving logistics problems using decision support systems (DSS). Modern public transport systems operate in conditions of high complexity, uncertainty and dynamism, which requires the use of advanced planning and management tools. DSS uses mathematical modeling, optimization, and data mining to increase efficiency.

Keywords: DSS, logistics, probabilistic models, risk management, planning, optimization, public transport.

Современные системы общественного транспорта сталкиваются с проблемами высокой сложности и неопределенности, что требует применения передовых инструментов для планирования и управления. Ключевым решением в этой области является разработка и внедрение систем поддержки принятия решений (СППР), которые используют математическое моделирование и выявления закономерностей в данных для повышения эффективности. Целью данной работы является анализ современных методов решения задач оптимизации маршрутов и расписаний общественного транспорта, планирование, изменение и оптимизация графиков работы персонала и стратегическое планирование направлений и маршрутов в логистике с помощью систем поддержки принятия решений.

Для оптимизации расходов при низком спросе хорошо зарекомендовал себя транспорт по требованию (Demand Responsive Transportation, DRT) который представляет собой гибридный подход между такси и автобусом. Данная модель хорошо показывает себя при низком, переменном или непредсказуемом спросе, например, в сельской местности [1]. Характеристиками задачи являются ограниченная вместимость транспортных средств, обслуживание запросов в определенных временных окнах, количество остановок и время в пути, минимизация эксплуатационных расходов и максимизация качества обслуживания. Поскольку DRT-системы призваны решать многокритериальные задачи, они не могут быть эффективно решены традиционными методами оптимизации. Эти проблемы сложны, особенно для решения в реальном времени.

Планирование графиков работы персонала является критически важной задачей после составления расписания движения. При планировании графиков необходимо распределить конкретные смены между отдельными водителями с учетом их квалификации, личных предпочтений, а также сложных правил и нормативных актов. Для поиска решений используются оптимизационные решатели (например, коммерческие MIP-решатели) или колоночная генерация (Column Generation, CG) для большого объема параметров и данных [2].

Эффективное стратегическое планирование, такое как открытие новых маршрутов, требует точного понимания спроса. Однако одной из главных проблем является определение точных начальных и конечных точек пассажиров или матрицы корреспонденции. Статистика перевозок между пунктами не отражает, какая часть пасса-

жиров едет транзитом [3]. Метод нечетких матриц корреспонденций, помогает в планировании и принятии обоснованных и взвешенных решений путем восстановления нечетких матриц.

Анализ представленных источников демонстрирует как системы поддержки принятия решений повышают эффективность и надежность общественного транспорта. Эти системы решают широкий спектр задач: от стратегического планирования маршрутной сети до управления движением и реагированием на чрезвычайные ситуации в реальном времени. Практика показывает, что оптимизация, имитационное моделирование, методы нечеткой логики позволяют управлять общественным транспортом при скачках спроса и неполных данных. Развитие таких СППР является необходимым условием для создания устойчивого и качественного общественного транспорта.

Литература

1. Rui Gomes, Jorge Pinho de Sousa, Teresa Galvão Dias Design and operation of Demand Responsive Transportation systems // Compendium of Papers of the XV Euro Working Group on Transportation Meeting, Paris, France. – URL: https://www.academia.edu/10242158/-Design_and_operation_of_Demand_Responsive_Transportation_systems_Compendium_of_Papers_of_the_XV_Euro_Working_Group_on_Transportation_Meeting_Paris_France_September_2012 (дата обращения: 11.10.2025).
2. Lin Xie, Natalia Kliewer, Leena Suhl A web-based Decision Support System for Crew Rostering in Public Transport // University of Paderborn Faculty of Business and Economics Department of Information Systems Decision Support & Operations Research Lab. – URL: https://www.researchgate.net/profile/Lin-Xie-3/publication/326776795_A_web-based_Decision_Support_System_for_Crew_Rostering_in_Public_Transport/links/5b62fa77a6fdccf0b207adb4/A-web-based-Decision-Support-System-for-Crew-Rostering-in-Public-Transport.pdf (дата обращения: 11.10.2025).
3. Матрица нечетких корреспонденций модели авиационных перевозок / В. А. Нестеров, В. А. Судаков, К. И. Сыпало, Ю. П. Титов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2022. – № 6. – С. 95–102.

ПРИМЕНЕНИЕ КАСЕТНО-КОНВЕЙЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СКОРОСТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ СВЯЗИ ГОРОДОВ-СПУТНИКОВ С МИНСКОМ

Д. В. Шорох, В. Н. Шуть

Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь

Рассмотрено применение кассетно-конвейерной технологии скоростного общественного транспорта для организации эффективного сообщения между Минском и городами-спутниками. Описаны принципы функционирования системы, ее преимущества в снижении транспортной нагрузки и улучшении связности агломерации. Предложена концепция интеграции в существующую транспортную сеть.

Ключевые слова: кассетно-конвейерная технология, интеграция транспорта, транспортная система, скоростной транспорт, модульные транспортные системы.

APPLICATION OF CASSETTE-CONVEYOR TECHNOLOGY FOR HIGH-SPEED URBAN PUBLIC TRANSPORT SYSTEMS TO CONNECT SATELLITE CITIES WITH MINSK

D. V. Shorakh, V. N. Shut

Brest state technical university, Republic of Belarus

This paper explores the application of cassette-conveyor technology in high-speed public transportation to establish efficient connections between Minsk and its satellite towns. The

principles of system operation are described, highlighting its advantages in reducing transportation load and improving agglomeration connectivity. A concept for integration into the existing transportation network is proposed.

Keywords: cassette-conveyor technology, transport integration, transportation system, high-speed transport, modular transport systems.

Развитие транспортной инфраструктуры является одним из ключевых факторов обеспечения эффективной связи между крупными городами и их спутниками. В современных условиях, когда вопросы устойчивого развития и оптимизации транспортных систем становятся все более актуальными, необходимо внедрение инновационных решений, способных улучшить качество и скорость транспортных перевозок.

Для анализа применения кассетно-конвейерной технологии в скоростных системах транспорта, связывающих города-спутники с Минском, был использован комплексный подход, включающий теоретические исследования, моделирование и анализ существующих транспортных технологий.

Основной недостаток обычного скоростного трамвая – ограничение скорости (до 30 км/ч), что снижает его провозную способность [1]. Суперскоростной трамвай решает эти проблемы с помощью новой кассетно-конвейерной технологии.

Алгоритм перевозки пассажиров включает два этапа: развозка по строкам и столбцам матрицы корреспонденций [2] (рис. 1), что позволяет минимизировать время ожидания и повышает эффективность развозки.

$$M_z = \begin{pmatrix} 0 & m_{12} & m_{13} & \dots & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1k} \\ 0 & 0 & m_{23} & \dots & \dots & m_{2j} & \dots & m_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & m_{i+1} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1k} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Рис. 1. Матрица корреспонденций

На рис. 2 схематически изображен одноколейный рельсовый путь от Минска и до города-спутника. Путь начинается в Минске с Накопителя 1 инфобусов и заканчивается Накопителем 2 инфобусов в городе-спутнике. Между началом и концом трассы расположено k промежуточных остановок.

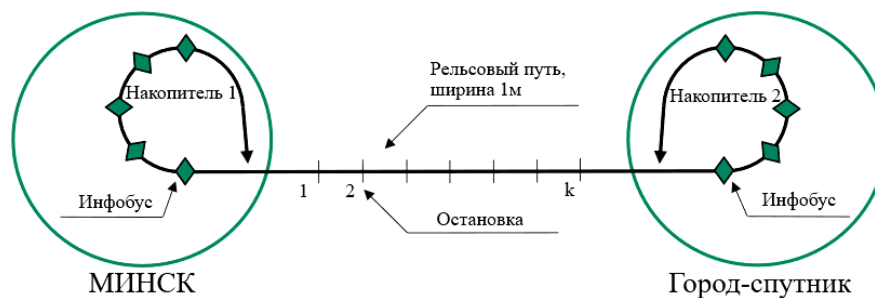


Рис. 2. Реверсная кассетно-конвейерная линия

Технические особенности суперскоростного трамвая [3]:

- система состоит из кассет с беспилотными инфобусами, которые могут двигаться со средней скоростью до 100 км/ч;
- кассеты движутся одиночно или в составе от 2 до 6 инфобусов;
- движение организуется алгоритмами, учитывающими пассажиропоток и оптимизирующими маршрут.

Таким образом, кассетно-конвейерная технология суперскоростного общественного транспорта представляет собой перспективное решение для организации эффективного сообщения между Минском и городами-спутниками. Предложенная система обеспечивает высокую пропускную способность, сокращает время в пути, снижает нагрузку на существующую транспортную инфраструктуру и может быть интегрирована в дорожную сеть без масштабной реконструкции. Проведенный анализ показал, что трасса Минск-Заславль является оптимальным направлением для реализации пилотного проекта. Технология отличается высокой степенью автоматизации, низкими эксплуатационными затратами и потенциально может заменить или дополнить метро и скоростной трамвай, способствуя устойчивому развитию городской агломерации.

Л и т е р а т у р а

1. Шуть, В. Н. Интеллектуальные робототехнические транспортные системы / В. Н. Шуть, Л. Персиа. – Брест : БрГТУ, 2017. – 230 с.
2. Шуть, В. Н. Кассетно-конвейерная технология скоростных систем городских перевозок / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова. – БрГТУ, 2023. – 207 с.
3. Шуть, В. Н. Городской автоматический транспорт / В. Н. Шуть // Транспорт Урала. – 2022. – № 1 (72). – С. 3–7.

СКОРОСТНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТРО ЩЕЛЕВОГО ТИПА

М. П. Колодич, Д. Ю. Грицук, В. Н. Шуть

Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь

Рассмотрены скоростные возможности метрополитена щелевого типа в контексте современных городских пассажирских перевозок. Отмечается, что традиционные виды городского транспорта, такие как автобусы, трамваи и троллейбусы, ограничены средней скоростью 20–25 км/ч, а метрополитены – 38–42 км/ч, что обусловлено технологическими ограничениями.

Ключевые слова: городской транспорт, метрополитен щелевого типа, пассажирские перевозки.

HIGH-SPEED CAPABILITIES OF SLIT-TYPE METRO

M. P. Kolodich, D. Yu. Gricuk, V. N. Shut

Brest state technical university, Republic of Belarus

The article examines the high-speed capabilities of slit-type metro systems in the context of modern urban passenger transportation. It is noted that traditional types of urban transport, such as buses, trams, and trolleybuses, are limited to an average speed of 20–25 km/h, whereas metro systems reach 38–42 km/h, which is due to technological constraints.

Keywords: urban transport, slot-type metro, passenger transportation.

В настоящее время наблюдается стремительное развитие исследований в области скоростных транспортных систем. В особенности, это отчетливо проявляется на

внегородском железнодорожном транспорте. Разработаны и функционируют пассажирские поезда со скоростью свыше 300 км/ч. Так, Рим соединен с Неаполем и Флоренцией скоростной линией 300 км/ч. Сейчас Россия приступила к строительству скоростной линии между Москвой и Санкт-Петербургом со скоростью поездов 400 км/ч. Это уже самолетные скорости начального периода развития авиации. В РБ также 10 лет назад введены скоростные линии между столицей и областными городами, к примеру, Брест. Но скорость движения не превышает 150 км/ч и то, на некоторых участках.

Для городских пассажирских перевозок это не характерно. Невозможно в старой парадигме управления городскими пассажирскими перевозками достичь существенных повышений скоростей сообщения. Так, городской общественный транспорт (автобус, трамвай, троллейбус) движется в интервале скоростей 20–25 км/ч, а предельная средняя скорость метро колеблется в интервале 38–42 км/ч. Кассетно-конвейерная технология [1] управления городскими пассажирскими перевозками позволяет достичь существенных повышений скоростей сообщения.

По соображениям повышения скоростей сообщения подвижного состава перегоны на линиях метрополитенов принимают 1–2,5 км – примерно в 2–3 раза большими, чем на линиях наземного городского пассажирского транспорта. При таких перегонах реализуются скорости сообщения подвижного состава до 35–40 км/ч.

Так на Московском метрополитене скорость сообщения (средняя скорость движения с учетом времени остановки) метropоездов между станциями, расположенными под землей, составляет 41,3 км/ч, на метрополитене С. Петербурга – 39 км/ч, а на Ташкентском метрополитене – 39,4 км/ч. Самая высокая скорость сообщения метropоездов сегодня – на Минском метрополитене – 41,4 км/ч.

Большие дистанции между остановками метро (1–2,5 км) снижают транспортную доступность этого вида транспорта для населения, в то время как у наземных видов транспорта эта дистанция составляет 0,3–0,5 км. Но основным недостатком современного метро является низкая средняя скорость движения электропоездов. Скорость сообщения в диапазоне 38–42 км является предельной и повысить ее невозможно в рамках современных технологий организации городских пассажирских перевозок.

Кассетно-конвейерная технология [1] скоростных городских перевозок позволяет увеличить среднюю скорость движения в метро в 5–7 раз. Транспортные системы, построенные на основе этой технологии, отличаются высокой скоростью сообщения, т.к. довозят пассажира, как в личном транспорте, из пункта А в пункт В без промежуточных остановок или с минимальным их количеством.

Кассетно-конвейерная технология городских скоростных перевозок позволила предложить высокоскоростное метро щелевого типа [2, 3]. Стоимость строительства такого метро на порядок ниже обычного метро. Также и время строительства щелевого метро на порядок ниже.

Кассетно-конвейерная технология и метрополитен щелевого типа открывают новые перспективы для развития высокоскоростных городских пассажирских перевозок. Эти инновации позволяют не только значительно увеличить среднюю скорость движения, но и повысить транспортную доступность за счет оптимизации маршрутов и сокращения времени в пути. Низкая стоимость строительства и высокая энергоэффективность метро щелевого типа делают его перспективным решением для современных мегаполисов, где требуется баланс между скоростью, доступностью и экономичностью транспортных систем. Внедрение таких технологий может стать ключевым шагом в преодолении ограничений традиционных подходов к организации городских перевозок, обеспечивая комфорт и эффективность для пассажиров.

Литература

1. Шуть, В. Н. Кассетно-конвейерная технология скоростных систем городских пассажирских перевозок / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова. – Брест : БрГТУ, 2023. – 230 с.
2. Шуть, В. Н. Щелевое интеллектуальное метро «Кротовые норы» / В. Н. Шуть, А. В. Тур, Г. Г. Гогоберидзе // Вестник БрГТУ № 5 (113): Физика, математика, информатика. – 2018. – С. 44–47.
3. Шуть, В. Н. Новый тип роботизированного метрополитена низкой стоимости и высокой энергоэкономичности/ В. Н. Шуть, В. В. Касьяник, А. В. Тур // Актуальные проблемы исследования материалов, конструкций, технологий и организации строительства в трансграничном аспекте : сб. ст. II Междунар. науч. конф. – Брест : БрГТУ, 2017. – С. 243–246.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ЗУБНЫХ ИМПЛАНТОВ****П. А. Сундуков, А. В. Шах***Барановичский государственный университет, Республика Беларусь*

Представлены результаты компьютерного моделирования прочностных характеристик зубного импланта. Исследование выполнено с использованием программного комплекса Ansys. Основное внимание уделено анализу напряженно-деформированного состояния под жевательной нагрузкой. Результаты показали, что зонами наибольшей концентрации напряжений являются шейка имплантата и первый виток резьбы. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации конструкции имплантов и повышения их долговечности.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, Ansys, зубные импланты, прочностные характеристики, конечно-элементный анализ.

**COMPUTER SIMULATION OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS
OF DENTAL IMPLANTS****P. A. Sundukov, A. V. Shakh***Baranovich State University, Republic of Belarus*

This article presents the results of computer simulation of the strength characteristics of a dental implant. The study was conducted using the Ansys software package. The focus is on the analysis of the stress-strain state under masticatory load. The results showed that the areas of highest stress concentration are the implant neck and the first thread. The data obtained can be used to optimize the design of implants and increase their durability.

Keywords: computer simulation, Ansys, dental implants, strength characteristics, finite element analysis.

В современной стоматологической практике, особенно при планировании дентальной имплантации, остро стоит проблема точного прогнозирования долговечности и надежности зубных имплантов. Несмотря на существующие методы компьютерного моделирования, многие из них не учитывают комплексное воздействие механических, термических и биологических факторов, что снижает точность прогнозов [1].

Цель данного исследования – компьютерное моделирование прочностных характеристик зубных имплантов с использованием Ansys направлена на решение этих проблем [2].

Для проведения комплексного исследования зубных имплантов был использован современный инженерный программный комплекс ANSYS, предоставляющий широкие возможности для компьютерного моделирования и анализа.

Перед проведением численных исследований напряженно-деформированного состояния и термического анализа зубного импланта необходимо создать корректную расчетную модель, максимально приближенную к реальным анатомическим и конструктивным условиям.

Модели зубов и верхней левой челюсти изображены на рис. 1.

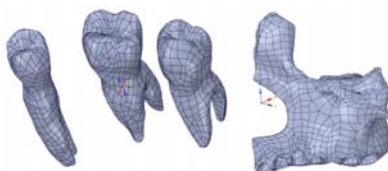


Рис. 1. Зубы и верхняя челюсть

Коронки зубов смоделированы с точным воспроизведением рельефа поверхности для адекватного контакта с антагонистами (в данном случае зубов нижней челюсти). Протезная конструкция состоит из 4 компонентов:

- имплантат ($\varnothing$ 4,2 мм, длина 10 мм): резьбовая часть (шаг 0,8 мм, глубина 0,3 мм) для первичной стабильности, апикальное отверстие для исключения концентрации напряжений;
- абатмент (высота 5 мм, конусность 6): связующее звено между имплантатом и коронкой, а также передает нагрузку с коронки на имплантат;
- штифт (диаметр 1,8 мм): фиксирует коронку на абатменте и предотвращает смещение при боковых нагрузках;
- коронка: точное повторение анатомии естественного зуба (бугры, фиссуры), окклюзионная поверхность адаптирована под жевательные движения.

Внешний вид зубного импланта представлен на рис. 2.



Рис. 2. Модель импланта

Далее исследовалась система с уже интегрированным в кость имплантатом где особое внимание уделялось заданию контактных взаимодействий между поверхностью имплантата и костной тканью, а также между естественными зубами и челюстной костью. Нагрузка прикладывалась преимущественно к жевательным поверхностям зубов, с концентрацией усилий на буграх моляров и центральных участках премоляров, что соответствовало реальному характеру окклюзионных воздействий. Расстановка сил на жевательные поверхности показана на рис. 3.

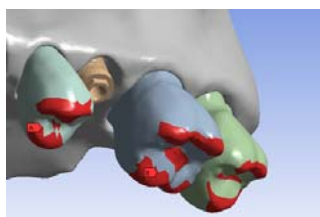


Рис. 3. Расстановка силы на жевательных поверхностях

Исследование включало моделирование распределения напряжений (Equivalent Stress) при различных нагрузках. Наибольшие напряжения наблюдались в области шейки имплантата и первого витка резьбы, что видно на рис. 4.

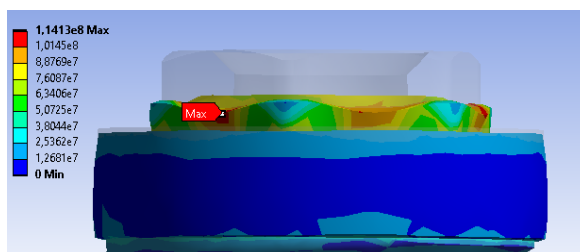


Рис. 4. Распределение напряжений имплантата

Полученные данные о распределении напряжений в различных компонентах имплантационной системы и их поведении могут быть использованы для оптимизации конструкции имплантов, выбора материалов и совершенствования клинических протоколов. Это в конечном итоге способствует повышению долговечности зубных протезов, снижению риска осложнений и улучшению качества жизни пациентов.

Литература

1. Иванов, А. А. Методы конечно-элементного анализа в стоматологии / А. А. Иванов. – М. : Мед. лит-ра, 2021. – 245 с.
2. Миколайчук, Н. С. Моделирование ударного воздействия в САЕ-системе ANSYS AUTODYN / Н. С. Миколайчук, А. В. Шах // Новатор-2021 : материалы III Баранович. науч.-образоват. форума, Барановичи, 14 окт. 2021 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т ; редкол.: В. В. Климук (гл. ред.) [и др.]. – Барановичи : БарГУ, 2021. – С. 313–316.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IoT-ТЕХНОЛОГИЙ В ЛОГИСТИКЕ

А. И. Авчинникова, С. А. Александрова

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

Описаны группы информационных систем, применяемых в логистических отраслях. Показаны возможности и перспективы IoT-технологий в логистике.

Ключевые слова: информационные системы, логистика, IoT-технологий, цепи поставок.

THE USE OF IoT TECHNOLOGIES IN LOGISTICS

A. I. Avchinnikova, S. A. Alexandrova

Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus

The article describes groups of information systems used in logistics industries. The possibilities and prospects of IoT technologies in logistics are shown.

Keywords: information systems, logistics, IoT technologies, supply chain.

Информационные системы в логистике – это комплекс программно-технических средств, которые автоматизируют, оптимизируют и управляют информационными потоками, связанными с движением грузов. Они включают такие технологии, как системы GPS/ГЛОНАСС-мониторинга, TMS (система управления транспортом), маршрутизаторы и другое ПО для планирования и отслеживания пе-

ревозок, а также более современные решения на базе ИИ, блокчейна и интернета вещей. Современный бизнес не может эффективно функционировать, обеспечивать высокое качество обслуживания клиентов без применения современных информационных продуктов. Управленческая проблема заключается в выборе правильного продукта с требуемым функционалом и приемлемыми расходами на внедрение и использование. С этой целью важно выполнить обзор и оценить предложение таких продуктов, выделив наиболее перспективные.

В транспортной логистике применяется еще одна важная цифровая технология, которая называется Интернет вещей (IoT). С помощью IoT-технологий стало возможным контролировать грузы и транспортные средства в реальном времени с использованием датчиков, сетевого подключения. Это позволяет улучшить прогнозирование и управление поставками, а также повысить безопасность и эффективность перевозок.

Применение IoT в логистике имеет критическое значение, позволяет автоматизировать множество логистических процессов, что приводит к значительному снижению операционных затрат и повышению эффективности (см. таблицу). Например, использование сенсоров для мониторинга состояния грузов и транспортных средств позволяет оптимизировать маршруты, снижать затраты на топливо и уменьшать время доставки. При этом IoT обеспечивает возможность отслеживания товаров и транспортных средств в режиме реального времени.

Преимущества интернет-вещей в логистике и цепочке поставок

Преимущества	Описание
Мониторинг и отслеживание в реальном времени	Одним из наиболее выгодных аспектов систем интернета вещей является возможность сбора, передачи и анализа данных в режиме реального времени с использованием специализированных датчиков
Повышенная прозрачность	Поставщики сырья используют устройства IoT для сбора информации о переменных, влияющих на своевременную и качественную доступность поставляемых товаров, активности покупателей для лучшей выкладки и использования пространства
Улучшение управления запасами	IoT в управлении цепочкой поставок с помощью устройств собирает и анализирует уровни и позиции запасов для лучшего управления
Мониторинг условий хранения	Датчики окружающей среды, разработанные IoT в сфере транспорта и логистики, позволяют руководству отслеживать состояние груза и принимать незамедлительные меры при любых изменениях
Автоматизация	Автоматизация цепочки поставок и промышленных процессов стала возможной благодаря технологиям IoT. Например, дроны можно использовать как инструменты IoT для управления складами или для создания целой инфраструктуры, которой можно управлять удаленно, отслеживая статус логистики
Соответствие требованиям законодательства	IoT помогает организациям поддерживать соответствие нормативным требованиям и предотвращать судебные разбирательства. Система на основе IoT обеспечивает цифровой аудиторский след с точными временными метками и быстрыми и точными отчетами
Улучшенная сегментация	Ритейлеры могут разрабатывать эффективные стратегии, объединяя технологии IoT и управление цепочками поставок. Это позволяет им лучше понимать свои продукты, потребителей и спрос
Управление автопарком	IoT играет важную роль в транспортных и логистических решениях, демонстрируя получение значительных преимуществ в этих областях. Такие решения часто включаются в более сложные системы

Интернет вещей имеет трехуровневую структуру, включающую (1) физический уровень или уровень восприятия, (2) сетевой уровень и (3) уровень приложений. Физический уровень собирает информацию об окружающей среде, которая используется платформами для выполнения алгоритмов или предложения услуг. Сетевой уровень, считающийся сердцем интернета вещей, отвечает за передачу и обработку информации, полученной уровнем восприятия. В отличие от сетевого уровня, прикладной уровень состоит из набора функций и услуг, предлагаемых пользователям.

Для разработки и внедрения IoT-решений используются различные технические платформы, как в свободном, так и в коммерческом доступе. Лидеры отрасли, такие как Intel, SAP, Google, Samsung и Microsoft, предоставляют необходимые технологические решения для сбора и анализа данных, интеграции их в облачные системы, что трансформирует бизнес-процессы и повышает эффективность использующих их организаций.

Для достижения максимальной эффективности и синергии в логистике важно интегрировать IoT с другими ключевыми информационными системами, такими как ERP, WMS, TMS и цифровые двойники. Так, например, интеграция IoT с системами ERP (Enterprise Resource Planning) позволяет объединить данные с различных сенсоров и устройств с центральной системой управления ресурсами компании. Это обеспечивает улучшенное управление запасами, поскольку данные о состоянии и местоположении товаров позволяют оптимизировать запасы и снизить издержки. Интеграция IoT с WMS (Warehouse Management System) обеспечивает автоматизацию и улучшение складских операций, таких как приемка, хранение, перемещение и отгрузка товаров.

Система интернет-вещей (IoT) в логистике хороша тем, что повышает эффективность, прозрачность и безопасность всех цепочек поставок. IoT позволяет отслеживать товары и транспорт в реальном времени, оптимизировать маршруты, управлять запасами, автоматизировать рутинные процессы, а также использовать аналитику для прогнозирования спроса и предотвращения проблем, таких как кражи или поломки оборудования.

Литература

1. Абрамов, В. И. Интернет вещей в логистике: характеристики, преимущества, практики развития / В. И. Абрамов, А. М. Файзуллина // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2024. – № 3 (50). – С. 98–105.
2. Павлов, А. О. Интернет вещей в логистике / А. О. Павлов // Естественные и технические науки: проблемы трансдисциплинарного синтеза: сб. науч. тр. по материалам Междун. науч.-практ. конф., Белгород, 25 дек. 2020 г. – Белгород : Агентство перспектив. науч. исслед., 2020. – С. 53.

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНЫХ СПОСОБОВ ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА В ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ г. МОГИЛЕВА

Е. С. Задоя, С. А. Александрова

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

Рассмотрены существующие способы оплаты проезда в городском общественном транспорте г. Могилева, приведены их особенности, достоинства и недостатки для пассажиров и транспортных компаний. Показана целесообразность внедрения современных технологичных способов оплаты проезда в городском транспорте.

Ключевые слова: общественный транспорт, способы оплаты проезда, качество транспортного обслуживания пассажиров.

INTRODUCTION OF TECHNOLOGICAL METHODS OF PAYMENT FOR PUBLIC TRANSPORT IN MOGILEV

Ye. S. Zadolya, S. A. Alexandrova

Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus

The article examines the existing methods of paying for public transport in Mogilev, their features, advantages and disadvantages for passengers and transport companies. The expediency of introducing modern technological methods of payment for public transport is shown.

Keywords: public transport, payment methods, quality of passenger transportation services.

Современный общественный транспорт становится все более технологичным и удобным для пассажиров. Одним из ключевых аспектов его развития является система оплаты проезда, которая претерпела значительные изменения за последние десятилетия.

Разнообразие способов оплаты проезда в общественном транспорте отражает стремление к удобству, доступности и технологическому прогрессу. С ростом цифровизации и изменением потребительских привычек становится очевидным, что традиционные методы постепенно уступают место более современным решениям. Оценка востребованности и целесообразности внедрения разнообразных условий оплаты проезда является важным шагом в организации качественного обслуживания пассажиров.

По результатам опроса пассажиров относительно качества транспортного обслуживания было выявлено, что большое значение ими придается вопросам удобства оплаты за проезд, а также комфорта самой поездки. В связи с этим в рамках повышения качества транспортного обслуживания населения было целесообразно оценить направления развития вариантов оплаты проезда для общественного транспорта г. Могилева.

На данный момент в Беларуси существует несколько вариантов оплаты проезда, каждый из них имеет свои особенности, которые обобщены в таблице.

Сравнительная характеристика актуальных в настоящее время способов оплаты проезда

Вид оплаты Критерий оценки	Вид оплаты			
	Наличными (кондуктор)	Приложения		Карта
		Беларусбанк	Оплати	
Иметь с собой наличные	требует	не требует		не требует
Доступность для разных групп населения	для всех	всех, кроме детей, пожилых и иностранных туристов		для всех, кроме детей и туристов
Скорость оплаты	медленно	быстро		быстро
Возможность приобретения нескольких билетов	есть	есть		есть, до 5 билетов
Возможность приобретения абонемента на несколько проездов	есть	нет	есть	нет
Гигиеничность	нет	да		да
Владелец вида оплаты	Перевозчик	АСБ «Беларусбанк»	ООО «LVO»	ОАО «СберБанк»

В г. Могилеве в том или ином виде реализованы все виды оплаты проезда, представленные в таблице. В то же время сохраняется наиболее высокая доля оплаты

наличными – в значительной степени устаревший способ, который имеет много недостатков:

– для пассажиров: задержки при посадке, поскольку передача денег и выдача билета занимает много времени, в случае если билеты покупаются у водителя, то в часы нарушается расписание общественного транспорта, возможны ошибки при выдаче сдачи, личностные конфликты, гигиенические риски;

– для транспортной компании: сложность учета пассажиропотока, бумажные билеты требуют ресурсов на производство, социальные недостатки, включая конфликтность процесса, а также необходимость содержания достаточно большого штата кондукторов – позиции с напряженными условиями труда, сложным графиком работы.

В связи с этим предлагается уходить от кондукторной системы оплаты, оставив возможность оплаты проезда наличными у водителя; и более активно переходить на использование технологичных способов.

Оплата с помощью QR-кодов (самыми популярными являются два приложения: Беларусбанк и Оплати) имеет свои преимущества: пассажиру не нужно с собой носить банковскую карту и наличные, контроль расходов; экологичность; быстрая оплата; отсутствует привязанность оплаты к определенной точке в транспорте, поскольку в Оплати можно ввести номер транспорта, не сканируя QR-код, доступность в разных городах.

Оплата с помощью бесконтактных карт, на данный момент последний и самый новый вид оплаты, который возможен на данный момент только в троллейбусах. Данный вид обладает существенными преимуществами, главное из которых – отсутствие необходимости в мобильном приложении, что важно для пожилых людей и для редких пассажиров. У этого способа есть два главных недостатка: для пассажиров – оплатить можно только физической картой или приложением «БЕЛКАРТ РАУ»; для транспортной компании – высокая стоимость внедрения.

Готовность пассажиров к использованию новых способов оплаты проезда высокая, что определяется статистическими данными – около 95 % населения страны имеют банковские карты, 97,8 % населения области имеют мобильный телефон, 92 % – используют интернет [2], приложение Оплати скачано более 1 млн раз, Беларусбанк – более 5 млн раз.

Для повышения эффективности транспортной системы в г. Могилеве, улучшения качества обслуживания и снижения издержек необходимо продолжать внедрять новые технологии оплаты. Только так можно обеспечить устойчивое развитие городской мобильности и соответствовать ожиданиям современных пассажиров. Развитие систем оплаты проезда в общественном транспорте – важный шаг на пути к созданию умного города, где технологии работают на благо жителей. При внедрении новых способов оплаты нужно рассматривать ситуацию комплексно и не забывать о маршрутных такси, которые являются достаточно отстающими в сфере оплаты проезда.

Литература

1. Александрова, С. А. Оценка качества городских пассажирских перевозок в г. Могилеве на основе анкетирования пассажиров / С. А. Александрова, Е. С. Задоя // Актуальные вопросы экономики и управления: современные тенденции, вызовы и новые возможности : сб. ст. междунар. научн.-практ. конф., Махачкала, 5–6 дек. 2024 г. – Махачкала : ИП Тагиев Р. Х., 2024. – С. 92–96.
2. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – URL: <https://dataportal.belstat.ov.by/osids/home-page> (дата обращения: 05.10.2025).

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И НОВЕЙШИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

М. Н. Марченко, А. М. Тарасова, Д. А. Фомченко, Т. А. Бородич

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

Рассмотрены новейшие информационные технологии, такие как облачные вычисления, большие данные и искусственный интеллект. Также уделено внимание влиянию таких технологий на различные сферы жизни и деятельности человека, включая здравоохранение, финансы, промышленность и образование.

Ключевые слова: технологии, облачные вычисления, искусственный интеллект, цифровая трансформация.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE LATEST INFORMATION TECHNOLOGIES

M. N. Marchenko, A. M. Tarasova, D. A. Fomchenko, T. A. Borodich

Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus

This article examines the latest information technologies, such as cloud computing, big data, and artificial intelligence. It also focuses on the impact of these technologies on various areas of human life and activity, including healthcare, finance, industry, and education.

Keywords: technology, cloud computing, artificial intelligence, digital transformation.

Цель данного исследования – познакомиться с такими новейшими информационными технологиями, как облачные вычисления, большие данные и искусственный интеллект.

В последние десятилетия технологии получили стремительное развитие, которые изменили не только повседневное поведение общества, но и общественные структуры. Искусственный интеллект (ИИ) и новейшие информационные технологии стали центральными элементами этой трансформации, открывая перед человечеством невероятные возможности, но одновременно ставя его перед серьезными вызовами [2].

Искусственный интеллект (ИИ) представляет собой раздел информатики, который занимается разработкой программ, способных выполнять задачи, требующие умственных способностей, присущих человеку. Он имитирует человеческие навыки обучения, адаптации и принятия решений на основе доступной информации. Эта область компьютерных наук фокусируется на создании систем и программ, которые могут учиться, адаптироваться и принимать решения, обычно требующие человеческого интеллекта [1].

Применение искусственного интеллекта охватывает множество областей, внося значительные изменения в жизнь общества.

В секторе здравоохранения ИИ кардинально меняет подход к диагностике и лечению, помогая детально анализировать медицинские изображения и создавая индивидуализированные планы терапии, адаптированные к каждому пациенту.

В финансовой сфере искусственный интеллект применяется для оценки кредитных рисков, выявления мошеннической активности и автоматизации клиентского обслуживания, что делает процессы более быстрыми и надежными.

В промышленности и логистике ИИ стремительно оптимизирует производственные циклы, предсказывает возможные неисправности и эффективно управляет цепочками поставок, способствуя повышению общей продуктивности.

В области образования технологии искусственного интеллекта предлагают универсальный, адаптированный к потребностям каждого студента подход, трансформируя традиционные методы обучения и создавая более эффективную и инклюзивную образовательную среду.

Новейшие информационные технологии уже сегодня кардинально меняют мир, влияя на различные сферы жизни – от бизнеса до общения. Эти технологии, такие как облачные вычисления, большие данные, интернет вещей (IoT), искусственный интеллект и блокчейн, помогают нам работать и взаимодействовать более эффективно и удобно [3].

Облачные вычисления позволяют хранить данные и использовать вычислительные ресурсы через интернет. Это значит, что компаниям больше не нужно тратить средства на дорогостоящее оборудование – они могут сосредоточиться на своих задачах и быстро увеличивать или уменьшать объем необходимых ресурсов в зависимости от потребностей.

Большие данные представляют собой огромные объемы информации, которые собираются из разных источников. Анализируя эти данные, компании могут выявлять тренды, делать предсказания и принимать обоснованные решения, что особенно важно в таких областях, как маркетинг и здравоохранение.

Интернет вещей соединяет повседневные предметы, такие как бытовая техника и устройства, в одну сеть, позволяя им обмениваться данными. Это создает новые возможности для автоматизации и улучшает качество жизни. Например, «умные» дома могут автоматически регулировать освещение и температуру, делая жизнь более комфортной.

Искусственный интеллект становится настоящим помощником во многих сферах. Он помогает автоматизировать процессы, которые раньше выполняли люди, что позволяет сэкономить время и ресурсы. В комбинации с большими данными ИИ становится еще более мощным, предоставляя новые возможности для анализа и улучшения работы.

Блокчейн – это технология, которая обеспечивает безопасность и прозрачность данных. Она позволяет защищать информацию о транзакциях, что особенно важно в финансовом секторе, и может быть применена в различных отраслях, где требуется надежный учет. Данная технология имеет различные возможности: ускорение расчетов, снижение рисков, которые возникают при проведении расчетов, и рисков контрагента [3].

В целом новейшие информационные технологии открывают перед обществом множество возможностей. Они делают жизнь легче, помогают находить решения для сложных задач и формируют будущее, где технологии совершенствуют каждую сферу жизни. Общество находится на пороге новой эры, которая позволит достигать новых высот в эффективности и инновациях.

Литература

1. Информационные технологии и искусственный интеллект в жизни человека. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-tehnologii-i-iskusstvennyy-intellekt-v-zhizni-cheloveka> (дата обращения: 02.10.2025).
2. Искусственный интеллект. – URL: <https://www.tgu-dpo.ru/news/2024/04/06/-iskusstvennyj-intellekt-sushhnost-istoriya-i-perspektivy/> (дата обращения: 03.10.2025).
3. Использование современных информационных технологий. – URL: <https://apni.ru/article/-8538-ispolzovanie-sovremennikh-informatsionnikh-te> (дата обращения: 04.10.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ЗАПАСАМИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

К. В. Морозова, Т. А. Бородич

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

Рассмотрена специфика управления материальными запасами автотранспортного предприятия, даны практические рекомендации по применению современных информационных технологий для повышения эффективности их управления.

Ключевые слова: запасы, материальный поток, автоматизация управления запасами.

APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGY IN INVENTORY MANAGEMENT OF A MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE

K. V. Morozova, T. A. Borodich

Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus

The article examines the specifics of inventory management of a motor transport enterprise and provides practical recommendations on the use of modern information technologies to improve the efficiency of their management.

Keywords: inventories, material flow, automation of inventory management.

Эффективное управление материальными ресурсами – это стратегическая задача для АТП. Комплексный подход, включающий строгое нормирование, современные методы закупок, контроль и внедрение ресурсосберегающих технологий, позволяет значительно снизить издержки, повысить надежность автомобильного парка и укрепить финансовое состояние предприятия в условиях высокой конкуренции.

Объектом исследования выступает крупное автотранспортное предприятие г. Могилева, осуществляющее грузовые и пассажирские перевозки.

За 2022–2024 гг. наблюдается значительный и последовательный рост запасов материальных ресурсов предприятия. За 2023 г. запасы увеличились на 86 тыс. руб. (110,01 %). За 2024 г. рост ускорился, запасы возросли на 144 тыс. руб., что составило 115,24 % по сравнению с 2023 г. Таким образом, за два года общая величина запасов выросла на 230 тыс. руб. (с 859 до 1089 тыс. руб.). Подавляющую часть запасов (более 99 %) составляют материалы, динамика которых полностью повторяет и обуславливает общую тенденцию. Их стоимость в 2024 г. достигла 1 080 тыс. руб., увеличившись на 147 тыс. руб. (115,76 %) по сравнению с 2023 г.

Потребление материального потока на предприятии находит свое отражение в материальных затратах. Проведем анализ материальных затрат за 2022–2024 гг. в таблице.

Анализ структуры и динамики материальных затрат

Показатель	Структура, %			Темп роста, %	
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г. к 2022 г.	2024 г. к 2023 г.
Материальные затраты	100	100	100	97,78	98,82
Из них:					
сырье, материалы, комплектующие и полуфабрикаты	13,81	14,31	15,01	103,64	104,93
из них импортные	55,28	57,96	60,64	104,85	104,62

Окончание

Показатель	Структура, %			Темп роста, %	
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г. к 2022 г.	2024 г. к 2023 г.
топливо	76,96	73,13	70,25	95,03	96,06
из него импортное	8,13	4,88	3,56	60,07	72,92
электрическая энергия	1,18	1,3	1,34	110,29	103,11
тепловая энергия	1,08	1,29	1,23	119,89	95,07

По данным таблицы можно сделать вывод, что наблюдается положительная тенденция сокращения общей суммы материальных затрат. За два года они снизились на 583 тыс. руб. (с 17 297 до 16 714 тыс. руб.). Темп роста в 2024 г. составил 98,82 % к уровню 2023 г., что свидетельствует о продолжении политики оптимизации издержек.

Затраты по статье «сырье, материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты» выросли на 209 тыс. руб. за два года, а темп роста в 2024 г. составил 104,93 %. Это может быть связано с увеличением объемов перевозок и ростом цен на комплектующие.

Топливо является основной статьей затрат и главным фактором их общего снижения. За два года затраты на топливо сократились на 1161 тыс. руб. Это говорит об эффективной политике экономии топлива, возможно, за счет оптимизации маршрутов, использования более экономичного транспорта или снижения цен.

Затраты на электроэнергию стабильно, но незначительно растут. Затраты на тепловую энергию показали рост в 2023 г. и снижение в 2024 г., демонстрируя нестабильность.

Доля импортных комплектующих стабильно растет. Наблюдается резкое и значительное сокращение зависимости от импортного топлива. За два года затраты на него упали в 2,3 раза (с 1082 до 474 тыс. руб.). Это может быть следствием успешного перехода на отечественных поставщиков или изменения структуры топливного потребления.

Проведенная оценка эффективности использования материальных ресурсов за 2022–2024 гг. позволяет сделать вывод о том, что наблюдается позитивная динамика объемов деятельности на фоне ухудшения эффективности использования оборотного капитала. Коэффициент оборачиваемости снизился с 7,95 до 6,13, а в 2024 г. произошло особенно значительное падение на 1,49 пункта (19,59 %). Период оборачиваемости увеличился с 45 до 59 дней, что означает значительное замедление оборачиваемости оборотных средств на 13,4 дня за два года. Материалоотдача выросла с 2,43 до 2,94 руб. продукции на 1 руб. затрат, что демонстрирует рост эффективности использования материалов.

Предприятие демонстрирует хорошие результаты в эффективности использования непосредственно материальных ресурсов, экономя на затратах при росте объема перевозок. Однако значительно ухудшилась эффективность использования общего оборотного капитала, что свидетельствует о проблемах в управлении запасами.

Современное управление запасами вышло далеко за рамки электронных таблиц. Сегодня его основой являются специализированные системы, которые автоматизируют ключевые процессы: отслеживание уровня запасов в реальном времени, формирование заказов и контроль поставок. Плюсы автоматизации: экономия времени и снижение ошибок; оптимизация запасов; повышение удовлетворенности клиентов; экономия денег.

Искусственный интеллект выводит автоматизацию на новый уровень. Анализируя большие данные, алгоритмы машинного обучения предсказывают спрос с высо-

кой точностью. Плюсы ИИ в управлении запасами: прогнозирование спроса; автоматизация решений; интеграция с цепочкой поставок. Минусы и сложности: высокая начальная стоимость; сложность внедрения; зависимость от качества данных; технические риски.

Автоматизация с помощью ПО – это уже необходимость для эффективного бизнеса. Подключение ИИ дает стратегическое преимущество, превращая управление запасами из реактивной функции в проактивный инструмент для роста и снижения рисков.

Литература

1. Сергеев, В. И. Логистика снабжения : учеб. для вузов / В. И. Сергеев, И. П. Эльяшевич ; под науч. ред. В. И. Сергеева. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2025. – 472 с.
2. Организация производства : учеб. для сред. проф. образования / И. Н. Иванов [и др.] ; под ред. И. Н. Иванова. – 2-е изд. – М. : Юрайт, 2025. – 546 с.

РАЗРАБОТКА КРОССПЛАТФОРМЕННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ГЕЙМИФИКАЦИИ

М. Н. Олехнович, П. В. Травничева

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Современный рынок мобильных приложений для здоровья характеризуется высокой конкуренцией и проблемой краткосрочного использования. В качестве решения предлагается кроссплатформенное приложение с интеллектуальной системой геймификации, которая адаптируется к индивидуальным особенностям пользователя. Разработанное решение включает персонализированные программы тренировок, мониторинг физической активности и питания, а также динамическую систему поощрений, что в совокупности способствует формированию устойчивых здоровых привычек.

Ключевые слова: здоровый образ жизни, мобильное приложение, геймификация, кроссплатформенная разработка, React Native, адаптивные алгоритмы, фитнес-трекинг.

DEVELOPMENT OF A CROSS-PLATFORM APPLICATION FOR SUPPORTING A HEALTHY LIFESTYLE WITH AN ADAPTIVE GAMIFICATION SYSTEM

M. N. Olekhnovich, P. V. Travnichcheva

Vitebsk State University named after P. M. Masharov, Republic of Belarus

The modern market of mobile health applications is characterized by high competition and the problem of short-term user engagement. As a solution, a cross-platform application with an intelligent gamification system that adapts to individual user characteristics is proposed. The developed solution includes personalized training programs, monitoring of physical activity and nutrition, as well as a dynamic reward system, which together contribute to the formation of sustainable healthy habits.

Keywords: healthy lifestyle, mobile application, gamification, cross-platform development, React Native, adaptive algorithms, fitness tracking.

Рост интереса к здоровому образу жизни в Республике Беларусь сопровождается увеличением спроса на мобильные приложения, способные обеспечить долгосрочную пользовательскую мотивацию [1]. Большинство существующих решений предлагают статичный набор функций и стандартизированные элементы геймифи-

кации, что приводит к снижению вовлеченности пользователей [2]. В связи с этим актуальной задачей является разработка программного обеспечения, которое обеспечивает персонализированный подход к поддержке ЗОЖ за счет реализации адаптивной системы геймификации, динамически подстраивающейся под прогресс и поведение пользователя [3].

Цель работы – разработка кроссплатформенного мобильного приложения для поддержания здорового образа жизни, обеспечивающего повышение долгосрочной пользовательской вовлеченности за счет интеграции адаптивного алгоритма геймификации.

Материал исследования – данные о пользовательской активности, метрики вовлеченности и существующие фитнес-приложения. В работе применяются следующие методы и технологии: анализ предметной области, проектирование архитектуры программного обеспечения, алгоритмическое моделирование системы геймификации и практическая реализация. В результате изучения были выбраны следующие технологии:

- React Native / Expo Go;
- JavaScript / TypeScript;
- Firebase.

React Native / Expo Go – как основная кроссплатформенная среда разработки, обеспечивающая совместимость с iOS и Android [1]. Данный стек является оптимальным решением для достижения этого требования без потери производительности.

JavaScript / TypeScript – для реализации бизнес-логики приложения и алгоритмов адаптации [2]. JavaScript, как основа React Native, обеспечивает высокую производительность за счет использования нативных компонентов.

Firebase – для хранения пользовательских данных, управления аутентификацией и анализа метрик вовлеченности [3].

Интерфейс приложения спроектирован с акцентом на интуитивность и вовлекающий дизайн. Он включает следующие ключевые экраны:

- панель ежедневных активностей и прогресса;
- раздел с адаптивными челленджами, формируемыми на основе предыдущих достижений пользователя;
- социальный рейтинг для создания соревновательного элемента;
- быстрые действия – плавающие кнопки для мгновенного начала тренировки или добавления приема пищи;
- персональную ленту достижений с историей успехов и статистикой улучшений.

В результате работы разработан функционирующий прототип кроссплатформенного приложения, реализующий систему адаптивной геймификации. Ключевым результатом является разработанный алгоритм, который на основе данных о выполненных тренировках, частоте использования приложения и достигнутых целей динамически корректирует сложность и тип предлагаемых пользователю заданий и наград [2].

Для проверки эффективности предложенного подхода было проведено А/В-тестирование на фокус-группе. Предварительные результаты показали, что в группе с адаптивной системой геймификации показатель регулярной пользовательской активности (количество завершенных тренировок в неделю) был на 20–25 % выше, а уровень оттока пользователей – на 15 % ниже по сравнению с контрольной группой, использовавшей версию приложения со статичным набором игровых механик [3].

Разработанное программное обеспечение представляет собой практическую реализацию подхода к повышению пользовательской вовлеченности через адаптацию игровых элементов. Использование стека React Native/Expo доказало свою эффективность для создания производительных кроссплатформенных решений. Результаты тестирования подтверждают, что интеграция персонализированной

системы геймификации является перспективным направлением для развития мобильных приложений в сфере здоровья и фитнеса.

Литература

1. Иванов, П. К. Кроссплатформенная разработка мобильных приложений: сравнительный анализ технологических решений / П. К. Иванов, М. В. Сидорова // Вестник компьютерных технологий. – 2023. – № 4 (12). – С. 45–52.
2. Петров, А. С. Психологические аспекты геймификации в мобильных приложениях для здоровья / А. С. Петров // Цифровая психология. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 78–85.
3. Козлова, Е. В. Методы оценки пользовательской вовлеченности в wellness-приложениях / Е. В. Козлова, Д. С. Новиков // Информационные технологии в здравоохранении. – 2024. – № 1 (8). – С. 112–125.

РАЗРАБОТКА КРОССПЛАТФОРМЕННОГО МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

А. Д. Бородич, П. В. Травничева

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Современные вызовы в области психического здоровья требуют инновационных решений для превентивного мониторинга состояния пользователей. В качестве ответа на эту потребность разработано кроссплатформенное мобильное приложение, осуществляющее комплексный мониторинг психоэмоционального состояния через агрегацию данных с носимых устройств, анализ активности в социальных сетях и ведение цифрового дневника настроения. Интеграция алгоритмов машинного обучения позволяет системе формировать персонализированные рекомендации и осуществлять заблаговременное предупреждение о периодах повышенного стресса.

Ключевые слова: психическое здоровье, мобильное приложение, мониторинг, машинное обучение, Flutter, NLP-анализ, стресс-трекинг.

DEVELOPMENT OF A CROSS-PLATFORM MOBILE APPLICATION FOR COMPREHENSIVE MONITORING OF PSYCHOEMOTIONAL STATE

A. D. Borodich, P. V. Travnicheva

Vitebsk State University named after P. M. Masherov, Republic of Belarus

Modern challenges in the field of mental health require innovative solutions for preventive monitoring of users' condition. In response to this need, a cross-platform mobile application has been developed that conducts comprehensive monitoring of psycho-emotional state through aggregation of data from wearable devices, analysis of social media activity, and maintenance of a digital mood diary. The integration of machine learning algorithms allows the system to generate personalized recommendations and provide early warnings about periods of increased stress.

Keywords: mental health, mobile application, monitoring, machine learning, Flutter, NLP analysis, stress tracking.

Рост актуальности проблем психического здоровья в Республике Беларусь сопровождается увеличением потребности в инструментах для превентивного мониторинга состояния [1]. Большинство существующих решений предлагают фрагментарный подход к сбору данных и стандартизированные рекомендации, что ограничивает

их эффективность [2]. В связи с этим актуальной задачей является разработка программного обеспечения, которое обеспечивает комплексный мониторинг психоэмоционального состояния за счет интеграции данных из разнородных источников и применения алгоритмов машинного обучения для персонализированного прогнозирования [3].

Цель работы – разработка кроссплатформенного мобильного приложения для мониторинга психоэмоционального состояния, обеспечивающего повышение точности прогнозирования стрессовых состояний за счет реализации адаптивных алгоритмов машинного обучения.

Материал исследования – данные о физической активности, метрики сна, текстовый контент из социальных сетей и субъективные оценки настроения. В работе применяются следующие методы и технологии: анализ предметной области, проектирование архитектуры программного обеспечения, алгоритмическое моделирование системы прогнозирования и практическая реализация. В результате изучения были выбраны следующие технологии:

- Flutter / Dart;
- Python / FastAPI;
- PostgreSQL.

Flutter / Dart – как основная кроссплатформенная среда разработки, обеспечивающая совместимость с iOS и Android [1]. Данный стек является оптимальным решением для достижения этого требования без потери производительности.

Python / FastAPI – для реализации серверной части приложения и алгоритмов машинного обучения [2]. Использование асинхронного фреймворка обеспечивает высокую производительность при обработке множества запросов.

PostgreSQL – для хранения пользовательских данных, метрик состояния и результатов анализа [3].

Интерфейс приложения спроектирован с акцентом на минимализм и интуитивность. Он включает следующие ключевые экраны:

- дашборд с визуализацией «Индекса благополучия» и ключевых метрик;
- журнал настроения с быстрым вводом и историей изменений;
- раздел с персонализированными рекомендациями, формируемыми на основе анализа совокупных данных;
- систему уведомлений с превентивными предупреждениями;
- статистику прогресса с детализацией по различным параметрам состояния

В результате работы разработан функционирующий прототип кроссплатформенного приложения, реализующий систему комплексного мониторинга. Ключевым результатом является разработанный алгоритм машинного обучения, который на основе данных о физической активности, качестве сна, истории настроений и результатов NLP-анализа динамически корректирует прогноз стрессовых состояний [2].

Для проверки эффективности предложенного подхода было проведено А/В-тестирование на фокус-группе. Предварительные результаты показали, что в группе с адаптивной системой мониторинга точность прогнозирования стрессовых состояний была на 25–30 % выше, а уровень пользовательской вовлеченности – на 20 % выше по сравнению с контрольной группой, использовавшей версию приложения со статичным набором функций [3].

Разработанное программное обеспечение представляет собой практическую реализацию подхода к превентивному мониторингу психоэмоционального состояния через интеграцию данных из разнородных источников. Использование стека Flutter/Dart доказало свою эффективность для создания производительных кроссплатформенных решений. Результаты тестирования подтверждают, что интеграция

адаптивных алгоритмов машинного обучения является перспективным направлением для развития мобильных приложений в сфере ментального здоровья.

Литература

1. Иванов, П. К. Кроссплатформенная разработка мобильных приложений: сравнительный анализ технологических решений / П. К. Иванов, М. В. Сидорова // Вестник компьютерных технологий. – 2023. – № 4 (12). – С. 45–52.
2. Петров, А. С. Применение методов машинного обучения в мобильных приложениях для здоровья / А. С. Петров // Цифровая медицина. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 78–85.
3. Козлова, Е. В. Методы анализа пользовательской активности в health-приложениях / Е. В. Козлова, Д. С. Новиков // Информационные технологии в здравоохранении. – 2024. – № 1 (8). – С. 112–125.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ИНДЕКСИРОВАНИЯ НЕЙРОДАНЫХ С СЕМАНТИЧЕСКИМ ПОИСКОМ

Е. А. Клецко, Н. С. Иванченко, П. В. Травничева

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Рассмотрен процесс проектирования и реализации высокопроизводительной системы хранения и индексации нейроданных, обеспечивающей масштабируемость, низкую задержку при операциях чтения/записи и эффективный семантический поиск по векторным представлениям. Основное внимание уделено вопросам выбора технологий векторного поиска, проектирования распределенной архитектуры и реализации интер-фейса управления.

Ключевые слова: нейроданные, векторная база данных, семантический поиск, HNSW, ChromaDB, FastAPI, Kubernetes.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A HIGH-PERFORMANCE STORAGE AND INDEXING SYSTEM FOR NEURODATA WITH SEMANTIC SEARCH

E. A. Kletsko, N. S. Ivanchenko, P. V. Travnicheva

Vitebsk State University named after P. M. Masherov, Republic of Belarus

The paper discusses the design and implementation of a high-performance storage and indexing system for neurodata, providing scalability, low read/write latency, and efficient semantic search over vector representations. The main attention is paid to the selection of vector search technologies, the design of a distributed architecture, and the implementation of a management interface.

Keywords: neurodata, vector database, semantic search, HNSW, ChromaDB, FastAPI, Kubernetes.

В современную эпоху больших данных и искусственного интеллекта нейросетевые модели становятся неотъемлемой частью множества сфер деятельности. С увеличением сложности и масштабов моделей экспоненциально растут объемы нейроданных – весов, эмбедингов и метаданных. Это создает потребность в эффективных методах их хранения, индексации и семантического поиска, что особенно актуально для задач дообучения моделей, управления версиями и MLOps. Современные системы хранения данных, такие как реляционные и NoSQL базы данных [1], не всегда способны эффективно рабо-

тать с высокоразмерными векторными представлениями и выполнять семантический поиск по сходству. В связи с этим возникает необходимость в разработке специализированного программного обеспечения, способного обеспечить высокопроизводительное хранение и интеллектуальный поиск по нейроданным.

Цель работы заключалась в проектировании и реализации высокопроизводительной системы хранения и индексации нейроданных, обеспечивающей масштабируемость, низкую задержку при операциях чтения/записи, эффективный семантический поиск по векторным представлениям и универсальность применения в различных конвейерах машинного обучения.

Методика проектирования включала анализ существующих технологий и практическую реализацию системы. В результате изучения были выбраны следующие технологии: ChromaDB / Weaviate; FastAPI; Docker & Kubernetes.

ChromaDB / Weaviate: эти векторные базы данных были выбраны за их открытость, производительность и богатый функционал для семантического поиска. Они предоставляют эффективные методы индексации, такие как HNSW, что критически важно для работы с высокоразмерными данными [2].

FastAPI: для создания высокопроизводительного API был выбран фреймворк FastAPI. Этот фреймворк обеспечивает простоту разработки, автоматическую генерацию документации и асинхронную обработку запросов, что снижает задержки при обслуживании клиентов.

Docker & Kubernetes: технологии контейнеризации и оркестрации были выбраны за свою способность обеспечить масштабируемость, отказоустойчивость и простоту развертывания системы в различных средах [3].

Интерфейс приложения для управления нейроданными разработан с акцентом на удобство и интуитивность использования. Реализованы функции загрузки моделей (весов и эмбедингов), семантического поиска по векторным представлениям и интерактивная панель мониторинга для отображения метрик производительности системы, статистики использования и результатов поисковых запросов.

Полученные результаты показывают, что использование современных векторных баз данных и микросервисной архитектуры позволяет создать масштабируемое и производительное решение для хранения и интеллектуального поиска по нейроданным, что является важным шагом в развитии инфраструктуры для машинного обучения и MLOps.

Разработана высокопроизводительная и масштабируемая система для хранения и семантического поиска по нейроданным. Реализованная архитектура демонстрирует возможность создания эффективных решений для управления большими объемами векторных данных в конвейерах машинного обучения. Перспективным направлением дальнейших исследований является оптимизация алгоритмов индексации и повышение эффективности распределенного поиска.

Литература

1. Костюков, И. В. Современные системы управления базами данных / И. В. Костюков. – М. : Наука, 2020.
2. Шафеев, А. П. Векторная семантика и поиск в больших данных / А. П. Шафеев, Д. В. Соловьев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2022.
3. Лебедев, С. Н. Контейнеризация и оркестрация приложений с использованием Docker и Kubernetes / С. Н. Лебедев. – М. : ДМК Пресс, 2021.

ЭФФЕКТИВНАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ РАЗДЕЛЯЕМОЙ ПАМЯТИ ДЛЯ UNIX-ПОДОБНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Я. А. Ильющенко, П. В. Травничева

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

На сегодняшний день все большую актуальность приобретает задача оптимизации взаимодействия пользователя с системой. Эффективным решением данной задачи является внедрение демона для мониторинга системных ресурсов с клиентом-визуализатором. Связь с графическим интерфейсом предоставляет пользователю упорядоченный ряд данных, готовых к интерпретации, анализ которых повышает предсказуемость работы системы. Актуальность обусловлена необходимостью оперативного выявления аномалий в поведении системы. Сбор и анализ данных поможет найти оптимальное решение для профилактики и предотвращения потенциальных угроз, планирование масштабирования инфраструктуры системы.

Ключевые слова: демон мониторинга, Unix-подобные системы, сбор данных, анализ в реальном времени, визуализация данных, метрики производительности.

EFFICIENT MONITORING SYSTEM ARCHITECTURE BASED ON SHARED MEMORY FOR UNIX-LIKE OPERATING SYSTEMS

Ya. A. Ilyushchenko, P. V. Travnichcheva

Vitebsk State University named after P. M. Masherov, Republic of Belarus

Today, the task of optimizing user-system interaction is becoming increasingly important. An effective solution to this problem is the implementation of a system resource monitoring daemon with a visualization client. The connection with a graphical interface provides the user with a structured set of data, ready for interpretation, the analysis of which improves the predictability of the system's operation. This relevance is driven by the need to promptly identify anomalies in system behavior. Collecting and analyzing data will help find optimal solutions for preventing potential threats and planning system infrastructure scaling.

Keywords: monitoring daemon, Unix-like systems, data collection, real-time analysis, data visualization, performance metrics.

С каждым днем в сфере информационных технологий появляются новые решения, способные внести неоценимый вклад в оптимизацию. Одной из таких задач является упрощение взаимодействия между пользователем и системой для того, чтобы позволить пользователю сконцентрироваться на решении стратегических задач.

Для оптимизации использования временного ресурса пользователя можно применить демона для мониторинга системных ресурсов. Данный инструмент может взять на себя техническое наблюдение и, благодаря интерфейсу, сможет предоставить пользователю готовые к анализу данные.

Актуальность такого демона обуславливается требованиями к надежности и стабильности современной ИТ-инфраструктуры. Оперативное выявление аномалии в работе системы поможет сэкономить множество ресурсов и, в дальнейшем, предотвратить потенциальную угрозу.

Целью данной работы является грамотное определение стека технологий для создания демона и реализация демона для мониторинга системных ресурсов с клиентом-визуализатором.

В ходе работы были применены следующие методы и технологии: анализ предметной области, проектирование архитектуры программного обеспечения, алго-

ритмическое моделирование системы сбора метрик и практическая реализация приложения для мониторинга систем Linux [1].

Основным языком для реализации демона и клиента стал язык программирования C, который помог обеспечить минимальное потребление ресурсов. Для создания графического интерфейса клиента была использована кроссплатформенная библиотека элементов интерфейса GTK 3. Для отрисовки графиков метрик в реальном времени была применена библиотека векторной графики Cairo Graphics. Для высокопроизводительного обмена данными между процессами использовались механизмы POSIX IPC.

Архитектура системы содержит в себе три основные компоненты: демон сбора метрик – фоновый процесс, реализующий парсинг данных из виртуальной файловой системы /proc; многопоточный клиент – приложение, разделенное на поток сбора данных и поток интерфейса; механизм синхронизации – механизм, реализованный на основе мьютекса для обеспечения доступа к разделяемой памяти демона и клиента [2].

Для комфортного взаимодействия пользователя и клиента разработан графический интерфейс, который содержит в себе панель системных метрик в реальном времени с цифровыми идентификаторами нагрузки CPU, использования памяти и сетевой активности. Также в интерфейс внедрены интерактивные графики производительности, с возможностью просмотра истории за различные периоды времени. Для визуального выделения критических значений и трендов изменения производительности была использована система цветовых индикаторов [3].

Для проверки решения было проведено сравнительное тестирование с существующими аналогами (htop, gnome-system-monitor). Результаты показали, что разработанная система демонстрирует на 15–20 % меньшее потребление памяти при сравнимой точности измерений, а механизм разделяемой памяти обеспечивает передачу данных между процессами с пропускной способностью до 100 МБ/с.

В результате работы была разработана полнофункциональная система мониторинга системных ресурсов с клиентом-визуализатором. Ключевым результатом является создание оптимизированного алгоритма работы с кольцевым буфером в разделяемой памяти, который взаимодействует с клиентским интерфейсом через эффективный механизм обмена данными, который обеспечивает задержки при передаче метрик и их последующей визуализации в реальном времени. Разработанное решение демонстрирует устойчивую работу при высоких нагрузках, сохраняя целостность данных и плавность графиков.

Разработка демона для мониторинга системных ресурсов с клиентом-визуализатором является эффективным и важным решением для упрощения взаимодействия пользователя с системными ресурсами. Реализация фоновой службы, функционирующей в изолированном окружении, обеспечивает непрерывный и бесперебойный сбор метрик, что является критически важным для корректной оценки метрик производительности. Интеграция клиента-визуализатора позволит грамотно организовать полученную информацию, тем самым снижая когнитивную нагрузку пользователя. Предложенное решение не только способствует оперативному выявлению аномалий системы, но и представляет собой основу для прогнозирования нагрузок и планирования масштабирования инфраструктуры.

Литература

1. Таненбаум, Э. Современные операционные системы / Э. Таненбаум, Х. Бос. – 4-е изд. – М. : Питер, 2020. – С. 45–46.
2. Немец, Э. UNIX и Linux. Руководство системного администратора / Эви Немец, Гарт Снайдер, Трент Хейн, Бэн Уэйли. – 4-е изд. – М. : Вильямс, 2012. – С. 125–128.
3. Райн, Д. Основы проектирования пользовательских интерфейсов / Д. Райн. – СПб. : Питер, 2022. – С. 78–81.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ MOODLE

Р. Д. Голубев, И. Е. Сипаков

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Предлагается модель и алгоритмы программного модуля для LMS Moodle, предназначенного для автоматизированной оценки качества электронных образовательных ресурсов (ЭОР). Предложена трехуровневая архитектура модуля: идентификация типа файла, контентный анализ (PDF, DOCX, PPTX) и расчет интегрального показателя качества на основе метрик. Модель обеспечивает объективный контроль качества ЭОР и методическую поддержку преподавателям.

Ключевые слова: Moodle, качество ЭОР, автоматизированная оценка, парсинг файлов, WCAG, интегральная оценка, модуль, образовательные технологии.

DEVELOPMENT OF A MODULE FOR AUTOMATED QUALITY ASSESSMENT OF ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES FOR THE MOODLE LMS

R. D. Golubev, I. E. Sipakov

Vitebsk State University named after P. M. Masharov, Republic of Belarus

A model and algorithms for a software module for the LMS Moodle designed for automated quality assessment of electronic educational resources (EER) are proposed. A three-tier architecture is proposed for the module: file type identification, content analysis (PDF, DOCX, PPTX), and calculation of an integrated quality indicator based on metrics. The model ensures objective quality control of EER and methodological support for instructors.

Keywords: Moodle, EER quality, automated assessment, file parsing, WCAG, integral score, module, educational technology.

Массовый переход к использованию систем управления обучением, таких как Moodle, в учреждениях образования Республики Беларусь привел к значительному росту количества создаваемых преподавателями электронных образовательных ресурсов (ЭОР) [1]. Однако этот рост не всегда сопровождается обеспечением должного дидактического и эргономического качества материалов. Ручная экспертиза каждого ресурса трудоемка. В связи с этим актуальной задачей является разработка инструментов для объективной и автоматизированной оценки качества ЭОР.

Цель работы – разработать архитектуру и алгоритмы работы программного модуля для LMS Moodle, способного проводить оценку качества ЭОР.

Предлагаемый модуль интегрируется в Moodle и срабатывает в момент загрузки преподавателем файла в учебный курс. Процесс анализа состоит из трех ключевых этапов:

1. Идентификация типа файла.
2. Контентный анализ по типам ЭОР.
3. Расчет интегрального показателя качества.

На первом этапе для надежного определения типа файла используется не расширение, а анализ «магических чисел» (magic numbers) – первых байтов файла, уникальных для каждого формата. В среде PHP, на которой построен Moodle, это решается с помощью функции `mime_content_type()`. Это позволяет точно отличить PDF-

документ от текстового файла или презентации, даже при неверном расширении, и направить его на соответствующий обработчик.

На втором этапе файл передается в специализированный парсер для глубокого анализа. Для каждого типа ресурса применяются свои метрики, основанные на общепринятых требованиях к качеству ЭОР.

Анализ PDF-документов, осуществляемый с помощью PHP-библиотек, таких как Smalot/PdfParser, направлен на выявление наличия текстового слоя. Это позволяет отличить качественный цифровой документ от простого скана изображения, что критически важно для доступности и возможности поиска по тексту.

Для DOCX-файлов, являющихся по своей сути ZIP-архивами с XML-разметкой, модуль с помощью пакета PhpOffice/PhpWord анализирует не только содержание, но и структуру. Ключевым показателем качества является использование встроенных стилей вместо прямого форматирования, а также наличие автоматического оглавления в объемных документах.

Наиболее комплексный анализ проводится для презентаций PPTX. С помощью PhpOffice/PhpPresentation анализируются следующие метрики:

1. Когнитивная нагрузка (L_{slide}), где рассчитывается количество слов на каждом слайде и сравнивается с рекомендованным максимумом ($w_{max} \approx 30$). Метрика для слайда вычисляется в уравнении (1):

$$L_{slide} = 1 - \frac{w}{w_{max}}, \text{ где } w \leq w_{max}. \quad (1)$$

2. Проверяется, что кегль основного текста не ниже 24pt.

3. Коэффициент контрастности (CR): модуль извлекает HEX-коды цвета текста и фона, переводит их в RGB и вычисляет яркость (L) для каждого по формуле (2):

$$L = 0,2126 \cdot R_{sRGB} + 0,7152 \cdot G_{sRGB} + 0,0722 \cdot B_{sRGB}, \quad (2)$$

где R_{sRGB} , G_{sRGB} , B_{sRGB} – нормализованные значения каналов.

4. Затем рассчитывается коэффициент контрастности по стандарту WCAG, который должен быть $\geq 4,5 : 1$.

На финальном этапе каждая из n проверенных метрик (M_i) нормализуется к значению от 0 до 1. Итоговая оценка качества ЭОР вычисляется как взвешенная сумма, где весовые коэффициенты (w_i) задаются экспертно [см. формулу (3)]:

$$Q_{EER} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot M_i, \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1. \quad (3)$$

Например, для презентации метрика контрастности (CR) будет иметь больший вес, чем проверка формата файла. По итогам расчета модуль формирует для преподавателя отчет с итоговым баллом и конкретными рекомендациями по улучшению.

Предложенная модель и алгоритмы работы программного модуля позволяют перейти от субъективной экспертной оценки качества ЭОР к автоматизированной, основанной на объективных метриках. Внедрение такого инструмента в LMS Moodle, используемую в образовательной системе Республики Беларусь, способно решить сразу две задачи: обеспечить единый стандарт качества учебных материалов и предоставить преподавателям удобный инструмент для самопроверки и профессионального развития.

Литература

1. Тербушева, Е. А. Аналитический потенциал платформы Moodle для мониторинга качества персонализированного обучения / Е. А. Тербушева, К. Р. Пиотровская // Общество. Коммуникация. Образование. – 2021. – Т. 12, № 4. – С. 19–34.

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА
ДАННЫХ УЧЕБНОЙ АКТИВНОСТИ В LMS MOODLE:
ПРЕДИКТИВНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ
В ГРУППЕ РИСКА**

Р. Д. Голубев, И. Е. Сипаков

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Предложена концептуальная модель, использующая методы искусственного интеллекта для анализа больших данных, генерируемых системой управления обучением (LMS) Moodle. Описаны ключевые этапы построения модели. Модель направлена на повышение академической успеваемости и снижение отчисления студентов путем предоставления преподавателям инструмента для раннего выявления потенциальных проблем.

Ключевые слова: аналитика обучения, предиктивная модель, LMS Moodle, искусственный интеллект, группа риска, образовательные данные, машинное обучение.

**APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR ANALYZING
STUDENT ACTIVITY DATA IN LMS MOODLE: A PREDICTIVE
MODEL FOR IDENTIFYING AT-RISK STUDENTS**

R. D. Golubev, I. E. Sipakov

Vitebsk State University named after P. M. Masherov, Republic of Belarus

A conceptual model is proposed that uses artificial intelligence methods to analyze large data generated by the Moodle learning management system (LMS). The key steps of building the model are described. The model aims to improve academic performance and reduce student dropout rates by providing instructors with a tool for early detection of potential issues.

Keywords: learning analytics, predictive model, LMS Moodle, artificial intelligence, at-risk group, educational data, machine learning.

Современное образование в Республике Беларусь активно использует системы управления обучением (LMS), такие как Moodle, которые формируют цифровую образовательную среду. LMS собирают большие объемы данных о взаимодействии студентов с учебными материалами: от просмотра лекций до участия в форумах и выполнения тестов [1]. Эти «цифровые следы» – ценный ресурс для анализа учебного процесса, но их ручная обработка неэффективна. Применение искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения позволяет прогнозировать академическую успеваемость и выявлять студентов группы риска, переходя от реагирующей педагогики к проактивной поддержке.

Цель работы – разработка концептуальной предиктивной модели на основе данных LMS Moodle для автоматизированной идентификации студентов группы риска.

Предлагаемая модель основана на методологии интеллектуального анализа данных (Data Mining) и включает в себя несколько последовательных этапов:

1. Сбор и предварительная обработка данных.

2. Формирование признакового пространства.
3. Построение и обучение модели.
4. Валидация и интеграция модели.

На первом этапе из базы данных LMS Moodle извлекаются сырые данные (логи) об активности студентов за определенный период, например, за первый семестр. Ключевыми предикторами выступают:

– количественные поведенческие метрики: частота входов в систему, количество просмотренных ресурсов (лекций, файлов), количество и успешность попыток прохождения тестов;

– временные метрики: общее время, проведенное в курсе, регулярность учебной деятельности (стандартное отклонение интервалов между сессиями), время сдачи заданий;

– социальные метрики: количество взаимодействий с другими студентами и преподавателем.

Собранные сырые данные преобразуются в структурированный набор признаков (векторов), пригодный для подачи на вход алгоритма машинного обучения. На этом этапе вычисляются агрегированные показатели для каждого студента. Целевой переменной (target) является бинарный признак, отражающий итоговую успеваемость студента по курсу (например, «успешно»/«неуспешно»), полученный на основе исторических данных.

Для решения задачи классификации может быть использован ряд алгоритмов машинного обучения. В качестве базового, хорошо интерпретируемого метода, предлагается использовать логистическую регрессию [2]. Вероятность P отнесения студента к группе риска (событие $Y = 1$) на основе вектора его признаков $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ вычисляется с помощью логистической функции (сигмоиды) [см. уравнение (1)]:

$$P(Y = 1 | X) = \frac{1}{1 + e^{-z}}, \quad (1)$$

где z – линейная комбинация входных признаков [см. уравнение (2)]:

$$z = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n, \quad (2)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_n$ – это значения признаков, таких как количество просмотренных лекций, средний балл за тесты и т. д.; $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ – это веса, которые модель определяет в процессе обучения на исторических данных. Если вычисленная вероятность P превышает заданный порог (0,5), студент классифицируется как находящийся в группе риска.

Качество обученной модели оценивается на тестовом наборе данных с использованием метрик: точность, полнота и F1-мера. После валидации модель интегрируется в образовательный процесс, анализируя в реальном времени активность студентов. На определенном этапе (например, после первого месяца обучения) она определяет вероятность попадания каждого студента в группу риска. Результаты отображаются на дашборде для преподавателя, выделяя студентов, нуждающихся во внимании, что позволяет своевременно предложить консультации или дополнительные материалы.

Разработка и внедрение предиктивной модели на основе данных LMS Moodle является перспективным направлением развития аналитики обучения. Такой инструмент позволяет автоматизировать процесс мониторинга и перейти к персонализированной педагогической поддержке в Республике Беларусь. Раннее выявление студентов из группы риска дает возможность вовремя скорректировать их образова-

тельную траекторию, повысить мотивацию и, как следствие, улучшить общие показатели успеваемости и снизить процент отчисления. Дальнейшее развитие модели может включать анализ текстовых данных с форумов и эссе для более глубокого понимания трудностей студентов.

Литература

1. Тербушева, Е. А. Аналитический потенциал платформы Moodle для мониторинга качества персонифицированного обучения / Е. А. Тербушева, К. Р. Пиотровская // Общество. Коммуникация. Образование. – 2021. – Т. 12, № 4. – С. 19–34.
2. Искусственный интеллект для учебной аналитики и этапы педагогического проектирования: обзор решений / Е. А. Другова, И. И. Журавлева, У. С. Захарова [и др.] // Вопросы образования. – 2022. – № 4. – С. 107–153.

РАЗРАБОТКА БЭКЕНД-АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АКАДЕМИЧЕСКИХ РИСКОВ СТУДЕНТОВ

Т. Т. Гиоргадзе, П. О. Хвостюк, И. Е. Сипаков

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Представлена концепция бэкенда информационной системы, предназначенной для учета и анализа успеваемости студентов. Архитектура системы построена на базе микросервисного подхода с использованием стека технологий Java и Spring Framework, что обеспечивает высокую гибкость и масштабируемость. Центральным элементом системы является прогностический модуль, использующий интегральную модель оценки рисков для раннего выявления студентов, склонных к академической неуспеваемости. Модель основана на вычислении взвешенного композитного индекса, учитывающего ключевые образовательные метрики.

Ключевые слова: академические риски, предиктивный анализ, информационная система, успеваемость студентов, микросервисная архитектура, Java, Spring Framework.

BACKEND ARCHITECTURE DEVELOPMENT FOR A STUDENT ACADEMIC RISK PREDICTION SYSTEM

T. T. Giorgadze, P. O. Khvastsiuk, I. E. Sipakov

Vitebsk State University named after P. M. Masharov, Republic of Belarus

The article presents a backend concept for an information system designed for student performance tracking and analysis. The system architecture is based on a microservice approach using the Java and Spring Framework technology stack, which provides high flexibility and scalability. The core of the system is a predictive module that uses an integral risk assessment model for the early identification of students prone to academic failure. The model is based on calculating a weighted composite index that takes into account key educational metrics.

Keywords: academic risks, predictive analytics, information system, student performance, microservice architecture, Java, Spring Framework.

Повышение качества образования и снижение процента отчисления студентов являются приоритетными задачами для современных высших учебных заведений. Эффективным инструментом для достижения этих целей является внедрение информационных систем, способных не только собирать данные об успеваемости, но и прогнозировать потенциальные проблемы на ранних стадиях. Существующие подходы часто ограничиваются простым учетом оценок, не проводя комплексного анализа.

Цель работы – разработка концепции бэкенда для информационной системы, способной проводить предиктивный анализ академических рисков.

Для реализации поставленной задачи была спроектирована бэкенд-архитектура, основанная на микросервисной архитектуре. Такой подход позволяет разрабатывать и развертывать компоненты системы независимо друг от друга, обеспечивая отказоустойчивость и простоту масштабирования. Основные микросервисы включают: «Сервис данных студентов», «Сервис агрегации оценок» и «Сервис предиктивного анализа». Взаимодействие между сервисами осуществляется по протоколу REST API [1, 2].

Центральным компонентом является «Сервис предиктивного анализа», который реализует интегральную модель оценки рисков. Модель вычисляет для каждого студента композитный индекс риска (R) на основе трех ключевых нормализованных показателей:

- академическая успеваемость (P) – средневзвешенный балл студента, нормализованный в диапазоне от 0 до 1;
- своевременность выполнения заданий (T) – показатель, отражающий соблюдение сроков сдачи работ (рассчитывается как отношение числа вовремя сданных работ к их общему числу);
- вовлеченность в учебный процесс (E) – метрика, учитывающая активность студента на образовательной платформе (например, частота посещений, участие в обсуждениях);
- итоговый индекс риска (R) рассчитывается как взвешенная сумма инвертированных показателей (1):

$$P = wp(1 - P) + wt(1 - T) + we(E), \quad (1)$$

где wp , wt , we – весовые коэффициенты для каждого из показателей, определяемые эмпирическим путем на основе анализа исторических данных. Сумма коэффициентов равна единице (2):

$$wp + wt + we = 1. \quad (2)$$

На основе значения индекса R система присваивает студенту один из трех уровней риска:

- низкий ($R < 0,3$);
- средний ($0,3 \leq R < 0,6$);
- высокий ($R \geq 0,6$).

Эта информация в реальном времени поступает в личный кабинет преподавателя, позволяя ему своевременно принять меры для поддержки студента.

Предложенная архитектура и модель позволяют создать эффективный инструмент для проактивного управления учебным процессом. Внедрение подобной системы в образовательную среду способствует персонализации подхода к обучению, позволяет своевременно оказывать помощь отстающим студентам и, как следствие, способствует повышению общей академической успеваемости и снижению процента отчислений.

Литература

1. Скляров, В. П. Big Data в образовании как ресурс построения системы предиктивной аналитики / В. П. Скляров, А. А. Николаев, А. Г. Масленников // Концепт. – 2018. – № 6. – С. 1–10.
2. Котова, Е. Е. Прогнозирование успешности обучения в интегрированной образовательной среде с применением инструментов онлайн аналитики / Е. Е. Котова // Компьютерные инструменты в образовании. – 2019. – № 4. – С. 55–80.

РАЗРАБОТКА FRONT-END КОМПОНЕНТА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА И АНАЛИЗА УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ С МОДУЛЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ

П. О. Хвостюк, Т. Т. Гиоргадзе, И. Е. Сипаков

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Рассмотрены концепция и архитектура front-end компонента для информационной системы, предназначенной для анализа академической успеваемости студентов. Основное внимание уделяется созданию эффективного пользовательского интерфейса для визуализации данных и результатов работы предиктивной модели, выявляющей студентов из группы риска. Предлагаемая архитектура направлена на то, чтобы предоставить преподавателям и административному персоналу интуитивно понятный инструмент для мониторинга и своевременного педагогического вмешательства.

Ключевые слова: front-end, информационная система, анализ успеваемости, прогнозирование рисков, визуализация данных, React, дашборд.

DEVELOPMENT OF A FRONT-END COMPONENT FOR AN INFORMATION SYSTEM FOR STUDENT PERFORMANCE TRACKING AND ANALYSIS WITH A RISK PREDICTION MODULE

P. O. Khvastsiuk, T. T. Giorgadze, I. E. Sipakov

Vitebsk State University named after P. M. Masherov, Republic of Belarus

The article discusses the concept and architecture of a front-end component for an information system designed to analyze students' academic performance. The main focus is on creating an effective user interface for visualizing data and the results of a predictive model that identifies at-risk students. The proposed architecture aims to provide instructors and administrative staff with an intuitive tool for monitoring and timely pedagogical intervention.

Keywords: front-end, information system, performance analysis, risk prediction, data visualization, React, dashboard.

Внедрение информационных технологий в образовательный процесс является ключевым фактором его модернизации. Системы управления обучением (LMS) и сопутствующие аналитические платформы позволяют собирать огромные массивы данных об учебной активности студентов. В то время как методы искусственного интеллекта и машинного обучения обеспечивают создание мощных предиктивных моделей для выявления студентов, склонных к академической неуспеваемости, практическая ценность таких моделей напрямую зависит от способа представления результатов конечному пользователю – преподавателю. Неэффективный или перегруженный интерфейс может свести на нет преимущества самого точного прогноза.

Целью данной работы является разработка концептуальной модели front-end компонента, который служит мостом между сложной аналитической системой и педагогическим составом, преобразуя данные в ясные и действенные инсайты.

Предлагаемая архитектура front-end основана на современных веб-технологиях и принципах проектирования пользовательских интерфейсов (UI/UX) [1]. В качестве технологического стека предлагается использовать библиотеку React благодаря ее компонентному подходу, что обеспечивает гибкость и масштабируемость системы.

Проектируемый интерфейс включает в себя несколько ключевых модулей:

Информационная панель (дашборд). Это главный экран системы, предостав-

ляющий преподавателю сводную информацию по всем курируемым группам и курсам. Дашборд должен содержать следующие виджеты:

- сводная статистика: отображение ключевых показателей, таких как средний балл, процент успеваемости, общее количество студентов;
- список студентов в группе риска: Именной список студентов, для которых предиктивная модель определила высокую вероятность неуспеваемости (превышение порога вероятности $R \geq 0,6$). Это позволяет сфокусировать внимание на тех, кто нуждается в помощи в первую очередь;
- динамика успеваемости: графики, показывающие изменение среднего балла или других метрик во времени (например, по неделям семестра).

Персональная страница студента. Углубленное представление данных по каждому отдельному студенту, доступное при переходе с дашборда. Эта страница является основным инструментом для детального анализа и включает:

- академические показатели: таблицы и графики с оценками по тестам, практическим и лабораторным работам;
- поведенческие метрики: визуализация данных, полученных из LMS, таких как частота входов в систему, время, проведенное в курсе, и активность на форумах. Эти данные служат предикторами для модели;
- индикатор риска: отображение итоговой вероятности попадания в группу риска, рассчитанной backend-моделью. Для повышения интерпретируемости рядом могут быть указаны 2–3 ключевых фактора, которые внесли наибольший вклад в прогноз (например, «низкая посещаемость лекций», «пропуски сроков сдачи заданий»).

Инструменты для взаимодействия. Для перехода от пассивного наблюдения к проактивной поддержке интерфейс должен включать функционал для оперативной связи со студентом [2]. На странице студента размещаются кнопки, позволяющие:

- отправить персонализированное уведомление;
- назначить консультацию;
- предложить дополнительные учебные материалы.

Валидация и интеграция. Front-end компонент получает данные от backend через REST API. Все данные передаются в формате JSON. Front-end в реальном времени анализирует эти данные и отображает их на дашборде.

Предложенная концепция front-end компонента позволяет превратить сложную предиктивную модель в практический инструмент для ежедневного использования в образовательных учреждениях. Визуализация данных и рисков помогает автоматизировать процесс мониторинга и способствует переходу к персонализированной педагогической поддержке, что является перспективным направлением развития аналитики обучения.

Раннее и наглядное информирование преподавателя о потенциальных проблемах у студентов дает возможность своевременно скорректировать образовательный процесс, повысить мотивацию обучающихся и, как результат, улучшить общие показатели успеваемости. Дальнейшее развитие интерфейса может включать разработку мобильной версии и интеграцию с календарями и мессенджерами для более тесного взаимодействия.

Литература

1. Урбанович, М. В. Принципы разработки пользовательских интерфейсов / М. В. Урбанович, К. А. Ковалева // Современные инновации, системы и технологии. – 2023. – Т. 3, № 4. – С. 363–374.
2. Сергеев, С. Ф. Обучающая коммуникация и интерфейс в компьютерных образовательных системах и средах / С. Ф. Сергеев, А. С. Сергеева // Открытое образование. – 2014. – № 5 (106). – С. 41–48.

ИНТЕГРАЦИЯ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ В TELEGRAM-БОТ ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗУЧЕНИЯ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА

И. А. Мацук, И. Е. Сипаков

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Предложена концептуальная модель Telegram-бота для изучения английского языка, основанная на принципах адаптивного обучения. Модель использует алгоритм динамической оценки уровня знаний пользователя для персонализированной подачи учебного контента. Описаны ключевые этапы разработки – от создания профиля пользователя до реализации механизма подбора материалов.

Ключевые слова: адаптивное обучение, Telegram-бот, персонализация, изучение английского языка, образовательные технологии, алгоритм подбора контента, мобильное обучение.

INTEGRATION OF ADAPTIVE ALGORITHMS INTO A TELEGRAM BOT FOR PERSONALIZING THE ENGLISH LANGUAGE LEARNING PROCESS

I. A. Matsuk, I. E. Sipakov

Vitebsk State University named after P. M. Masherov, Republic of Belarus

The article proposes a conceptual model of a Telegram bot for learning English based on the principles of adaptive learning. The model uses an algorithm for dynamic assessment of the user's knowledge level for the personalized delivery of educational content. The key development stages are described: from creating a user profile to implementing a content selection mechanism.

Keywords: adaptive learning, Telegram bot, personalization, English language learning, educational technologies, content selection algorithm, mobile learning.

В условиях цифровизации образования мобильные приложения и чат-боты становятся ключевыми инструментами для самостоятельного изучения иностранных языков. Платформа Telegram, благодаря своему открытому API, предоставляет широкие возможности для создания образовательных ботов. Однако большинство существующих решений предлагают статичный, универсальный контент, не учитывающий индивидуальный уровень и прогресс обучающегося. Это приводит к снижению мотивации и эффективности учебного процесса. Применение адаптивных алгоритмов позволяет решить данную проблему, создавая персонализированную образовательную среду, которая подстраивается под каждого конкретного пользователя.

Цель работы – разработка концептуальной модели Telegram-бота, способного в реальном времени адаптировать учебную программу по английскому языку на основе динамической оценки знаний пользователя.

Предлагаемая модель основана на модульной архитектуре и включает в себя следующие ключевые компоненты:

- модуль профилирования пользователя;
- база учебного контента;
- адаптивный алгоритм подачи материала;
- интеграция и реализация.

На начальном этапе пользователь проходит краткое тестирование для определения его исходного уровня владения языком по шкале CEFR (A1–C2). Результаты

сохраняются в его профиле в базе данных.

Затем создается структурированная база данных, содержащая учебные материалы (лексические единицы, грамматические правила, упражнения), каждый из которых имеет теги: уровень сложности (D), тема, тип (например, «лексика», «грамматика», «аудирование») [1, 2].

Для оценки текущего уровня знаний пользователя (R) по каждой теме предлагается использовать модифицированный подход, схожий с рейтинговой системой Эло, применяемой в шахматах. Уровень знаний пользователя обновляется после выполнения каждого задания по формуле (1):

$$R_{n+1} = R_n + K(S - E), \quad (1)$$

где R_{n+1} – новый рейтинг знаний пользователя; R_n – текущий рейтинг; K – коэффициент, определяющий скорость изменения рейтинга (например, $K = 0,4$); S – результат выполнения задания (1 – правильно, 0 – неправильно); E – ожидаемый результат, который вычисляется на основе текущего рейтинга пользователя и сложности задания D по логистической функции (2):

$$E = \frac{1}{1 + 10^{(D - R_n)/400}}. \quad (2)$$

Таким образом, если пользователь с низким рейтингом правильно выполняет сложное задание, его рейтинг значительно возрастает. И наоборот, ошибка в простом задании ведет к существенному снижению рейтинга. Бот подбирает следующее задание со сложностью D , максимально приближенной к текущему рейтингу пользователя R_n .

Модель реализуется с использованием языка программирования Python и библиотеки python-telegram-bot. В качестве системы управления базой данных может быть использована PostgreSQL для хранения профилей пользователей и учебного контента.

Разработанная модель позволяет перейти от статической к динамической и персонализированной системе обучения английскому языку в среде Telegram. Алгоритм адаптивной подачи материала, основанный на постоянной оценке уровня знаний, обеспечивает поддержание оптимального уровня сложности для каждого пользователя, что способствует повышению мотивации и эффективности запоминания. Такой инструмент автоматизирует процесс формирования индивидуальной образовательной траектории и является перспективным направлением для развития цифровых образовательных технологий в Республике Беларусь. Дальнейшее развитие проекта может включать интеграцию модулей распознавания речи для практики произношения и использования нейросетевых моделей для генерации контекстуальных заданий.

Л и т е р а т у р а

1. Джурдженов, Т. С. Применение технологии веб-квест в процессе формирования иноязычной коммуникативной компетенции: 1-08 80 02 «Теория и методика обучения и воспитания (в области иностранного языка)» : магистер. дис. / Т. С. Джурдженов. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2019. – 90 с.
2. Козлова, В. В. Контроль и оценка учебной деятельности младших школьников (на материале иностранного языка): 1-08 80 06 «Общая педагогика, история педагогики и образования» : магистер. дис. / В. В. Козлова. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2011. – 50 с.

МЕСТО ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

В. В. Гончарова, Е. М. Янкевич

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Рассмотрены современные подходы в образовательном процессе общего среднего образования с целью повышения качества обучения в Республике Беларусь. Проанализированы позиции страны в «Глобальном инновационном индексе 2024» по показателям доступа и использования информационно-коммуникационных технологий. Приведены статистические данные о компьютеризации учреждений образования и доступа к сети Интернет.

Ключевые слова: информационные технологии, цифровизация образования, ИКТ.

THE PLACE OF INFORMATION TECHNOLOGY IN THE EDUCATIONAL PROCESS

V. V. Goncharova, E. M. Yankevich

Vitebsk State University after P. M. Masherov, Republic of Belarus

This article examines modern approaches to the educational process in general secondary education with the aim of improving the quality of education in the Republic of Belarus. It analyzes the country's position in the Global Innovation Index 2024 based on indicators of access and use of information and communications technology (ICT). Statistical data on the computerization of educational institutions and internet access are provided.

Keywords: information technology, digitalisation of education, ICT.

Республика Беларусь следует современным изменениям в экономике и социальной сфере. Согласно Концепции развития системы образования Республики Беларусь до 2030 г., внимание уделяется формированию современного, гибкого и конкурентоспособного образовательного пространства, способного своевременно и эффективно реагировать на изменения цифрового пространства [1]. Актуальность исследования заключается в следующем: в стремительно развивающемся информационном обществе система образования должна не только осваивать современные инструменты, но и формировать у учащихся цифровую грамотность и навыки критического мышления. Цель работы – определить существующие вызовы и возможности, сформировать направление дальнейшего развития данной сферы.

Современная система образования Республики Беларусь активно использует цифровые технологии, что подтверждается результатами международных и национальных рейтингов. Согласно «Глобальному инновационному индексу 2024», подготовленному Всемирной организацией интеллектуальной собственности (WIPO), Беларусь показывает устойчивое развитие в сфере информационно-коммуникационных технологий (далее – ИКТ) [2].

По показателю «Доступ к ИКТ» страна заняла 38-е место среди 133 государств, что говорит о достаточном уровне развития телекоммуникационной инфраструктуры, широком охвате интернет-сервисами, а также доступности цифровых технологий для населения, образовательных и государственных учреждений. Этот показатель основывается в том числе на цифровой инклюзивности, обеспечивающий равный и безопасный доступ для всех людей, независимо от их возраста, способностей, социально-экономического положения и физического состояния. По показате-

лю «Использование ИКТ» – 55-е место среди 133 государств. Это демонстрирует, что цифровые технологии применяются активно, но неравномерно и отражает, насколько эффективно цифровая инфраструктура используется в разных сферах жизнедеятельности общества.

Фактическим подтверждением развития технологической базы образовательной сферы являются официальные статистические данные. Динамика оснащения учреждений общего среднего образования цифровыми технологиями за два года представлена в таблице.

Оснащение учреждений общего среднего образования цифровыми технологиями в Республике Беларусь за два учебных года

Показатели	2023/24 гг.	2024/25 гг.	Темп роста, %
Учреждения, имеющие компьютерные классы, шт.	2573	2580	100,27
Учреждения, имеющие доступ к сети Интернет, шт.	2869	2848	99,27
Количество ПК, используемых в образовательном процессе, шт.	86973	89900	103,36
Число компьютерных классов в расчете на 100 учреждений, шт.	146	151	105,48

Источник: составлено автором на основе статистических данных [3].

Данные расчетов позволяют утверждать следующее: количество учреждений, имеющих компьютерные классы, и учреждений с доступом к сети Интернет осталось практически неизменным; наблюдается положительная динамика по показателям: общее число ПК, используемых в образовательном процессе (увеличение на 3,36 % или на 2927 ед.), количество компьютерных классов в расчете на 100 учреждений (выросло на 5,48 % или на 5 ед.); рост количества ПК и компьютерных классов на фоне стабильного числа школ является косвенным признаком повышения доступности технологий для учащихся и преподавателей.

Таким образом, проанализирована связь образовательной среды и технологий. В стране достигнут видимый прогресс в оснащении материально-технической базы. Это подтверждается высокими позициями в международных рейтингах и практически полной оснащенностью учреждений общего среднего образования компьютерными классами и доступом к сети Интернет. Исследование показало и проблемы данного процесса: разрыв между показателями доступа к ИКТ (38-е место) и их использования (55-е место), а также неравномерность применения цифровых технологий в образовании.

На наш взгляд, для дальнейших достижений в процессе цифровизации образования необходимо:

- осуществить переход от наращивания инфраструктуры к ее качественному использованию;
- педагогам нужно постоянно совершенствовать свои цифровые компетенции;
- развивать цифровой контент, используемый в образовании;
- интегрировать цифровые технологии в ежедневный процесс обучения;
- формировать цифровую грамотность и цифровую гигиену.

Литература

1. Концепция развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года. – Минск, 2020. – URL: <https://adu.by/images/2021/12/koncept-razv-sist-obrazov.pdf> (дата обращения: 06.10.2025).

2. Рейтинги ИКТ // Министерство связи и информатизации республики Беларусь. – URL: <https://www.mpt.gov.by/ru/rejtingi-ikt-0> (дата обращения: 02.10.2025).
3. Информационное общество в Республике Беларусь, 2025: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2025. – URL: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/in-formatsionno-telekommunikatsionnye-tehnologii/statisticheskie-izdaniya/index_152033 (дата обращения: 25.09.2025).

ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

М. Н. Лавринович, Е. М. Янкевич

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Статья посвящена проблеме обработки статистической информации, представленной в виде электронных таблиц и PDF-документов, и поиску путей ее решения. Рассмотрены трудности, связанные с низкой совместимостью данных продолжительных динамических рядов и сложностью их автоматизированной обработки. Анализируются техническая реализация, преимущества и компромиссы каждого из подходов с точки зрения сложности разработки и уровня автоматизации для конечного пользователя.

Ключевые слова: статистическая информация, совместимость, стандартизация, программное обеспечение, автоматизация.

APPROACHES TO AUTOMATED ANALYSIS PROCESSING STATISTICS

E. M. Yankevich, M. N. Lavrinovich

Vitebsk State University after P. M. Masherov, Republic of Belarus

The article addresses the problem of processing statistical information presented in the form of spreadsheets and PDF documents and explores potential solutions. The challenges associated with low compatibility of data from different periods and the complexity of its automated processing are considered. The technical implementation, advantages, and compromises of each approach are analyzed from the perspective of development complexity and the level of automation for the end user.

Keywords: statistical information, compatibility, standardization, software, automatization.

С каждым годом Национальный статистический комитет Республики Беларусь совершенствует базу данных. Работает интерактивная информационно-аналитическая система, которая позволяет производить экспорт информации для обработки данных в различные форматы от CSV до SDMX-CSV [1, 2]. Однако, если учеными осуществляются дополнительные запросы в статистические органы с детализацией информации по районам, у которых представление информации постоянно совершенствуется и выделяются уже не только районы, но и районные центры, что осложняет сопоставление. Цель – исследовать возможности и подходы к обработке информации программными средствами.

Исследование динамики показателей за более продолжительное количество лет предполагает обработку показателей представленных в единообразных показателях и на основе одинаковой методики их расчета, что на деле не всегда так. Нами предлагаются два взаимодополняющих возможных решения данной проблемы. Первое заключается во введении и соблюдении стандартов, обеспечивающих наибольшую обратную совместимость статистических отчетов, и, соответственно приемлемую

скорость обработки содержащейся в них информации без использования продвинутого функционала программных средств. Такое решение видится нам оптимальным, поскольку позволяет заинтересованным лицам быстро работать с уже существующими программными средствами ознакомившись лишь с базовым функционалом этих средств и не прибегая к установке и изучению дополнительного программного обеспечения [3]. Тем не менее введение подобных стандартов подразумевает трудности, связанные с их разработкой, внедрением на тех или иных уровнях и адаптацией уже существующих объемов структурированных данных к новому виду. Однако соблюдение даже не слишком строгих правил структуризации и оформления статистической информации при сборе ее в сводки и таблицы, может значительно упростить реализацию второго возможного решения. Оно, в свою очередь, заключается в создании программного обеспечения, ориентированного либо на приведение информации к единому стандарту, либо непосредственно на анализ и экспорт готовой информации в таблицу в приемлемом виде.

Более того, с точки зрения технической реализации, первый вариант представляет собой конвейер данных, который включает этапы извлечения информации из разнородных источников (таблицы разных лет, PDF-документы с использованием OCR), ее трансформации с помощью алгоритмов для нормализации структуры и исправления несоответствий, и последующей загрузки в унифицированный формат. Для пользователя же этот сложный технический процесс сводится к интуитивно понятным действиям – выбору исходных файлов и нажатию кнопки «Конвертировать», что делает его простым и доступным для специалистов без глубоких технических знаний.

Второй вариант, программное обеспечение для непосредственного анализа и представления информации, технически является более комплексным решением, так как включает в себя функционал первого и дополняет его мощным вычислительным модулем и интерфейсом визуализации. Такая система не только приводит данные к общему виду, но и автоматически строит сводные отчеты и диаграммы. С точки зрения простоты использования этот подход предлагает наивысшую степень автоматизации, где задача пользователя сводится лишь к загрузке исходных данных и выбору типа отчета, полностью абстрагируя его от всех промежуточных этапов обработки.

Как видно, оба программных подхода, являются взаимодополняющими, предлагают разные компромиссы между сложностью разработки и уровнем автоматизации для конечного пользователя, при этом оба они служат одной цели – преодолению хаоса ретроспекции статистических данных.

Таким образом, преодоление проблем обработки представленной органами статистики данных требует комплексного подхода. Наиболее эффективным путем представляется синергия двух направлений: разработки унифицированных стандартов оформления отчетности и создания специализированного программного обеспечения. Стандартизация закладывает основу для долгосрочной упорядоченности данных, в то время как программные решения, будь то инструменты для конвертации или комплексные аналитические платформы, предлагают практические средства для интеграции и преодоления существующего хаоса здесь и сейчас. Ключевым критерием успеха обоих подходов является ориентация на конечного пользователя, обеспечивающая доступность технологий без необходимости обладания глубокими техническими знаниями, что в конечном итоге способствует повышению эффективности и скорости работы со статистической информацией.

Литература

1. Сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь – URL: <https://www.belstat.gov.by/> (дата обращения: 10.10.2025).

2. База статистических данных ИАС БД – URL: <https://dataportal.belstat.gov.by/osids/home-page> (дата обращения: 05.10.2025).
3. Лавринович, М. Н. Возможности интеграции интерактивной информационно-аналитической системы статистической информации / М. Н. Лавринович // Молодость. Интеллект. Инициатива : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов, Витебск, 25 апр. 2025 г. : в 2 т. / Витеб. гос. ун-т ; редкол.: Е. Я. Аршанский (гл. ред.) [и др.]. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2025. – Т. 2. – С. 61–62.

МЕСТО ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭФФЕКТИВНОЙ АДАПТАЦИИ БАЗ ДАННЫХ

В. С. Петроченко, Е. М. Янкевич

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Рассмотрено, как современные информационные технологии позволяют организациям эффективно адаптировать свои базы данных, чтобы оставаться конкурентоспособными в условиях быстро меняющегося рынка. Анализируются ключевые инструменты, методы и подходы, обеспечивающие гибкость, масштабируемость, высокую производительность и оптимизированное использование ресурсов баз данных.

Ключевые слова: базы данных, автоматизация, информационные технологии, производительность, масштабируемость.

THE PLACE OF INFORMATION TECHNOLOGY IN EFFECTIVE DATABASE ADAPTATIONS

V. S. Petrochenko, E. M. Yankevich

Vitebsk State University named after P. M. Masherov, Republic of Belarus

The article examines how modern information technologies allow organizations to effectively adapt their databases in order to remain competitive in a rapidly changing market. Key tools, methods, and approaches that provide flexibility, scalability, high performance, and optimized use of database resources are analyzed.

Keywords: databases, automation, information technology, productivity, scalability.

Сложность и динамичность современных бизнес-процессов предъявляют повышенные требования к базам данных, вследствие чего их адаптация часто является важной и ресурсоемкой задачей. Целью настоящего исследования является систематизация и анализ ключевых информационных технологий, обеспечивающих адаптацию баз данных, для повышения их гибкости, масштабируемости и общей эффективности. В условиях нарастающей конкуренции и ускорения темпов изменений успешность организаций напрямую зависит от способности оперативно адаптировать IT-инфраструктуру. Обеспечение эффективной адаптации баз данных, как критически важного компонента этой инфраструктуры, становится неотъемлемым условием для поддержания устойчивого развития и достижения стратегических целей бизнеса, что подтверждает актуальность исследования.

В процессе адаптации баз данных применяется широкий спектр информационно-технологических инструментов, охватывающий системы управления базами данных (СУБД), облачные платформы, средства автоматизации и аналитические комплексы. Данные технологии обеспечивают возможность обработки больших объемов информации, оптимизацию операционных процессов, автоматизацию рутинных задач и достижение необходимого уровня масштабируемости, что, в свою

очередь, способствует повышению оперативности реагирования на динамические изменения внешней среды и улучшению показателей производительности.

В рамках исследования проблематики эффективной адаптации баз данных были рассмотрены практические кейсы, демонстрирующие применение современных информационных технологий. Анализ кейсов позволил выявить ключевые технологии, играющие определяющую роль в обеспечении гибкости, масштабируемости и общей эффективности управления данными.

Исследование показывает, что облачные технологии предоставляют масштабируемую и гибкую инфраструктуру для хранения и обработки данных, позволяя организациям динамически адаптировать ресурсы в соответствии с текущими потребностями и обеспечивать высокую доступность информации. СУБД представляют собой фундаментальную основу для структурированного хранения, эффективной обработки и оперативного извлечения данных, обеспечивая их целостность и контролируемый доступ [1].

Более того, инструменты автоматизации обеспечивают автоматизацию рутинных операций, связанных со сбором, вводом и обработкой данных, минимизируя вероятность ошибок, повышая производительность и высвобождая ресурсы для решения более сложных задач. Аналитические системы предназначены для анализа больших объемов данных с целью выявления скрытых закономерностей, проверки гипотез и обеспечения поддержки принятия стратегически важных решений, что позволяет организациям оперативно реагировать на изменения внешней среды. Пакеты прикладных программ позволяют адаптироваться для решения конкретных задач и расширяющие функциональность базовых ИТ-инструментов, повышая тем самым эффективность их применения.

Эффективность внутренней оптимизации базы данных определяется степенью адаптации методов к специфике системы. Нормализация, уменьшая избыточность, может снижать производительность при обработке больших данных из-за операций соединения. Чрезмерная нормализация, усложняя структуру, повышает риск ошибок проектирования. Индексация, ускоряя одни операции, требует обоснованного анализа из-за занимаемого дискового пространства и влияния на операции вставки, обновления и удаления [2].

Нами выявлено, что управление размером буфера ввода-вывода также является важным аспектом внутренней оптимизации. В системах, где преобладают операции чтения, целесообразно увеличение размера буфера, в то время как при преобладании операций записи рекомендуется его уменьшение. Настройка параметров СУБД и оптимизация запросов также являются критически важными компонентами внутренней оптимизации.

Учитывая возрастающую сложность современных информационных систем и экспоненциальный рост объемов обрабатываемой информации, эффективная организация работы с базами данных становится необходимостью для обеспечения производительности и устойчивости системы. Ключевым аспектом эффективного управления базами данных является тщательное проектирование схемы данных, включающее выбор оптимальных типов данных, определение логических связей между таблицами и учет перспектив масштабирования. Не менее важным представляется регулярное тестирование системы на нагрузку и мониторинг ее функционирования с целью выявления «узких мест» и потенциальных проблем, а также анализ журналов работы и контроль за потреблением системных ресурсов.

Таким образом, для достижения оптимальной производительности и надежности баз данных необходимо сочетание стратегического планирования, непрерывного

мониторинга, обеспечения безопасности и постоянного повышения квалификации специалистов, при этом следует помнить, что конкретные методы и подходы к оптимизации могут варьироваться в зависимости от используемой системы управления базами данных.

Литература

1. Касимова, Т. Д. Информационные технологии в базах данных: роль и особенности применения / Т. Д. Касимова, М. Б. Сыдыкова, З. А. Жапарова // Бюллетень науки и практики. – 2023. – № 6. – С. 483–487.
2. Как оптимизировать работу с базами данных: основные методы и рекомендации: [сайт] – URL: <https://eurobyte.ru/articles/kak-optimizirovat-rabotu-s-bazami-dannykh-osnovnye-metody-i-rekomendacii/> (дата обращения: 17.09.2025).

ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ

А. Р. Тимофеева, Е. М. Янкевич

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Статья посвящена исследованию влияния информационных технологий на эффективность процессов в контексте циркулярной экономики. Рассматривается, каким образом информационные технологии могут способствовать повышению эффективности использования ресурсов, сокращению объемов отходов и минимизации негативного воздействия на окружающую среду, тем самым обеспечивая переход к более устойчивым моделям производства и потребления.

Ключевые слова: информационные технологии, циркулярная экономика, экономика замкнутого цикла, устойчивое развитие.

THE IMPACT OF INFORMATION TECHNOLOGY ON THE EFFICIENCY OF CIRCULAR ECONOMY PROCESSES

A. R. Timofeeva, E. M. Yankevich

Vitebsk State University named after P. M. Masherov, Republic of Belarus

This article is devoted to the study of the impact of information technology on the efficiency of processes in the context of a circular economy. It examines how information technologies can help improve resource efficiency, reduce waste, and minimize negative environmental impacts, thereby ensuring a transition to more sustainable production and consumption patterns.

Keywords: information technology, circular economy, closed-loop economics, sustainable development.

Информационные технологии широко применяются в различных сферах деятельности, в том числе оказывая влияние и на эффективность циркулярной экономики. Целью работы является определение и систематизация механизмов влияния информационных технологий на повышение эффективности процессов циркулярной экономики. Актуальность исследования определяется необходимостью эффективно использовать информационные технологии для решения задач устойчивого развития в контексте циркулярной экономики, что требует комплексного анализа их

влияния на различные процессы, обеспечивающие оптимизацию ресурсов и минимизацию отходов.

В контексте циркулярной экономики информационные технологии выступают в качестве катализатора повышения эффективности соответствующих процессов, оптимизируя каждый этап жизненного цикла продукта [1]. Обеспечивая сбор, анализ и обмен данными, информационные технологии создают основу для принятия обоснованных решений, направленных на более эффективное использование ресурсов, минимизацию образования отходов и восстановление природного капитала на различных уровнях – от микроуровня предприятий до макроуровня национальных экономик.

Исследование показывает, что информационные технологии оказывают многоаспектное влияние на эффективность процессов циркулярной экономики, обеспечивая оптимизацию использования ресурсов, развитие замкнутых цепей поставок, стимулирование новых бизнес-моделей, совершенствование управления отходами и переработки, а также улучшение взаимодействия с потребителем [2].

На основе этого нами выявлены пять ключевых аспектов влияния информационных технологий на процессы экономики замкнутого цикла:

1. Применение технологий Интернета вещей (IoT) обеспечивает сбор данных о происхождении, составе и энергоёмкости производства. Анализ этих данных с применением больших данных и искусственного интеллекта (ИИ) позволяет оптимизировать потребление ресурсов, а прогнозирование с использованием ИИ – оптимизировать объёмы производства и минимизировать отходы.

2. Технологии распределённого реестра, такие как блокчейн, обеспечивают создание прозрачных и отслеживаемых цепей поставок, позволяя верифицировать происхождение материалов, контролировать качество переработанного сырья и повышать доверие потребителей к циркулярным процессам. Интеллектуальные логистические системы, в свою очередь, оптимизируют маршруты сбора отходов и доставки переработанного сырья, что приводит к снижению транспортных издержек и сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

3. Информационно-технологические платформы обеспечивают трансформацию к модели «продукт как услуга», увеличивая жизненный цикл продукции посредством аренды или совместного использования. Цифровые платформы, функционируя как электронные торговые площадки для вторичного сырья, формируют эффективные рынки переработанных ресурсов, обеспечивая взаимодействие генерирующих отходов и потребляющих вторичные материалы организаций.

4. Роботизированные системы, оснащенные компьютерным зрением и искусственным интеллектом, автоматизируют процесс сортировки отходов, повышая эффективность и точность переработки. Технология 3D-печати способствует ремонту и кастомизации продуктов, позволяя создавать необходимые детали по запросу и снижая количество отходов, а также обеспечивая экономию материалов за счет использования только необходимого количества для производства.

5. Приложения и веб-сайты предоставляют потребителям информацию о правильной утилизации отходов, а также о товарах, произведенных из вторичного сырья, что повышает экологическую осведомленность и стимулирует их участие в циркулярных процессах. Умная упаковка, оснащенная датчиками или QR-кодами, предоставляет потребителям информацию о жизненном цикле продукта, его составе и инструкциях по переработке.

Основываясь на анализе данных, выявленных аспектах и учитывая задачи устойчивого развития, можно заключить, что информационные технологии выступают ключевым инструментом для практической реализации принципов циркулярной

экономики. Обеспечивая сбор, обработку и распространение информации на всех этапах жизненного цикла продукции, информационные технологии способствуют формированию более эффективной и устойчивой модели хозяйствования, ориентированной на минимизацию воздействия на окружающую среду и рациональное использование ресурсов.

Линейные модели производства, являющиеся наследием предшествующих технологических эпох, в современных условиях демонстрируют ряд существенных ограничений, в частности, обуславливают эскалацию экологических проблем. Новая промышленная революция призвана нивелировать накопленный негативный эффект. Циркулярная экономика, обеспечивающая непрерывный оборот технических и биологических материалов в производственных процессах и направленная на сохранение ценных природных ресурсов, представляет собой один из ключевых инструментов для решения проблемы загрязнения и обеспечения устойчивого экологического будущего.

Л и т е р а т у р а

1. Шкарупета, Е. В. Цифровая циркулярная экономика: концепция, модель, стратегии, фреймворк, технологии / Е. В. Шкарупета, Е. А. Ильина // Организатор производства. – 2022. – № 4. – С. 9–17.
2. Кондратьева, Я. Э. Инструменты и методы внедрения циркулярной экономики / Я. Э. Кондратьева, Н. Р. Амирова // Постсоветский материк. – 2022. – № 3. – С. 100–118.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДОСТУПА К РАСПИСАНИЮ ЗАНЯТИЙ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ

А. С. Лисовский, Е. М. Янкевич

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Рассмотрена проблема неэффективного доступа к расписанию занятий в вузах. Представлена разработка кроссплатформенного мобильного приложения, способного агрегировать, структурировать и персонализировать данные из различных источников. Описаны ключевые технологические решения и функциональные возможности, а также оценена практическая значимость продукта.

Ключевые слова: мобильное приложение, оптимизация процессов, образовательные технологии, парсинг данных, React Native, Kotlin, виджет, расписание занятий.

DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL MOBILE APPLICATION TO OPTIMIZE ACCESS TO CLASS SCHEDULES IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

A. S. Lisovskiy, E. M. Yankevich

Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Republic of Belarus

The article addresses the problem of inefficient access to university class schedules. It presents the development of a cross-platform mobile application capable of aggregating, structuring, and personalizing data from various sources. Key technological solutions and functional features are described, and the practical significance of the product is assessed.

Keywords: Mobile application, process optimization, educational technologies, data parsing, React Native, Kotlin, widget, class schedule.

Цифровая трансформация является ключевым вектором развития современной системы высшего образования. Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, в 2024 г. 100 % организаций в сфере образования использовали широкополосный доступ в интернет, что свидетельствует о высоком уровне технологической готовности к внедрению инновационных цифровых сервисов [1]. Однако, несмотря на это, доступ к базовой учебной информации, в частности к расписанию занятий, во многих вузах остается неоптимальным. Нами проведены исследования систем предоставления расписания в Гомельском государственном техническом университете имени П. О. Сухого (ГГТУ), Витебском государственном технологическом университете (ВГТУ) и МИТСО показал, что они преимущественно основаны на статичных веб-страницах или объемных файлах, что создает барьеры для пользователей и ведет к нерациональным временным затратам. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью преодоления этих барьеров путем создания удобного и персонализированного инструмента.

В качестве основного инструмента для разработки был выбран кроссплатформенный фреймворк React Native. Эта технология позволяет использовать единую кодовую базу на JavaScript для создания приложений под операционные системы iOS и Android, что сокращает время и ресурсы на разработку. Для реализации элементов, требующих тесной интеграции с операционной системой, в частности виджета для главного экрана, был использован язык Kotlin (для платформы Android). Интеграция нативного модуля с основной частью приложения осуществлялась через стандартные механизмы React Native Bridge [2].

Источниками данных для приложения служат разнородные форматы, предоставляемые вузами: от стандартных Excel-файлов до HTML-страниц. Для работы с форматами нами разработан универсальный алгоритм парсинга, который производит чтение и синтаксический анализ структуры документа. Алгоритм идентифицирует ключевые сущности (дни недели, время, номера групп, названия дисциплин, ФИО преподавателей) и преобразует неструктурированные табличные данные в упорядоченный массив объектов в формате JSON. Эта модель данных является унифицированной основой для всех дальнейших операций в приложении.

Результатом работы стало полнофункциональное мобильное приложение, адаптированное под нужды студентов и преподавателей. Ключевой особенностью является ролевая модель доступа. После выбора роли («студент» или «преподаватель») пользователь получает доступ к персонализированному интерфейсу, отображающему только релевантную для него информацию.

Более того, основным элементом, обеспечивающим оптимизацию, является виджет для главного экрана. Он в фоновом режиме обращается к сохраненным в приложении данным и отображает актуальное расписание на текущий день, что позволяет пользователю получать информацию за несколько секунд, не открывая приложение. Сравнительный анализ подтверждает, что время, необходимое для получения данных о следующем занятии, сокращается с 1–3 минут (ручной поиск в файле) до нескольких секунд (взгляд на виджет). Это снижает когнитивную нагрузку и исключает вероятность ошибки при ручном поиске. Кроме того, реализован офлайн-доступ к ранее загруженному расписанию, что обеспечивает его доступность независимо от наличия интернет-соединения. Предложенное решение эффективно трансформирует рутинный и неэффективный процесс в быстрый, удобный и персонализированный.

В ходе исследования была успешно решена задача оптимизации доступа к учебному расписанию путем создания универсального мобильного приложения. Разработанный продукт демонстрирует высокую эффективность применения современных

кроссплатформенных технологий для улучшения качества повседневной жизни студентов и преподавателей. Практическая значимость работы заключается в создании готового, масштабируемого инструмента, который может быть легко адаптирован для использования на факультетах и в учебных заведениях со схожей системой предоставления расписания. Перспективы дальнейшего развития проекта включают автоматизацию загрузки расписания с сервера университета, реализацию системы уведомлений об изменениях и разработку аналогичного функционала для платформы iOS.

Литература

1. Информационное общество в Республике Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2024. – URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/9be/-bw58kf25iyvf501hg5ggffbiroi4haqa.pdf> (дата обращения: 13.10.2025).
2. Native Modules Introduction // React Native: official documentation. – URL: <https://reactnative.dev/docs/native-modules-intro> (дата обращения: 13.10.2025).

РАЗРАБОТКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ИИ-АССИСТЕНТА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ

В. А. Буюевич, Т. В. Буюевич

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

В ходе исследования была разработана модель ИИ-ассистента для изучения физики, ориентированного не на подачу готовых решений, а направленного на развитие аналитических навыков, понимание законов природы. Выдвинута и подтверждена гипотеза, что качество взаимодействия с ИИ определяется не мощностью модели, а глубиной и научной строгостью системного промпта – набора инструкций, задающих роль, стиль, логику и методологию поведения ассистента.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровой помощник, промпт, ИИ-ассистент, процесс обучения.

DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL AI ASSISTANT FOR STUDYING PHYSICS

V. A. Buyevich, T. V. Buyevich

Vitebsk State University named after P. M. Masharov, Republic of Belarus

During the study, a model of an AI assistant for studying physics was developed, focused not on providing ready-made solutions, but on developing analytical skills and understanding the laws of nature. A hypothesis has been put forward and confirmed that the quality of interaction with AI is determined not by the power of the model, but by the depth and scientific rigor of the system prompt – a set of instructions that define the role, style, logic, and methodology of the assistant's behavior.

Keywords: artificial intelligence, digital assistant, prompt, AI assistant, learning process.

Разработка промпта является центральной задачей при создании образовательного ИИ-ассистента. При правильно сконструированном промпте ИИ-ассистент способен генерировать объяснения, эквивалентные по качеству тем, которые дает опытный преподаватель, и тем самым эффективно способствовать формированию физического мышления.

Цель работы – продемонстрировать возможность создания методически обоснованного ИИ-ассистента, способного формировать у обучающихся системное понимание физических явлений и устойчивые навыки решения задач любого уровня

сложности.

Для достижения цели поставлены следующие задачи: разработать системный промпт, определяющий роль ИИ как консультанта по физике; обеспечить включение в каждый ответ четкой структуры, соответствующей этапам физического анализа; заложить в промпт принципы конструктивистского обучения, чтобы способствовать развитию не только знаний, но и понимания, анализа и рефлексии; научить ассистента объяснять физический смысл законов, используя аналогии и примеры из жизни; создать условия, при которых ИИ не дает готовых ответов, а направляет к самостоятельному построению логической цепочки рассуждений [1].

Объектом исследования выступает процесс обучения физике, а предметом – структура и функциональность системного промпта, как ключевого элемента управления качеством образовательного взаимодействия.

В качестве базовой выбрана генеративная модель Qwen3-Next-80B-A3B, рекомендованная ГИАЦ Минобразования РБ [2]. Разработанный промпт структурирует объяснение по принципу «...анализ условия → физический смысл → математическая модель → интерпретация → рефлексия...», что соответствует высоким уровням таксономии Блума.

Центральным элементом разработанного ИИ-ассистента является системный промпт. Главная задача ассистента жестко регламентирована правилами, заложенными в промпт – не решать задачи за обучающегося, а развивать логику и мышление, помогать видеть физический смысл за формулой, понимать причинно-следственные связи, применять законы в новых ситуациях. Главная цель – не просто научить решать задачи, а воспитать настоящего физика, умеющего думать, анализировать и понимать мир.

Структура каждого ответа строго унифицирована и включает следующие этапы: анализ условия (выделение известных и искомых величин, определение происходящих физических процессов); физический смысл (объяснение, какой закон или принцип лежит в основе задачи, и почему именно он применим); математическая модель (запись закона в виде формулы с объяснением смысла каждой переменной); решение шаг за шагом (детальное описание преобразований, подстановок, проверки размерностей); интерпретация результата (оценка реалистичности ответа, его физической значимости); обобщение и метод (выделение общего подхода, применимого к другим задачам); вопрос для размышления (наводящий вопрос, развивающий рефлексия). В результате ученик не просто получает ответ, а проходит полный цикл познания.

Кроме того, промпт требует от ассистента использовать строгую научную лексику, но всегда объяснять ее через простые аналогии. Промпт также предполагает постоянное дообучение. По мере расширения круга задач и перехода к новым разделам физики он дополняется и уточняется, что позволяет ассистенту адаптироваться к меняющимся образовательным запросам.

Подтверждено, что качество образовательного взаимодействия с ИИ определяется глубиной и научной строгостью промпта, что имеет фундаментальное значение для дальнейшего развития цифрового образования. Разработан системный промпт, ориентированный на формирование физического мышления; реализована единая структура объяснения, соответствующая этапам физического анализа; обеспечено использование научной терминологии в сочетании с доступными аналогиями; заложены механизмы, исключающие механическое решение задач и способствующие развитию рефлексии; подтверждена возможность применения для изучения физики. Полученные результаты имеют высокую практическую и теоретическую значимость: могут быть использованы для создания цифровых образовательных ресурсов;

в работе учителей физики как методическое пособие; при разработке стандартов интеграции ИИ в образовательный процесс. ИИ не заменяет преподавателя, а является инструментом для усиления, расширения возможностей человеческого интеллекта. Достигнута возможность использования ИИ как инструмента формирования физического мышления за счет создания методически строгой системы промпта.

Литература

1. Руководство по использованию генеративного искусственного интеллекта в образовании и научных исследованиях: издание ЮНЕСКО. – URL: <https://aspnet-unesco.ru/-prod/files/doc/event/c4d192913ca89aa65b274ac99c2b4214.pdf> (дата обращения: 15.04.2025).
2. Перечень сервисов искусственного интеллекта / Глав. информ.-аналит. центр М-ва образования Респ. Беларусь (ГИАЦ). – URL: https://akademy.by/images/Obuchenie/ИИ/Сервисы_искусственного_интеллекта_перечень.pdf (дата обращения: 15.04.2025).

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ДАННЫХ В ЦЕПОЧКЕ МЕЖСИСТЕМНОГО ОБМЕНА ФОРМАТАМИ

В. В. Лукашевич, А. А. Скуковская

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

Рассмотрена проблема потери и искажения данных при передаче информации между различными программными системами. Анализируется типичная цепочка обмена: Excel → CSV → Python → JSON → веб-форма → база данных. Оценены этапы, на которых наиболее вероятны ошибки, и предложены рекомендации по их минимизации.

Ключевые слова: обмен данными, совместимость форматов, CSV, JSON, Excel, Python, база данных.

ANALYSIS OF DATA LOSS IN INTERSYSTEM FORMAT EXCHANGE CHAIN

V. V. Lukashevich, A. A. Skukovskaya

*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk,
Republic of Belarus*

This article examines the issue of data loss and distortion during information exchange between various software systems. A typical data exchange chain is analyzed: Excel → CSV → Python → JSON → web form → database. The stages most prone to errors are evaluated, and recommendations for minimizing such risks are proposed.

Keywords: data exchange, format compatibility, CSV, JSON, Excel, Python, database.

В условиях цифровой трансформации все чаще возникает необходимость обмена данными между разнородными системами – от офисных приложений до веб-сервисов и баз данных. Несмотря на наличие стандартов, на практике при конвертации данных часто происходят потери или искажения. Особенно уязвимыми оказываются текстовые поля, даты, числа с плавающей точкой и специальные символы. Цель работы – выявить критические точки в цепочке обмена и проанализировать причины возникающих ошибок.

Типичная цепочка обмена начинается с формирования исходных данных в Microsoft Excel. Затем они экспортируются в CSV, считываются скриптом на Python, преобразуются в формат JSON и передаются через веб-форму, например, с исполь-

зованием REST API. Финальным этапом является сохранение информации в реляционной базе данных, такой как PostgreSQL. На каждом шаге возможны потери или искажения, что требует внимательного анализа. Для проверки использованы тестовые данные, представленные на рис. 1.

	1	2	3	4
1	ФИО	ДАТА РОЖДЕНИЯ	СРЕДНИЙ БАЛЛ	КОММЕНТАРИЙ
2	Иванов И.И.	01.03.2004	8,75	Студент, "отличник", №123

Рис. 1. Входные данные

Экспорт из Excel в CSV – первый и часто самый критичный этап. Excel сохраняет не только значения, но и метаданные: формулы, форматирование, типы данных, локальные настройки. При экспорте в CSV все это теряется – остаются только строки. Русскоязычные версии Excel используют кодировку Windows-1251 и точку с запятой как разделитель, что противоречит стандарту RFC 4180 (UTF-8 и запятая). Это вызывает проблемы при открытии файла в Linux-системах или Python-скриптах: кириллица превращается в иероглифы, структура таблицы нарушается. Даже корректное открытие в другом Excel создает иллюзию совместимости, которая рушится при передаче данных.

Чтение CSV в Python (обычно через pandas) сопровождается рисками: если не указать явно encoding и sep, библиотека делает догадки, часто ошибочные. Кодировка cp1251, прочитанная как UTF-8, приводит к некорректному отображению символов, а неверный разделитель превращает строку в одно поле. Особенно уязвимы текстовые поля с запятыми, кавычками, переводами строк. Excel не всегда строго следует стандарту CSV, что приводит к смещению колонок. Проблемы возникают и с датами: Excel хранит их как число дней с 01.01.1900 (с ошибкой 29 февраля 1900). Если дата не отформатирована как текст, Python прочитает ее как число, теряя временную информацию.

Преобразование в JSON добавляет сложности: формат поддерживает ограниченный набор типов. Все остальное (datetime, Decimal, множества) требует явной сериализации. Даже при корректной сериализации возможны потери: числа с плавающей точкой могут измениться из-за IEEE 754. JSON требует экранирования спецсимволов – без этого документ становится невалидным, и парсер его отклоняет.

Передача через веб-интерфейс сопровождается валидацией. Фреймворки (Django, Flask, Express.js) используют схемы (Pydantic, JSON Schema), задающие требования к типам, форматам, длине. Например, дата в формате DD.MM.YYYY может быть отклонена, если ожидается ISO 8601. Текстовые поля проходят санитизацию: HTML-теги и опасные символы экранируются. Фраза «Студент "отличник" № 123» может превратиться в «Студент отличник №123».

Сохранение в БД также несет риски. Вставка строки "8,75" в NUMERIC может вызвать ошибку из-за запятой. Строка длиной 60 символов в поле VARCHAR(50) будет усечена. Даты без временной зоны могут интерпретироваться по локали СУБД, вызывая расхождения. Некоторые СУБД (например, MySQL) могут «угадывать» дату, подставляя 0000-00-00 вместо невалидной.

Таким образом, каждый этап обмена данными – от Excel до БД – несет риск потерь и искажений. Особенно уязвимы экспорт и веб-передача, где отсутствие единых стандартов и валидации приводит к систематическим ошибкам. Только соблюдение открытых стандартов (UTF-8, ISO 8601, RFC 4180), контроль типов и кодировок, а

также сквозная валидация и логирование обеспечивают надежную передачу данных между системами. Данные, дошедшие до БД, показаны на рис. 2.

FULL_NAME	BIRTH_DATE	AVG_SCORE	COMMENT
Иванов И.И.	NULL	NULL	Студент, отличник, №123

Рис. 2. Конечный результат

Цепочка обмена данными между системами – это последовательность трансформаций, каждая из которых несет риск потери или искажения информации. Наиболее уязвимыми этапами являются экспорт из Excel в CSV и передача через веб-интерфейс. Для минимизации ошибок рекомендуется:

- использовать UTF-8 с BOM при экспорте CSV;
- явно указывать разделители и кодировки при чтении;
- применять стандартизированные форматы (например, ISO 8601 для дат);
- валидировать данные на каждом этапе передачи.

Только системный подход к совместимости форматов позволяет обеспечить целостность и достоверность данных в межсистемном взаимодействии.

Литература

1. McKinney, W. Python for Data Analysis. – O'Reilly Media, 2022.
2. Bray, T. (Ed.). The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format. – RFC 8259, 2017.
3. Microsoft. Excel Specifications and Limits. – Документация Microsoft, 2023.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММЕ ДЛЯ УЧЕТА КУРАТОРСКОЙ ГРУППЫ

М. А. Посох, К. Ю. Булохов, А. А. Скуковская

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

Рассмотрены функциональные требования к программному обеспечению для учета кураторской группы. Анализируются ключевые компоненты системы, включая личные кабинеты студента и куратора, механизмы регистрации, редактирования профиля, ведения посещаемости, подачи справок и получения уведомлений. Особое внимание уделено возможностям куратора по учету воспитательных мероприятий, научной активности студентов и интеграции с медиаканалами.

Ключевые слова: учет кураторской группы, личный кабинет куратора, учет посещаемости, воспитательная деятельность, научная активность студентов, цифровая отчетность.

FUNCTIONAL REQUIREMENTS FOR SOFTWARE TO MANAGE A CURATORIAL GROUP

M. A. Posakh, K. Y. Bulokhov, A. A. Skukovskaya

*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk,
Republic of Belarus*

This article examines the functional requirements for software designed to manage a curatorial group. Key system components are analyzed, including personal accounts for students and curators, mechanisms for registration, profile editing, attendance tracking, submission of documents, and notifications. Special attention is given to the curator's capabilities in tracking

educational activities, students' scientific engagement, and integration with media channels.

Keywords: curatorial group management, curator's personal account, attendance tracking, educational activities, students' scientific engagement, digital reporting.

Автоматизация учета и взаимодействия между студентами и кураторами актуальна в высшем образовании. Традиционные методы – бумажные журналы и разрозненные таблицы – приводят к фрагментарности данных и ошибкам. Цифровые решения повышают точность учета, скорость обработки информации и прозрачность коммуникации. Разработка функциональных требований к системе обеспечивает ее соответствие задачам учебных заведений и нуждам пользователей.

Эффективный учет кураторской деятельности требует автоматизации взаимодействия студентов и кураторов. Традиционные методы – бумажные отчеты и разрозненные таблицы – не обеспечивают прозрачности и точности. Для решения нужна разработка программного обеспечения, учитывающего все аспекты работы кураторов.

Личный кабинет студента – ключевой элемент системы, где при регистрации вводятся персональные данные, факультет, курс и группа. Профиль можно обновлять при изменениях. Кабинет предоставляет доступ к учебной и внеучебной информации: новостям университета, объявлениям кураторов и преподавателей, расписанию с отметками об изменениях. Пропущенные занятия фиксируются, студент может отправлять справки с причинами и документами.

Если студент – староста, его кабинет расширяется журналом посещаемости для отметки присутствия, добавления комментариев и формирования отчетов для куратора или деканата. В кабинете также есть система уведомлений о событиях, изменениях расписания, сообщениях и сроках, которые отображаются внутри кабинета или приходят на e-mail.

Личный кабинет куратора – специальный интерфейс для управления группой и общения со студентами. Куратор может добавлять и редактировать студентов, отслеживать их данные и активность.

Ключевая функция – работа со справками об отсутствии: просмотр с фильтрацией по дате, причине и имени, отслеживание пропусков и выявление нарушений. Куратор может оставлять комментарии, запрашивать дополнительные сведения или отклонять неподходящие справки.

Система учитывает кураторские часы и единые дни информирования. Куратор фиксирует дату, тему, тип и категорию мероприятия (патриотическое воспитание, профориентация и др.), что позволяет вести статистику и отчеты.

Для документации мероприятий можно прикреплять файлы и ссылки: отчеты, презентации, фотографии и методические материалы, обеспечивая прозрачность и удобный доступ к информации. ПО должно поддерживать учет как внутренних, так и внешних событий с возможностью импорта данных из официальных каналов или ручного ввода.

При добавлении мероприятия указываются уровень, место (в том числе онлайн), категория и роли студентов (участник, организатор и др.). Куратор прикрепляет фотоотчеты и формирует итоговый отчет с описанием, списком участников и оценкой эффекта. Отчеты доступны кураторам, деканам и методистам, студенты видят свои мероприятия.

Система поддерживает фильтрацию по дате, категории, уровню и участникам, контролирует медиафайлы и доступ по ролям. Куратор может назначить старосту с расширенными правами через личный кабинет, с фиксацией изменений для прозрачности.

Куратор может назначить старосту с расширенными правами: ведение журнала посещаемости, просмотр справок и получение уведомлений. Назначение и отзыв прав происходят через личный кабинет с фиксацией изменений для прозрачности.

Учет научной активности студентов ведется в цифровом портфолио с участием в статьях, конференциях и конкурсах, отмечая уровень – локальный, республиканский или международный. Для подтверждения достижений прикрепляют сертификаты, публикации и фото, связанные с записью. Карточка редактируется куратором или студентом и используется для портфолио, аттестации и грантов. Система поддерживает сортировку, фильтрацию и отчеты.

Безопасность данных важна: реализуются аутентификация, авторизация, шифрование, журнал действий и соблюдение нормативов. Система должна быть удобной, масштабируемой, с поддержкой интеграции и расширения.

Разработка ПО для учета кураторской группы – важный шаг цифровизации образования. Функциональные требования охватывают регистрацию, управление группой, учет посещаемости, воспитательной и научной активности, а также уведомления. Особое внимание уделено безопасности данных. Надежная защита, удобный интерфейс и гибкая архитектура обеспечат прозрачность, оперативность и качество работы кураторов.

Л и т е р а т у р а

1. Электронный деканат // Free Dean's Office. – URL: https://docs.moodle.org/-archive/ru/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%82 (дата обращения: 06.09.2025).
2. 1С: Колледж ПРОФ. – URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/college-prof> (дата обращения: 07.09.2025).
3. Чугунова, О. А. Воспитательная деятельность куратора в современном вузе: проблемы и пути решения. – URL: <https://herzenpsyconf.ru/wp-content/uploads/2021/12/13-2021.-Chugunova.pdf> (дата обращения: 11.10.2025).

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ WIFI-SCHOOL-STATION В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ

Е. Ю. Филатов, И. В. Постник

Средняя школа № 5 имени П. З. Калинина, г. Гродно, Республика Беларусь

Представлена разработка аппаратно-программного комплекса для мониторинга CO₂ и контроля параметров среды и безопасности в школах.

Ключевые слова: Интернет вещей, мониторинг уровня CO, RFID-контроль, удаленный доступ.

ENVIRONMENTAL MONITORING STATION SOFTWARE WIFI-SCHOOL-STATION IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

E. Yu. Filatov, I. V. Postnik

P. Z. Kalinin Secondary School No. 5, Grodno, Republic of Belarus

This paper presents the development of a hardware and software system, for CO₂ monitoring and control of environmental parameters and safety in schools.

Keywords: Internet of Things, CO monitoring, RFID control, remote access.

В условиях роста требований к экологической безопасности и комфорту в образовательных учреждениях разработанная система мониторинга окружающей среды предлагает инновационное, экономически эффективное и масштабируемое решение. В отличие от существующих аналогов, она обеспечивает:

- реальный мониторинг уровня CO, температуры и влажности с передачей данных каждые 30 секунд;
- доступность через веб-интерфейс и Telegram-бота, что позволяет администраторам оперативно реагировать на изменения;
- интеграцию RFID-контроля доступа для предотвращения несанкционированного вмешательства;
- автоматизированное хранение и анализ данных с возможностью исторического просмотра.

Главной целью работы является создание безопасной и комфортной среды в школах и детских садах за счет непрерывного контроля микроклимата. Для достижения поставленной цели решались ключевые задачи:

- разработка аппаратно-программного комплекса для мониторинга CO₂, температуры и влажности;
- обеспечение онлайн-доступа к данным через Telegram-бота и веб-сайт;
- создание бюджетного решения для массового внедрения в государственных учреждениях;
- масштабирование системы на всю Республику Беларусь с возможностью интеграции в государственные программы.

Социальным аспектом проекта является здоровье детей, так как высокий уровень CO₂ снижает концентрацию, вызывает усталость и повышает риск респираторных заболеваний.

Представленная система мониторинга «Wifi-School-Station» позволяет своевременно выявлять нарушения и принимать меры (проветривание, настройка вентиляции). Низкая стоимость делает решение доступным даже для небольших школ и детских садов.

Система мониторинга «Wifi-School-Station» — это комплексное решение для контроля параметров среды и безопасности в школах. Аппаратная платформа построена на микроконтроллере LOLIN (WEMOS) D1, интегрированном с датчиками MQ-5 (газы), DHT-22 (температура/влажность), HC-SR505 (движение) и RFID-RC522, а также OLED-дисплеем. Данные с датчиков передаются на серверную часть, реализованную с использованием Python, фреймворка Django и СУБД SQLite [1, с. 43–44]. Пользователям доступны два интерфейса для запроса текущих и исторических данных: веб-сайт и Telegram-бот (на базе библиотеки aiogram).

Разработанная система мониторинга «Wifi-School-Station» имеет следующие характеристики:

- мониторинг условий среды (температура, влажность, газы), контроль присутствия, управление доступом (RFID), охранная сигнализация;
- стек технологий: C++ (прошивка МК, Arduino IDE), Python (сервер, бот), Django, SQLite, aiogram;
- улучшение обработки ошибок и стабильности соединения;
- повышение производительности за счет рефакторинга кода;
- возможность расширения возможностей (за счет добавление новых типов датчиков);
- возможность улучшения UX (упрощение подключения устройств к боту через уникальный токен);
- низкая себестоимость устройства (составляет около 65 BYN (1760 RUB)).

Л и т е р а т у р а

1. Синявский, Ю. В. Умные здания: технологии и управление / Ю. В. Синявский. – М. : Инфра-Инженерия, 2022. – 198 с.

2. Абрамова, О. Ф. Интернет вещей: технологии и применение / О. Ф. Абрамова. – М. : ДМК Пресс, 2022. – 320 с.
3. Петин, В. А. Проекты с использованием ESP32 и ESP8266 / В. А. Петин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2023. – 288 с.

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ СЕРВЕРА И IoT-УСТРОЙСТВ

В. Ю. Маханова¹, Т. А. Пулко²

¹Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск

Рассмотрена система обнаружения аномального поведения IoT-устройств и сервера (MQTT-брокер), разработанная с применением методов машинного обучения. Для детекции аномалий телеметрии, получаемой от сенсоров, используется модель K-Nearest Neighbors, для перехвата вредоносного сетевого трафика – Random Forest. Реализована единая архитектура сбора данных, обучения моделей и их интеграции в режиме реального времени.

Ключевые слова: IoT, MQTT, обнаружение аномалий, DDoS, KNN, машинное обучение, Random Forest.

INTEGRATED ANOMALIES DETECTED SYSTEM FOR SERVERS AND IoT-DEVICES

V. Y. Makhanava¹, T. A. Pulko²

¹National Children's Technopark, Belarus

²Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk

This work presents an end-to-end system for detecting anomalous behavior in IoT devices and DDoS/DoS attacks on an MQTT broker using machine learning. K-Nearest Neighbors is applied to telemetry from sensors, while a Random Forest ensemble identifies malicious network patterns. A unified architecture for data collection, model training, and real-time inference is implemented.

Keywords: IoT, MQTT, anomaly detection, DDoS, KNN, machine learning, Random Forest.

С учетом развития Интернета вещей (IoT) количество подключенных устройств экспоненциально растет, охватывая сферы умного дома, носимых гаджетов и промышленной автоматизации, что предоставляет возможности для оптимизации процессов и улучшения качества жизни, но одновременно порождает риски безопасности: уязвимости в прошивках, недостаточная аутентификация и целенаправленные атаки могут приводить к утечке данных и нарушению работы критически важных систем. Актуально создание решения, способного автоматически выявлять отклонения в поведении сенсоров и классифицировать DoS-атаку на MQTT-брокер с помощью моделей машинного обучения.

Была развернута система симуляции IoT-сети, для этого создан MQTT-брокер, который стал сервером связи между IoT-устройствами. Далее к нему подключили датчик температуры, контролируемый через микроконтроллер, который по заранее написанному скетчу на Arduino IDE поддерживает подключение к Wi-Fi, инициализирует датчик и публикует показания температуры в заданный топик каждые несколько секунд. Код предусматривает автоматическое восстановление соединений и

логирование результатов публикации. Для построения обучающего набора телеметрии был написан скрипт на Python с использованием библиотеки `raho-mqtt` [1]. Он подписывается на топик с данными о температуре, преобразует полученные сообщения в строки вида `[timestamp, temperature]` и сохраняет их в CSV-файл. Особое внимание уделялось равномерности временного шага и точности временных меток. Далее были добавлены метки «аномалия» для описания резких скачков и дрейфовых значений в поведении датчика.

Обучение модели KNN включало последовательные этапы: предварительная обработка данных, вычисление вторичных признаков (разности температур dT , временных интервалов dt , скользящего среднего и стандартного отклонения), масштабирование через `StandardScaler` и подбор параметров алгоритма `KNeighborsClassifier` с учетом дистанционного взвешивания соседей. Вторая ветвь системы предназначена для выявления DoS- и DDoS-атак на уровне брокера. Для этого использован публичный набор данных, полученный на физическом IoT-тестовом стенде с эмуляцией нормального MQTT-трафика и пяти типов атак. Каждому сетевому событию соответствует набор признаков: длина кадра, интервал между пакетами, уровень QoS, флаг `Retain`, длина топика и длина полезной нагрузки. На основе этих данных был обучен `Random Forest`-классификатор.

Интеграция обеих моделей осуществляется единым мониторинговым скриптом, который подписывается на все топики и одновременно поддерживает два буфера данных: один для пакетов телеметрии, другой – для сетевых фреймов. Внутри основного цикла периодически происходит очистка устаревших записей, формируются векторы признаков и выполняются запросы к предварительно загруженным моделям.

Обнаруженный инцидент классифицируется по четырем типам (рис. 1):

- тип 2 – подозрение на DoS/DDoS по превышению скорости пакетов или классификации `Random Forest`;
- тип 3 – аномалия телеметрии по результату KNN;
- тип 4 – значительное отклонение скользящих средних за заданный интервал;
- тип 1 – нормальный режим (уведомление не отправляется).

При детекции любая из ситуаций формирует уведомление в формате “<тип>, <дополнительная информация>” и публикует его в отдельный топик для визуализации в пользовательском приложении.

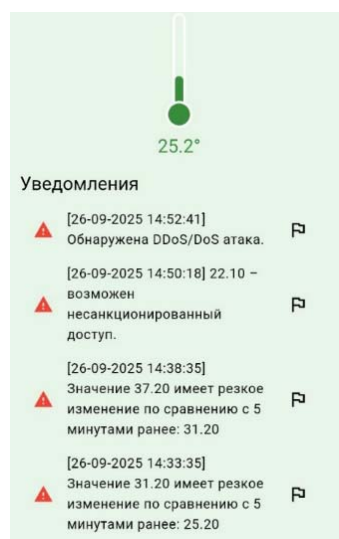


Рис. 1. Пример отслеживания уведомлений в приложении

В рамках исследования предложена система анализа поведения IoT-устройств и сетевого трафика на основе моделей K-NN и RF. Для этого был создан обучающий набор данных, подобраны нужные гиперпараметры моделей. Также предложено создание пользовательского приложения, в котором можно отслеживать уведомления об аномальном поведении устройств и сервера. Перспективы дальнейшей работы включают возможность добавления различных типов датчиков, а также автономное переобучение модели, способную подстраиваться под разные ситуации.

Л и т е р а т у р а

1. Dekun Tao MQTT in Python with Paho Client: Beginner's Guide 2025 – URL: <https://www.emqx.com/en/blog/how-to-use-mqtt-in-python> (дата обращения: 11.10.2025).

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЧАТ-БОТОВ НА БАЗЕ МЕССЕНДЖЕРА TELEGRAM

М. К. Залесский, О. Н. Андрейчук, И. А. Серeda

Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь

Описана разработка инновационной системы автоматизированного проектирования и развертывания чат-ботов мессенджера Telegram. Ключевой особенностью системы является использование генеративных больших языковых моделей (LLM), что позволяет полностью автоматизировать процесс создания программного обеспечения на основе текстовых описаний функционала на естественном языке. Это решает проблему высокого порога входа, связанного с необходимостью специализированных знаний в программировании и DevOps.

Ключевые слова: автоматизация, искусственный интеллект, чат-бот, база данных, языковой запрос.

A SYSTEM FOR AUTOMATED DESIGN OF CHATBOTS BASED ON THE TELEGRAM MESSENGER

M. K. Zalessky, O. N. Andreichuk, I. A. Sereda

National Children's Technopark, Minsk, Republic of Belarus

The project developed an innovative system for automated design and deployment of chatbots for the Telegram messenger. A key feature of the system is the use of generative large-scale language models (LLM), which enables fully automated software development based on natural-language descriptions of functionality. This solves the high barrier to entry associated with the need for specialized programming and DevOps knowledge.

Keywords: automation, artificial intelligence (AI), chatbot, database, natural language query.

Современный этап развития цифровых коммуникаций характеризуется растущим спросом на автоматизированные системы взаимодействия, в частности, Telegram-ботов, которые способны решать широкий спектр задач – от службы поддержки до автоматизации бизнес-процессов [1]. Однако процесс разработки и развертывания такого бота традиционно требует значительных временных затрат, специализированных знаний в области программирования и DevOps, что создает высокий порог входа для рядовых пользователей и малого бизнеса.

Цель исследования – разработка и внедрение автоматизированной системы генерации и деплоя Telegram-ботов на основе обработки естественно-языковых запросов пользователя с помощью технологий искусственного интеллекта.

Новизна проекта заключается в полной автоматизации цикла создания про-

граммного продукта – от интерпретации естественно-языкового запроса пользователя до генерации кода и его непосредственного развертывания на сервере. Это решение стало возможным только с недавним прогрессом в области генеративного ИИ и облачной инфраструктуры, что подчеркивает его технологическую новизну и актуальность для рынка, стремящегося к максимальной демократизации и ускорению процессов разработки.

Разрабатываемая система представляет собой платформу для автоматизированной генерации и развертывания Telegram-ботов на основе естественно-языковых запросов пользователей [2]. Основное функциональное назначение заключается в упрощении процесса создания программного обеспечения, позволяя пользователям без технических знаний реализовывать сложные автоматизированные решения через простое текстовое описание желаемого функционала.

Система обеспечивает полный цикл создания телеграм-бота: от интерпретации пользовательского запроса до генерации работоспособного кода и его развертывания на сервере. Пользователь получает возможность создавать ботов с индивидуальной логикой работы, интегрированных с внешними API и сервисами, поддерживающих сложные сценарии взаимодействия, без необходимости написания кода, изучения документации или настройки серверной инфраструктуры.

Ключевой функцией является интеграция с генеративными LLM, которые анализируют текстовые запросы пользователей и преобразуют их в готовый программный код на Python с использованием фреймворка aiogram [3]. Система автоматически проверяет сгенерированный код на синтаксические ошибки, обеспечивая его работоспособность перед развертыванием.

С технической стороны система реализована на асинхронной архитектуре, что обеспечивает стабильную работу при одновременной обработке множества запросов на генерацию и обновление ботов. Механизмы изоляции процессов гарантируют, что сбой в работе одного бота не влияет на работу всей системы или других созданных ботов.

Для реализации системы автоматической генерации Telegram-ботов был выбран язык программирования Python, который идеально подходит для данной задачи благодаря своей простоте, читаемости кода и богатой экосистеме библиотек. Python обеспечивает эффективную работу с искусственным интеллектом, асинхронным программированием и интеграцией с различными API, что критически важно для данного проекта.

Такая комбинация функциональных возможностей и технических решений делает систему универсальным инструментом для быстрого прототипирования и развертывания автоматизированных решений в мессенджере Telegram, обеспечивая доступ к технологии создания ботов для широкого круга пользователей – от предпринимателей и маркетологов до преподавателей и организаторов сообществ.

Для начала работы с ботом-конструктором пользователь отправляет команду /start, после этого необходимо следовать инструкциям на каждом этапе создания.

Процесс создания нового бота инициируется командой /create_bot. В результате система генерирует и развертывает бота, который начинает работать автономно. Пользователь может управлять своими ботами через главное меню (/menu), вызываемое в боте-конструкторе. Для созданных ботов представлено управление, вызываемое командой: /upgrade – улучшение существующего бота; /del – удаление неактуальных ботов; /my_bots – просмотр информации о своих ботах. Для модификации бота используется команда /upgrade. Пользователь выбирает бота из списка и описывает желаемые изменения, после чего система генерирует и запускает обновленную версию. Удаление бота осуществляется командой /del через выбор из списка и подтверждение действия.

В результате выполнения проекта была успешно разработана инновационная платформа для автоматизированного создания Telegram-ботов через естественно-языковые запросы. Поставленная цель достигнута – создана система, позволяющая пользователям без технических знаний разрабатывать функциональных ботов.

Гипотеза исследования подтвердилась. Использование генеративного ИИ позволяет полностью автоматизировать процесс создания программного обеспечения, делая технологию создания ботов доступной для неподготовленных пользователей. Система показала высокую эффективность в реальных условиях эксплуатации.

Л и т е р а т у р а

1. Курпатов, Я. Ю. Создание Telegram-ботов на Python / Я. Ю. Курпатов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2022. – 320 с.
2. Искусственный интеллект и обработка естественного языка: современные подходы и перспективы / под ред. В. К. Иванова. – М. : Техносфера, 2023. – 415 с.
3. Aiogram. Documentation. // Aiogram. – 2024. – URL: <https://docs.aiogram.dev/en/latest/> (дата обращения: 10.10.2025).

ЭВОЛЮЦИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ СИСТЕМНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ: ОТ КОМАНДНОЙ СТРОКИ К ГРАФИКЕ

А. М. Морковский, О. М. Дерюжкова

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь*

Статья посвящена анализу эволюции интерфейсов системного программного обеспечения. В работе прослеживается переход от текстовых команд к визуальной навигации, а также тенденции интеграции искусственного интеллекта, голосовых помощников и адаптивных интерфейсов. Статья актуальна в контексте стремительного развития информационных технологий и роста требований к удобству и персонализации системного ПО.

Ключевые слова: интерфейс, командная строка, графический интерфейс, пользователь, эволюция, программное обеспечение.

EVOLUTION OF SYSTEM SOFTWARE INTERFACES: FROM THE COMMAND LINE TO GRAPHICS

A. M. Morkovskij, O. M. Deryuzhkova

Francisk Skorina Gomel State University, Republic of Belarus

The article is devoted to the analysis of the evolution of system software interfaces. The work traces the transition from text commands to visual navigation, as well as trends in the integration of artificial intelligence, voice assistants and adaptive interfaces. The article is relevant in the context of the rapid development of information technology and the growing requirements for the convenience and personalization of system software.

Keywords: interface, command line, GUI, user, evolution, software.

Интерфейс системного программного обеспечения играет ключевую роль в организации взаимодействия между пользователем и компьютерной системой. От того, насколько он удобен, понятен и функционален, зависит эффективность работы, скорость освоения новых технологий и уровень доступности цифровых решений для различных категорий пользователей.

Цель данной работы – проследить эволюцию интерфейсов системного программного обеспечения от командной строки (CLI) к графическим интерфейсам

(GUI), выявить причины перехода между этапами, а также проанализировать современные тенденции в развитии гибридных и интеллектуальных интерфейсов.

Актуальность темы обусловлена стремительным развитием информационных технологий и ростом требований к удобству и адаптивности интерфейсов. Современные пользователи ожидают от системного ПО не только стабильности и производительности, но и интуитивной визуальной среды, способной подстраиваться под их уровень подготовки и задачи. Понимание исторического пути развития интерфейсов позволяет не только оценить текущие решения, но и прогнозировать будущие направления в проектировании человеко-машинного взаимодействия.

Работа направлена на систематизацию этапов эволюции интерфейсов, выявление их сильных и слабых сторон, а также формирование представления о том, как интерфейс влияет на культуру использования системного программного обеспечения.

На заре развития вычислительной техники пользователи взаимодействовали с машинами через интерфейсы командной строки, вводя текстовые команды для выполнения задач. Этот метод был эффективен для специалистов, но у простых пользователей вызывал затруднения. Необходимость в более интуитивном и удобном интерфейсе стала очевидной по мере того, как компьютеры переходили из специализированных лабораторий в офисы и дома [1].

Пользовательские интерфейсы прошли долгий путь с момента своего появления. В начале компьютерной эры интерфейсы были ограничены текстовыми командами, которые пользователи вводили с клавиатуры. С развитием технологий появились графические интерфейсы, такие как системы с иконками и окнами, которые сделали взаимодействие с компьютерами более интуитивным и доступным для широкой аудитории. Компании, такие как Xerox, Apple и Microsoft, стали пионерами в разработке графических пользовательских интерфейсов (GUI). Это позволило пользователям взаимодействовать с компьютерами с помощью мыши и оконных систем, что значительно упростило работу и сделало ее более наглядной [2].

Эволюция интерфейсов системного программного обеспечения представляет собой последовательный переход от текстовых форм взаимодействия к визуальным и интеллектуальным решениям. В рамках данной работы целесообразно выделить три ключевых этапа, каждый из которых отражает изменения в технологическом развитии и пользовательских ожиданиях:

1. Этап командной строки (CLI – Command Line Interface). На начальном этапе взаимодействие с операционной системой осуществлялось посредством текстовых команд, вводимых вручную. Командная строка обеспечивала высокую точность, гибкость и минимальные требования к аппаратным ресурсам. Однако она предъявляла серьезные требования к уровню подготовки пользователя, ограничивая доступ к системному ПО преимущественно специалистами. CLI оставался основным способом управления системами до появления графических оболочек и продолжает использоваться в профессиональной среде благодаря своей эффективности и автоматизируемости.

2. Этап графического интерфейса (GUI – Graphical User Interface). С распространением персональных компьютеров и ростом числа непрофессиональных пользователей возникла необходимость в более доступных и интуитивных интерфейсах. Графические оболочки, основанные на визуальных элементах – окнах, иконках, меню – значительно упростили взаимодействие с системой. GUI обеспечил снижение порога входа, расширил аудиторию пользователей и стал стандартом для большинства операционных систем. При этом он оказался менее гибким по сравнению с CLI

и более ресурсоемким, что обусловило дальнейший поиск баланса между удобством и функциональностью.

3. Этап гибридных и интеллектуальных интерфейсов. Современные интерфейсы системного программного обеспечения характеризуются интеграцией графических и текстовых элементов, а также внедрением технологий искусственного интеллекта. Гибридные решения позволяют пользователю выбирать наиболее подходящий способ взаимодействия, сочетая визуальную наглядность с возможностями автоматизации. Появление голосовых помощников, адаптивных панелей, облачных интерфейсов и элементов дополненной реальности свидетельствует о переходе к интерфейсам, способным обучаться, предугадывать действия и подстраиваться под контекст. Такой подход расширяет функциональность системного ПО и делает его более персонализированным.

Интерфейсы продолжают эволюционировать. Сегодня появляются голосовые ассистенты, контекстные панели, интерфейсы дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR). Искусственный интеллект помогает предугадывать действия пользователя, предлагает команды, автоматизирует рутинные задачи.

В системном программном обеспечении это проявляется в виде интеллектуальных помощников, визуализации логов и метрик, адаптивных панелей управления. Интерфейс становится не просто оболочкой, а активным участником взаимодействия, способным обучаться и подстраиваться под пользователя.

В ходе проведенного исследования были систематизированы ключевые этапы эволюции интерфейсов системного программного обеспечения: от командной строки (CLI) к графическим интерфейсам (GUI), а затем к гибридным и интеллектуальным решениям. Установлено, что каждый этап развития интерфейсов отражает не только технологические изменения, но и трансформацию пользовательских ожиданий, уровня подготовки и задач, решаемых с помощью системного ПО.

Полученные результаты позволяют выделить следующие закономерности: CLI-интерфейсы обеспечивают высокую точность и гибкость, оставаясь актуальными в профессиональной среде; GUI-интерфейсы значительно расширили аудиторию пользователей, сделав системное ПО доступным для непрофессионалов; гибридные и интеллектуальные интерфейсы обеспечивают персонализацию, адаптацию под контекст и интеграцию с современными технологиями, включая искусственный интеллект и облачные решения.

Таким образом, интерфейс системного программного обеспечения эволюционирует от инструмента управления к интеллектуальному посреднику, способному активно участвовать в процессе взаимодействия, обучаться и подстраиваться под пользователя. Это открывает перспективы для дальнейших исследований в области проектирования адаптивных, безопасных и инклюзивных интерфейсов, ориентированных на разнообразные сценарии использования.

Л и т е р а т у р а

1. Как появился графический интерфейс пользователя: история в лицах, деталях, фактах и курсорах / Хабр. – URL: <https://habr.com/ru/companies/first/articles/784820/> (дата обращения: 07.10.2025).
2. Эволюция пользовательских интерфейсов: От кнопок к голосовому управлению / Young Senior | Дзен. – URL: <https://dzen.ru/a/ZpZ1BCKFNVqbxoM4> (дата обращения: 07.10.2025).

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ КВАНТОВАНИЯ ДЛЯ ЧЕТНЫХ И НЕЧЕТНЫХ ФУНКЦИЙ: ИДЕЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

В. И. Дубовик, В. Н. Капшай

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь*

Предложена идея по созданию приложения на языке Python, которое наглядно покажет, как квантуются четные и нечетные функции. Оно будет отображать спектры и граничные условия для таких симметричных функций, а пользователи смогут менять параметры и смотреть, как симметрия влияет на общее условие квантования.

Ключевые слова: квантование, четные функции, нечетные функции, граничные условия, интерактивное приложение, численные методы.

VISUALIZATION OF QUANTIZATION CONDITIONS FOR EVEN AND ODD FUNCTIONS: INTERACTIVE APPLICATION

V. I. Dubovik, V. N. Kapshay

Francisk Skorina Gomel State University, Republic of Belarus

The idea of creating a Python application is proposed, which will clearly show how even and odd functions are quantized. It will display the spectra and boundary conditions for such symmetric functions, and users will be able to change the parameters and see how the symmetry affects the overall quantization condition.

Keywords: quantization, even functions, odd functions, boundary conditions, interactive application, numerical methods.

Цель проекта заключается в создании программного обеспечения, позволяющего пользователям понять влияние симметрии и граничных условий на общие условия квантования четных и нечетных функций.

Значение проекта обусловлено растущим спросом на визуальные и интерактивные средства обучения и анализа сложных математических явлений. В условиях внедрения цифровых технологий в образование и научные исследования подобные приложения позволяют объединить теоретические знания с практическими навыками, делая абстрактные концепции доступными и наглядными.

Создание приложения, которое помогает визуализировать условия квантования четных и нечетных функций, – это не просто технический проект, а способ сделать сложную математику доступной и наглядной. Такое решение может пригодиться тем, кто изучает физику или математику, преподает эти дисциплины или занимается прикладными исследованиями. Возможность менять параметры модели и сразу видеть, как это отражается на графиках, превращает сухую теорию в понятный процесс, где абстрактные формулы обретают форму и смысл на экране.

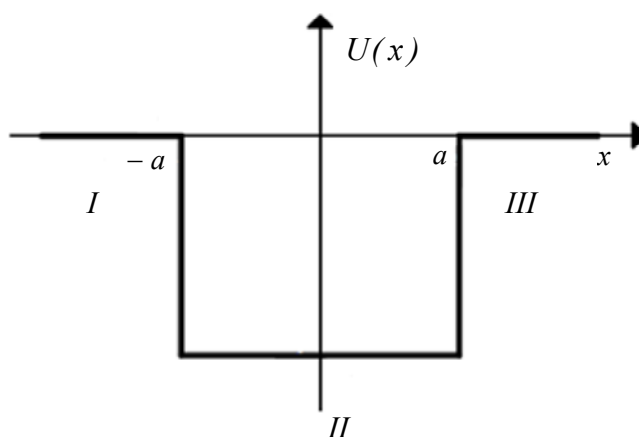


Рис. 1. Одномерная прямоугольная потенциальная яма

Общее условие квантования в задачах с симметричными функциями формируется на основе граничных условий и свойств оператора. Показать четность и нечетность волновой функции возможно при комбинировании условий сшивания в граничных точках, показанных на рис. 1 (используется свойство непрерывности волновой функции и ее первой производной). После нормировки волновой функции можно вывести общее условие квантования:

$$(\kappa \cdot \cos(ak) - k \cdot \sin(ak))(\kappa \cdot \cos(ak) + \kappa \cdot \sin(ak)) = 0, \quad (1)$$

которое разбивается на два альтернативных варианта [1]:

$$\kappa \cdot \cos(ak) - k \cdot \sin(ak) = 0; \quad (2)$$

$$k \cdot \cos(ak) + \kappa \cdot \sin(ak) = 0. \quad (3)$$

Чтобы построить графики условий квантования для четных и нечетных функций, нужно разобраться с уравнениями, которые описывают, при каких параметрах система «разрешает» те или иные значения, например, энергии. Эти уравнения зависят от граничных условий и симметрии функции, и чтобы найти нужные значения, приходится прибегать к численным методам.

Создание приложения на Python для визуализации условий квантования четных и нечетных функций – это способ превратить сложные математические уравнения в понятные графики, с которыми можно работать и экспериментировать. В основе лежат формулы, описывающие, при каких значениях энергии система «разрешает» существование устойчивых состояний, и чтобы найти эти значения, используются численные методы. С помощью библиотек SciPy и NumPy можно быстро вычислить корни уравнений, а Matplotlib или Plotly помогают превратить эти расчеты в наглядные графики.

С помощью Python и библиотек SciPy, NumPy и Matplotlib можно точно рассчитывать собственные значения и визуализировать поведение функций при разных граничных условиях. Это делает квантовые явления более понятными и доступными для анализа и обучения.

Литература

1. Griffiths, David J. Introduction to Quantum Mechanics / David J. Griffiths, Darrell F. Schroeter. – Cambridge : Cambridge University Press, 2018. – 508 с.

АСИНХРОННЫЙ ПОДХОД В ПРОГРАММИРОВАНИИ**Н. С. Железко, С. А. Лукашевич***Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь*

Рассмотрены преимущества и недостатки асинхронного подхода с практическим примером реализации на Python.

Ключевые слова: python, асинхронность, AsyncIO, await, корутина, поллинг.

ASYNCHRONOUS APPROACH TO PROGRAMMING**M. S. Zhelezko, S. A. Lukashevich***Francisk Skorina Gomel State University, Republic of Belarus*

Discusses the advantages and disadvantages of the asynchronous approach with a practical example of implementation in Python.

Keywords: python, asynchrony, AsyncIO, await, coroutine, polling.

Современные программные системы часто требуют обработки большого количества одновременного количества запросов: взаимодействие с пользователем, обмен сообщениями, получение сетевых запросов, интеграция со сторонними сервисами. В таких условиях традиционный (последовательный) подход становится малоэффективным, поскольку каждая операция блокирует выполнение программы, что приводит к снижению производительности.

Одним из ключевых решений этой проблемы стало асинхронное программирование, которое позволяет выполнять множество задач параллельно, не дожидаясь завершения каждой из них. В python реализация данного подхода основана на механизме корутин, а стандартная библиотека AsyncIO предоставляет `async` и `await` для написания неблокирующего кода. В современном мире подобный подход особенно актуален в разработке Discord/Telegram-ботов, где программа должна обрабатывать сообщения от множества пользователей одновременно, взаимодействовать с внешними API и выполнять фоновые задачи, например, рассылку уведомлений.

В данной работе будет рассмотрен асинхронный код, его преимущества и недостатки, а также приведен практический пример реализации Telegram-бота с использованием асинхронной модели.

Цель работы – продемонстрировать, как асинхронный подход способствует повышению эффективности и масштабируемости приложений.

Асинхронное программирование – это подход к разработке программ, при котором выполнение операций ввода-вывода (например, запросов к серверу, чтения файлов или ожидания пользовательских действий) не блокирует основной поток выполнения. Вместо ожидания завершения одной задачи программа может переключаться на другие операции, тем самым повышая общую производительность и отзывчивость.

В отличие от многопоточности, где задачи выполняются параллельно с использованием нескольких потоков, асинхронность опирается на событийный цикл (event loop) и корутины – специальные функции, которые могут приостанавливать и возобновлять свое выполнение. Это позволяет экономно использовать системные ресурсы, особенно при работе с большим числом сетевых подключений.

В Python асинхронное программирование реализовано с помощью модуля AsyncIO, который предоставляет базовый механизм для запуска и управления корутинами. Пример простейшего асинхронного кода представлен на рис. 1.

```
import asyncio

async def greet(name): 3 usages
    print(f"Привет, {name}!")
    await asyncio.sleep(1)
    print(f"До свидания, {name}!")

async def main(): 1 usage
    await asyncio.gather(
        greet("Аня"),
        greet("Борис"),
        greet("Виктор")
    )

asyncio.run(main())
```

Рис. 1. Пример простейшего асинхронного кода

В этом примере три корутины выполняются «одновременно» – на самом деле программа просто переключается между ними, когда одна из них ожидает завершения операции (`await asyncio.sleep(1)`). Такой подход позволяет эффективно использовать время ожидания и не блокировать выполнение других задач.

К преимуществам асинхронного подхода относятся: высокая производительность при большом числе операций, более низкое потребление ресурсов вычислительной машины, простота масштабирования сетевых приложений и микросервисов, удобство интеграции с современными API и веб-протоколами.

К недостаткам следует отнести: повышенную сложность отладки и тестирования кода, необходимость строгого соблюдения контекста асинхронного кода, некоторые библиотеки не поддерживают `async/await`.

Асинхронное программирование играет важную роль в развитии современных приложений, особенно тех, которые связаны с сетевым взаимодействием и высокой нагрузкой на систему ввода-вывода. Использование асинхронного подхода в Python, основанного на библиотеке AsyncIO, позволяет значительно повысить эффективность и отзывчивость программ, избегая избыточного расхода ресурсов, характерного для традиционной многопоточности.

На практике асинхронность открывает широкие возможности при создании Telegram-ботов, которые должны одновременно обслуживать множество пользователей, обрабатывать команды, выполнять сетевые запросы и взаимодействовать с внешними API.

Литература

1. Фаулер, М. Asyncio и конкурентное программирование на Python / М. Фаулер. – СПб. : Питер, 2023. – 352 с.
2. Браунли, Д. Python's asyncio: A Hands-On Walkthrough // Real Python. – 2025 (онлайн).
3. Aiogram developers. aiogram – асинхронный фреймворк для Telegram Bot API // aiogram.dev. 2024 (онлайн).

ЛАЗЕРНЫЙ ШОВ В ХИРУРГИИ: СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД ЗАКРЫТИЯ РАН И ЗАЖИВЛЕНИЯ ТКАНЕЙ

Б. С. Х. Муслех, А. С. Князюк

Гомельский государственный медицинский университет, Республика Беларусь

Лазерное ушивание является эффективным методом закрытия ран, обеспечивая минимальную инвазивность и быстрое заживление. Новые технологии, такие как iSoldering, используют наночастицы для улучшения результатов хирургических процедур, открывая перспективы для дальнейших исследований и внедрения в клиническую практику.

Ключевые слова: лазерное ушивание, хирургия, заживление тканей, наночастицы, iSoldering.

LASER SUTURES IN SURGERY: A MODERN METHOD FOR WOUND CLOSURE AND TISSUE HEALING

B. S. H. Musleh, A. S. Knyazyuk

Gomel State Medical University, Republic of Belarus

Laser suturing is an effective method of wound closure, ensuring minimal invasiveness and rapid healing. New technologies, such as iSoldering, use nanoparticles to improve surgical outcomes, opening the door to further research and clinical implementation.

Keywords: laser suturing, surgery, tissue healing, nanoparticles, iSoldering.

Лазерное ушивание представляет собой современный метод закрытия ран, который активно используется в хирургической практике. Этот подход предлагает ряд преимуществ, включая минимизацию инвазивности и ускорение заживления тканей. Лазеры обеспечивают точное и контролируемое воздействие, что особенно важно при сложных операциях. В последние годы технологии лазерного ушивания продолжают развиваться, внедряя новые материалы и методы, такие как «iSoldering», основанный на использовании наночастиц. Данная работа посвящена анализу эффективности лазерного ушивания и его влиянию на клинические результаты.

Лазерное ушивание стало современным и эффективным методом закрытия ран, предлагая ряд преимуществ по сравнению с традиционными швами. Исследования подтверждают, что лазерное ушивание значительно ускоряет процесс наложения швов и улучшает клиническую эффективность. Лазерное воздействие обеспечивает точную и неинвазивную обработку тканей, способствуя свертыванию крови и герметизации, что критически важно при сложных операциях, где контроль за кровотечением имеет решающее значение.

Кроме того, лазерное ушивание ускоряет заживление тканей благодаря улучшению кровотока и снижению травматичности. Пациенты, перенесшие этот метод, сообщают о меньшем уровне боли и меньших рубцах. Лазерная обработка также снижает риск осложнений, таких как инфицирование и некроз, благодаря минимизации повреждений окружающих здоровых тканей.

Совсем недавно исследователи технологию «iSoldering» – метод, основанный на использовании наночастиц для закрытия ран. Эта технология сочетает в себе два типа наночастиц: нитрид титана и ванадат висмута. При освещении источником света, слабо поглощаемым тканями, нитрид титана преобразует свет в тепло, а ванадат висмута служит «нанотермометром», позволяя точно контролировать температуру. Это обеспечивает быстрый и эффективный процесс сварки, особенно для малоинвазивных процедур (рис. 1).



Рис. 1. Разрез на коже живота, зашитый традиционными швами (a) и запаянный лазером с использованием человеческого альбумина (b) через два дня после операции; зашитый рубец через тридцать дней после операции (c) значительно больше и заметнее, чем запаянный лазером рубец (d)

Использование медицинских инфракрасных ламп в методе iSoldering позволяет достичь высокой пространственной точности в определении температур как в поверхностных, так и в глубоких ранах. Исследования подтвердили его эффективность при заживлении органов, таких как поджелудочная железа и печень, а также сложных тканевых масс, как уретра и кишечник [1].

Команда исследователей также рассматривает возможность применения менее интенсивного ближнего инфракрасного света, что упростит клиническое применение технологии без необходимости дополнительных мер защиты. Это открывает новые горизонты для использования iSoldering в обычных операционных, делая его доступным для более широкого круга хирургических процедур.

Таким образом, лазерное ушивание и новые разработки, такие как iSoldering, представляют собой значительные шаги вперед в области хирургии, обещая улучшение результатов лечения и повышение безопасности операций. Эти инновации могут изменить подход к закрытию ран, сделав его более эффективным и менее травматичным для пациентов.

Литература

1. T.-S. Yang, L.-T.-H. Nguyen, Y.-C. Hsiao [et al.] Biophotonic Effects of Low-Level Laser Therapy at Different Wavelengths for Potential Wound Healing Photonics. – 2022. – № 9. – P. 591. – URL: <https://doi.org/10.3390/photonics9080591> (date resource: 05.10.2025).
2. BIOPHOTONICS: Not just for cutting, lasers bond tissues, heal wounds. – URL: <https://www.laserfocusworld.com/test-measurement/research/article/16552185/biophotonics-not-just-for-cutting-lasers-bond-tissues-heal-wounds> (date resource: 05.10.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

С. Н. Пивовар, С. В. Рогов

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Рассмотрено применение технологий 3D-печати в сельскохозяйственном машиностроении. Проведен анализ ограничений традиционных методов изготовления деталей и показаны преимущества 3D-печати: сокращение сроков производства, снижение себестоимости, возможность создания сложных форм и другое. Описаны основные области применения 3D-печати – создание прототипов, восстановление и ремонт узлов, изготовление редких комплектующих. Кратко охарактеризованы наиболее распространенные методы печати (FDM, SLS, SLM/DMLS) и типы используемых материалов. Сделан вывод о перспективности внедрения 3D-печати для повышения надежности и производительности.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, сельхозмашиностроение, изготовление деталей, трехмерная печать, модернизация оборудования.

THE USE OF 3D PRINTING IN THE MANUFACTURE OF PARTS AGRICULTURAL MACHINERY

S. N. Pivovarov, S. V. Rogov

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The article considers the application of 3D printing technologies in agricultural engineering. The limitations of traditional methods of manufacturing parts are analyzed and the advantages of 3D printing are shown: shorter production times, lower cost, the ability to create complex shapes, and more. The main applications of 3D printing are described - prototyping, restoration and repair of components, manufacture of rare components. The most common printing methods (FDM, SLS, SLM/DMLS) and the types of materials used are briefly described. The conclusion is made about the prospects of introducing 3D printing to increase reliability and productivity.

Keywords: additive technologies, 3D printing, agricultural machinery, manufacturing of parts, three-dimensional printing, modernization of equipment.

Современное сельхозмашиностроение активно внедряет инновационные технологии, направленные на повышение эффективности, надежности и ремонтпригодности техники. Одним из перспективных направлений стало использование аддитивных технологий (это метод создания трехмерных объектов, деталей путем послойного добавления материала), в частности 3D-печати, при изготовлении деталей и узлов сельскохозяйственных машин. Целью исследования является анализ возможностей применения 3D-печати в сельхозмашиностроении, определение ее преимуществ и ограничений по сравнению с традиционными методами, а также оценка перспектив внедрения технологии в серийное производство.

Традиционные методы производства, основанные на механической обработке и литье, надежны, но требуют больших затрат времени и ресурсов, особенно при создании сложных или мелкосерийных деталей. 3D-печать решает эти задачи быстрее и экономичнее: позволяет изготавливать элементы со сложной геометрией, снижать отходы и ускорять восстановление техники. Кроме того, она уменьшает зависимость от поставок и дает возможность оперативно создавать редкие или снятые с производства запчасти, что особенно важно для аграрного сектора.

В отличие от классических технологий, 3D-печать не требует дорогостоящей оснастки и пресс-форм. Детали создаются напрямую по цифровым моделям, что значительно сокращает сроки и стоимость производства. Эта гибкость делает технологию особенно удобной для мелких серий и индивидуальных заказов [1].

В сельхозмашиностроении трехмерная печать применяется для быстрого проектирования и выпуска прототипов, внедрения новых конструктивных решений, восстановления и замены деталей. Наиболее востребованы методы FDM (послойное наплавление пластика), SLS (лазерное спекание полимерных порошков) и SLM/DMLS (плавление металлических порошков), обеспечивающие прочность и точность. Методика исследования включала сравнительный анализ производственных показателей различных технологий 3D-печати – времени, себестоимости и качества получаемых деталей.

Выбор материала также играет ключевую роль. В зависимости от требований к прочности, термостойкости и износостойкости применяются:

- полимеры – применяются для изготовления элементов, не подверженных высоким нагрузкам, например, защитных кожухов, ручек, панелей управления;
- металлы – для несущих и ответственных узлов;
- композиты – сочетают легкость и прочность, подходят для подвижных частей [2].

3D-печать в сельхозмашиностроении сегодня используется для создания опытных образцов, функциональных деталей и оперативной замены комплектующих. Однако ее широкое внедрение ограничено высокой стоимостью, длительностью изготовления крупных элементов и необходимостью постобработки.

В сельхозмашиностроении 3D-печать чаще всего применяется для проверки конструкции и эргономики узлов машин, выпуска сложной оснастки и крепежных элементов, производства редких или снятых с производства запчастей, изготовления защитных кожухов, а также для ремонта техники непосредственно в фермерских хозяйствах или сервисных центрах.

Несмотря на преимущества, широкое внедрение 3D-печати сдерживают высокая стоимость оборудования, длительность изготовления крупных деталей и необходимость постобработки. Крупные элементы печатаются долго, а качество изделий зависит от параметров печати и состояния материалов. Поэтому оптимальным становится комбинированный подход: применение 3D-печати для сложных и уникальных деталей, а традиционных методов для массового производства.

Дальнейшее развитие связано с повышением скорости печати, увеличением рабочего объема принтеров и расширением ассортимента материалов. Все это позволит применять 3D-печать не только для опытных образцов, но и в серийном производстве узлов, работающих под нагрузкой, делая аграрную технику более устойчивой и технологичной [3].

Результаты исследования показали, что 3D-печать становится важным инструментом для сельхозмашиностроения. Она ускоряет проектирование, улучшает конструктивные решения и повышает ремонтпригодность техники. По мере удешевления оборудования и стандартизации процессов аддитивные технологии займут прочное место в производстве сельскохозяйственных машин.

Литература

1. Сенин, П. В. Аддитивные технологии для производства и ремонта сельскохозяйственной техники / П. В. Сенин, М. Н. Чаткин, Е. А. Кильмашкин. – Саранск : МГУ, 2024. – С. 586–591.
2. Шкуро, А. Е. Технологии и материалы 3D-печати: учеб. пособие / А. Е. Шкуро. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2017. – С. 97–98.
3. Коряков, А. Е. Применение 3D-печати в машиностроении: эффективность, история и тенденции развития / А. Е. Коряков. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 100–102.

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ УЧЕБНЫХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

А. А. Глушенок, О. Д. Асенчик

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Представлена архитектура программного комплекса для автоматизации формирования учебных программ с использованием больших языковых моделей. Определены базовые модули, требования к ним и система их взаимодействия.

Ключевые слова: большие языковые модели (LLM), генерация с дополнительным поиском (RAG), автоматизация формирования учебных программ.

ARCHITECTURE OF A SOFTWARE SYSTEM FOR CREATING CURRICULUMS USING LARGE-SCALE LANGUAGE MODELS

A. A. Glushenok, O. D. Asenchik

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper presents the architecture of a software system for automating the generation of curricula using large-scale language models. The basic modules, their requirements, and the system of their interaction are defined.

Keywords: large-scale language models (LLM), search-augmented generation (RAG), automation of curriculum generation.

Современная система образования находится в условиях постоянных изменений: быстро меняются требования рынка труда, обновляются образовательные стандарты, растет потребность в индивидуализации обучения. Развитие технологий искусственного интеллекта, в частности больших языковых моделей (*LLM*), открывает новые возможности для автоматизации и интеллектуальной поддержки в проектировании образовательных программ. Использование данной языковой модели позволяет генерировать структуру курсов, адаптировать содержание под уровень студентов, интегрировать актуальные источники знаний и обеспечивать гибкую настройку под разные образовательные траектории. В работе рассматривается разработка системы автоматизированного формирования учебных программ с использованием больших языковых моделей. В качестве основы разработана архитектура приложения с поддержкой генерации с дополнительным поиском (*RAG*) и многоагентной обработки, обеспечивающая модульность, масштабируемость и интеграцию внешних источников знаний. Система предполагает использование эмбедингов, векторной базы данных, специализированных агентов и агрегатора для консолидации ответов. Таким образом, работа сочетает исследование образовательных приложений и проектирование современного архитектурного решения на базе *LLM*, что позволяет создавать учебные программы, соответствующие актуальным стандартам и индивидуальным запросам обучающихся.

В данной работе описана архитектура приложения для создания учебных программ с использованием больших языковых моделей. Для разработки приложения был выбран динамически типизированный, язык программирования *Python*. В ходе сбора и анализа данных о требованиях к подобным приложениям был выделен следующий необходимый функционал: формирование учебных программ заданной

структуры и в заданном нормативным документом формате; проверка уже созданных программ на предмет соответствия образцу и нормативным документам министерства образования Республики Беларусь, в случае отклонений должны выдаваться замечания, и формироваться правильные программы; генерация текстов как на основе ответов одной или нескольких *LLM*, так и с использованием генерации, дополненной поиском (*RAG*) для работы со специально подобранными эталонными источниками (учебниками, учебными пособиями, документацией); верификация, хранение, просмотр и редактирование дисциплин, программ, планов, промптов, настроек *LLM*, эталонных источников, генерация текстов программ.

Архитектура системы построена по многоуровневому принципу и включает несколько ключевых компонентов. На первом уровне находится клиентский слой, представляющий собой интерфейс для пользователя. Этот слой отвечает за прием запросов от пользователя и отображение полученных результатов.

Центральным элементом системы является оркестратор. Он управляет обработкой запросов, решает, когда достаточно простого ответа от *LLM*, а когда требуется подключение *RAG* или использование команды агентов. Оркестратор выбирает, какие агенты задействовать для обработки конкретного запроса, и контролирует последовательность их работы.

Система включает несколько типов агентов, каждый из которых выполняет специализированные задачи. *RAG*-агент обращается к векторной базе данных, обеспечивающей хранение и поиск эмбеддингов. В данной системе применяется векторная база данных *Qdrant*, поскольку она обеспечивает высокую скорость и качество семантического поиска. Данная база данных обладает высокой производительностью и разворачивается локально, имеет открытую лицензию. *Reasoning*-агент напрямую использует *LLM* для логических и аналитических рассуждений. *Tool*-агент взаимодействует с внешними сервисами и базами данных, выполняя необходимые операции и возвращая результаты.

LLM выполняет основную роль генеративного и аналитического ядра системы: формирует ответы, обобщает найденную информацию, проводит рассуждения и структурирует результаты. В данной системе выбрана модель *Qwen* согласно [1]. Данная модель была выбрана так как она демонстрирует высокое качество обработки русскоязычного текста, так же она обладает открытой лицензией, имеет контекстное окно до 256000 токенов, поддержку *reasoning*-операций и *RAG*-сценариев.

Для обеспечения поиска и отбора релевантной информации применяется эмбеддинговая модель *intfloat/multilingual-e5-base*, которая преобразует текстовые данные в числовые векторные представления (эмбеддинги), отражающие их семантическое сходство. Выбор модели осуществлялся по нескольким критериям: поддержка русского языка, высокое качество семантических представлений, обеспечивающее точный поиск по смыслу, а не только по ключевым словам, открытая лицензия и возможность локального использования без зависимости от внешних *API*. Эти векторы сохраняются во векторной базе данных и используются для поиска фрагментов, наиболее близких по смыслу к пользовательскому запросу. Результаты поиска передаются модели *Qwen*, что позволяет системе формировать более точные и обоснованные ответы при генерации учебных материалов согласно [2].

Агрегатор собирает частичные ответы, полученные от всех агентов, объединяет их в единый итоговый результат, добавляет информацию об источниках и передает ответ пользователю. Такая архитектура обеспечивает модульность, масштабируемость и возможность интеграции различных источников информации при формировании ответа.

Разработка и внедрение предложенной системы открывает перспективы для бо-

лее гибкого и персонализированного образования, автоматизации рутинных процессов проектирования курсов, а также интеграции современных технологий искусственного интеллекта в образовательную практику.

Литература

1. Yuxia, W. Factuality of Large Language Models: A Survey / W. Yuxia // ArXiv preprint arXiv: 2402.02420v3. – 2024. – 11 с.
2. Renata, N. Exploring the use of retrieval-augmented generation models in higher education: A pilot study on artificial intelligence-based tutoring / N. Renata // Social Sciences & Humanities Open. – 2025. – Т. 12, N 1. – С. 1–10. – Art. 101751.

ПРОБЛЕМА КОНТРОЛИРУЕМОСТИ И ВЕРИФИКАЦИИ В АВТОНОМНЫХ LLM-АГЕНТАХ

Ю. Д. Евженко, К. С. Курочка

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Происходит фундаментальный сдвиг от использования больших языковых моделей как пассивных инструментов генерации контента к их применению в качестве ядра рассуждений для автономных AI-агентов, способных к планированию и выполнению многошаговых задач. Однако их стохастическая природа вступает в противоречие с требованиями к безопасности и надежности систем управления. Целью работы является систематизация рисков, присущих LLM-агентам, при помощи использования архитектурных паттернов контроля, известных как «Guardrails». Методика исследования включает анализ и классификацию сбоев на этапах планирования и выполнения действий, а также систематизацию многоуровневых подходов к их предотвращению. В качестве результата предложена трехуровневая модель «Guardrails», обеспечивающая контроль над рассуждениями, действиями и последствиями, что закладывает основу для создания безопасных и предсказуемых AI-агентов.

Ключевые слова: LLM-агент, контролируемость, верификация, безопасность AI, Guardrails, архитектурный паттерн, автономные системы.

THE PROBLEM OF CONTROLLABILITY AND VERIFICATION IN AUTONOMOUS LLM AGENTS

Yu. D. Youzhanka, K. S. Kurochka

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

A fundamental shift is underway from using large language models (LLMs) as passive content generation tools to employing them as a reasoning core for autonomous AI agents capable of planning and executing multi-step tasks. However, their stochastic nature directly conflicts with the safety and reliability requirements of control systems. The aim of this work is to systematize the risks inherent in LLM agents by architectural control patterns known as "Guardrails". The research methodology includes the analysis and classification of failures at the planning and action execution stages, as well as the systematization of multi-level approaches to their prevention. The result is a proposed three-level "Guardrails" model that provides control over reasoning, actions, and consequences, laying the foundation for creating safe and predictable AI agents.

Keywords: LLM agent, controllability, verification, AI safety, Guardrails, architectural pattern, autonomous systems.

Большие языковые модели (LLM) эволюционируют от пассивных генераторов текста к центральным компонентам исполнительных систем или AI-агентов [1].

В отличие от традиционных *LLM*, отвечающих на запросы, агенты обладают способностью к автономному достижению целей, используя свое ядро рассуждений для декомпозиции задач, составления планов и использования внешних инструментов (например, *API*). Этот сдвиг парадигмы открывает беспрецедентные возможности, но обнажает фундаментальное противоречие: использование вероятностного ядра для управления системами, требующими детерминированного и безопасного поведения. Эта проблема является современным проявлением более общего класса «несчастливых случаев» в системах искусственного интеллекта, связанных с непреднамеренным и вредоносным поведением [2]. Целью настоящей работы является систематизация рисков, присущих *LLM*-агентам, и обзор архитектурных подходов, известных как «*Guardrails*», направленных на их контроль.

Сбои в работе *LLM*-агентов – это не просто некорректная информация, а ошибочные действия с потенциально деструктивными последствиями. Их можно классифицировать по этапу возникновения: сбои на этапе планирования (логически неверный план), сбои при использовании инструментов (синтаксически неверный вызов функции) и сбои на этапе выполнения (формально верное, но опасное действие). Прямое, неконтролируемое предоставление автономии *LLM*-агентам недопустимо в промышленных системах, что обуславливает необходимость в разработке архитектур контроля.

«*Guardrails*» – это архитектурные компоненты и методологии, предназначенные для предотвращения непреднамеренного и вредоносного поведения агента, то есть «несчастливых случаев», описанных в [1]. Их можно сгруппировать в трехуровневую модель защиты.

Первый уровень – контроль над рассуждениями. Эти методы структурируют «мыслительный» процесс агента. К ним относятся методики, заставляющие модель пошагово излагать свои рассуждения перед выдачей ответа (например, *Chain-of-Thought*) или фреймворки реализующие строгий цикл «рассуждение-действие» (например, *ReAct*) [3]. Это позволяет отслеживать логику и снижает вероятность спонтанных ошибок.

Второй уровень – контроль над действиями. Данные методы верифицируют команду агента перед ее выполнением. Наиболее распространенным подходом является автоматическая валидация сгенерированных вызовов *API* на соответствие заранее определенной схеме (*JSON Schema*, *Pydantic*), которая отбраковывает все синтаксически неверные команды. Для критически важных операций применяется подтверждение со стороны человека (*Human-in-the-Loop*), где агент лишь формирует команду, а ее исполнение требует явного одобрения.

Третий уровень – контроль над последствиями. Эти методы ограничивают потенциальный ущерб от действий агента, даже если они прошли предыдущие проверки. Ключевой техникой является выполнение команд в изолированной среде («песочнице», например, *Docker*-контейнере) с ограниченными правами доступа к сети и файловой системе, а также установка жестких лимитов на количество вызовов *API* или расходимый бюджет.

Внедрение «*Guardrails*» – это поиск компромисса между двумя ключевыми свойствами агента: автономией (способностью решать сложные задачи) и «выравниванием» (соответствием действий целям и ограничениям человека).

В ходе работы была проанализирована проблема контролируемости автономных *LLM*-агентов и систематизированы основные риски, связанные с их стохастической природой. В качестве результата предложена трехуровневая модель архитектурных паттернов контроля «*Guardrails*», включающая контроль на уровне рассуждений, действий и последствий. Анализ показал, что путь к созданию мощных и безопасных *LLM*-агентов лежит не столько в увеличении размера моделей,

сколько в разработке продуманных, многоуровневых архитектур контроля. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на создании методик, упрощающих проектирование и внедрение таких «Guardrails» для безопасного применения LLM-агентов в промышленных приложениях.

Литература

1. Курочка, К. С. Нейросетевая модель автогенерации тестов для студентов в системе Moodle на основе анализа методических материалов / К. С. Курочка, Ю. С. Башаримов // Цифровая трансформация. – 2025. – N 31 (3). – P. 66–75. – URL: <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-3-66-75> (дата обращения: 11.10.2025).
2. Amodei D., Olah C., Steinhardt J., Christiano P., Schulman J., Mané D. Concrete Problems in AI Safety // ArXiv preprint arXiv:1606.06565. – 2016.
3. Synergizing Reasoning and Acting in Language Models / S. Yao, J. Zhao, D. Yu [et al.] // International Conference on Learning Representations (ICLR), 2023.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE ACCURACY AND QUALITY OF LABELING AND SEGMENTATION OF MRI IMAGES OF THE HUMAN LUMBAR SPINE

Ren Huanhai^{1,2}, Wang Xuemei^{1,2}, K. S. Kurachka¹

¹Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

²Shandong Huayu Institute of Technology, Dezhou, People's Republic of China

This study proposes a unified evaluation framework for automated lumbar spine MRI segmentation and level-wise labeling using public multi-center data [1]. The protocol assesses detection/segmentation via mAP across IoU thresholds (0.50-0.95), mask quality via Dice and 95 % Hausdorff distance, and labeling accuracy on ROIs. It addresses cross-domain variations and recommends engineering strategies like a two-stage cascade. This structured approach ensures reproducibility and offers a stratified benchmark for future research.

Keywords: lumbar spine MRI, automated segmentation, level wise labelling, unified evaluation, cross domain generalization.

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА МАРКИРОВКИ И СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МРТ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ЧЕЛОВЕКА

Рен Хуанхай^{1,2}, Ванг Хуамей^{1,2}, К. С. Курочка¹

¹Гомельский государственный технический университет

имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

²Шаньдунский технологический университет Хуаюй, г. Дэчжоу,

Китайская Народная Республика

В данном исследовании предложена унифицированная система оценки для автоматизированной сегментации и поуровневой маркировки МРТ поясничного отдела позвоночника с использованием общедоступных данных [1]. Предлагаемая методика позволяет оценить локализацию/сегментацию с помощью mAP при пороговых значениях IoU (0,50–0,95), качество маски по методу Дайса и 95%-ному расстоянию Хаусдорфа, а также точность маркировки в областях интереса. В ней рассмотрены междоменные вариации и рекомендованы инженерные стратегии, такие как двухступенчатый каскад. Этот структурированный подход обеспечивает воспроизводимость и предлагает стратифицированный ориентир для будущих исследований.

Ключевые слова: МРТ поясничного отдела позвоночника, автоматизированная сегментация, маркировка по уровням, унифицированная оценка, междоменное обобщение.

Deep learning for lumbar spine MRI analysis localizes, segments, and labels vertebrae and discs to reduce manual workload and improve consistency [2]. While multistage pipelines show promise, robustness across imaging centers and sequences remains challenging. Public multi-center benchmarks, such as a dataset of 447 T1/T2 sagittal series, provide reference segmentations and labels, enabling cross-domain evaluation. A unified evaluation protocol is adopted: mAP over IoU thresholds from 0.50–0.95 for detection and segmentation, combined Dice and 95% Hausdorff distance for mask quality, and region-level accuracy for labeling. Following nnU-Net practices, standardized preprocessing and training are implemented to ensure reproducibility and fair comparison.

1. Public Resources and Evaluation Benchmarks

The SPIDER [1] benchmark serves as the principal public resource for reproducible research in lumbar spine MRI analysis. It comprises 447 T1/T2 sagittal series from 218 patients across four hospitals, providing reference segmentations for vertebral bodies, intervertebral discs, and the spinal canal, along with level-wise annotations. The dataset includes fixed training/validation splits and a held-out test set to facilitate fair cross-vendor and cross-protocol comparisons. Additionally, a smaller multi-scanner dataset of 34 cases is available for assessing cross-domain generalization. SPIDER is integrated with the Grand Challenge platform, enabling online evaluation while keeping test labels confidential.

We adopt a standardized labeling taxonomy: vertebrae L1–L5 and discs from L1–L2 to L5–S1 [2, 3]. Ambiguity from lumbosacral transitional vertebrae is resolved using the iliolumbar ligament as the anatomical landmark. To mitigate confounding effects from pathology-induced boundary ambiguity, we emphasize precise boundary definitions and recommend stratified performance reporting by sequence and scanner vendor.

2. Unified Evaluation Protocol

This study uses a consistent protocol: detection/instance segmentation use mAP (0.50–0.95 IoU, plus 0.50/0.75 and per-class results); mask quality uses Dice and 95th-percentile Hausdorff distance (by anatomy/level); level-wise labeling uses Top-1 accuracy/confusion matrix (vertebrae/discs separately). It follows COCO for detection.

Protocol details: patient-level splits (with IDs/seeds), specified preprocessing/augmentation, class imbalance solutions (report per-class/overall results), domain shift quantification (by vendor/T1–T2), and released metric scripts/model info for reproducibility.

3. Cross-domain generalization: sources and strategies

In multi-center lumbar spine MRI, domain shift stems from acquisition (vendor, T1/T2, resolution, etc.) and annotation (nomenclature/boundary inconsistencies). Results should be stratified by vendor/sequence/resolution, with harmonized terminology.

Mitigation: two-stage cascade (high-recall detector + high-fidelity segmenter), topology-aware postprocessing, class resampling/loss weighting (rare levels), test-time augmentation. These boost cross-domain stability under unified reporting.

This study proposes a unified lumbar spine MRI evaluation framework using public multi-center data, employing mAP (IoU 0.50–0.95) for detection/segmentation, Dice and 95 % Hausdorff distance for mask quality, and level accuracy within ROIs to quantify domain shifts and enhance reproducibility. Future work should implement patient-level splits, stratified reporting by vendor/sequence, and a two-stage cascade with topology-constrained postprocessing, augmented by resampling for rare levels and test-time augmentation. Subsequent studies should target per-class mAP ≥ 0.80 and level accuracy $\geq 97\%$ using representative models to ensure clinically applicable results.

References

1. SPIDER – URL: <https://zenodo.org/records/10159290>, VB/IVD DB: <https://osf.io/-qx5rt/> (date of access: 11.10.2025).

2. Kanstantsin Kurachka, Ren Huanhai. Intelligent System for Analyzing MRI Images to Find the Main Elements of the Human Spine // 2025 Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2025). – С. 361–366.
3. Kurachka Kanstantsin, Ren Huanhai, Wang Xuemei .Comparative Analysis of Deep Learning Models for Lumbar Vertebrae Segmentation in MRI Image // 2025 Pattern Recognition And Information Processing (PRIP 2025). – С. 176–179.

RESEARCH ON THE METHOD OF HUMAN LUMBAR SPINE MODEL RECONSTRUCTION BASED ON PUBLIC DATASETS

Wang Xuemei^{1,2}, Ren Huanhai^{1,2}, K. S. Kurachka¹

¹*Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

²*Shandong Huayu Institute of Technology, Dezhou, People's Republic of China*

This paper aims to describe a standardized reconstruction process for computational biomechanical models of the human lumbar spine based on publicly available CT datasets. The process begins with the geometric and topological information of the publicly available datasets and proceeds through three sequential stages: data preprocessing, geometric model reconstruction, and biomechanical modeling and simulation, ultimately generating a patient-specific model suitable for simulation analysis. This paper systematically discusses the fundamental role of publicly available datasets as data sources in the reconstruction process, and proposes a series of methods for reconstructing computational models of the human lumbar spine. This work provides a clear technical path for the reproducible construction of computational lumbar spine models.

Keywords: model reconstruction, computational biomechanics, public dataset, process, parameterization, validation.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА РЕКОНСТРУКЦИИ 3D-МОДЕЛИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ОБЩЕДОСТУПНЫХ НАБОРОВ ДАННЫХ

Ванг Хуамей^{1,2}, Рен Хуанхай^{1,2}, К. С. Курочка¹

¹*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

²*Шаньдунский технологический университет Хуаюй, г. Дэчжоу
Китайская Народная Республика*

Целью данной работы является формализация стандартизированного процесса реконструкции для вычислительных биомеханических моделей поясничного отдела позвоночника человека на основе общедоступных наборов данных КТ. Процесс начинается с формирования геометрической и топологической информации общедоступных наборов данных и проходит через три последовательных этапа: предварительную обработку данных, реконструкцию геометрической модели и биомеханическое моделирование и симуляцию, в конечном итоге создавая специфичную для пациента модель, пригодную для симуляционного анализа. В данной работе систематически обсуждается фундаментальная роль общедоступных наборов данных как источников данных в процессе реконструкции и предлагается ряд методов реконструкции вычислительных моделей поясничного отдела позвоночника человека. Данная работа предоставляет четкий технический путь для воспроизводимого построения вычислительных моделей поясничного отдела позвоночника.

Ключевые слова: реконструкция модели, вычислительная биомеханика, публичный набор данных, процесс, параметризация, проверка.

In the field of computational biomechanics, constructing a high-fidelity human lumbar spine model is a prerequisite for any quantitative analysis. However, traditional model reconstruction processes often rely on in-house, non-public data and methods, limiting their reproducibility and comparability [1]. The recent release of publicly available CT datasets with detailed annotations (such as VerSe and CTSpine1K) has provided an opportunity to address this issue. They provide standardized, auditable input for model reconstruction.

The current research gap is the lack of a clear, end-to-end standardized reconstruction process to clearly guide how to systematically generate a model that can be used for biomechanical calculations from these publicly available data. The core contribution of this paper is that we define and validate a hierarchical model reconstruction process, and deeply analyze how the public datasets serve as the foundation of this process, how the core reconstruction technology (parameterization) plays a role, and how the hierarchical validation metrics ensure the quality of the final model [2].

Public datasets are the standardized cornerstone of the framework. Our selection strategy focuses on large, publicly available CT datasets with clear vertebral level annotations. These datasets play an indispensable role in this framework, and their core value lies in providing a common starting point for the modeling process.

Standardized source for geometry and annotation provides a stable, unified source of geometry and annotation for patient-specific modeling. Directly using this pre-annotated data bypasses the bias introduced by varying segmentation protocols across institutions and ensures that all models are constructed using the same anatomical definitions [1–3].

And the large, multi-center sample allows us to stress-test the entire automated pipeline, from segmentation to simulation. By running the pipeline on data from different devices, pathologies, and voxel sizes, we can assess its robustness and ensure that the framework is not limited to a specific type of scan data.

Proposed in this study for reconstructing the computational model of the human lumbar spine is a sequentially executed, modular pipeline.

Data processing stage: Input the original CT image and preprocess the data, such as grayscale normalization, which can standardize the grayscale value of the CT image to ensure the consistency of data under different equipment and different scanning conditions.

1. Geometric model reconstruction: During the model reconstruction phase, an automated segmentation algorithm (such as a deep learning model) is used to separate each vertebra from the CT image. Surface mesh reconstruction is then performed, converting the segmented vertebral regions into a 3D surface mesh model (such as in STL format). Simultaneously, the generated mesh is smoothed to remove noise and irregularities, improving model quality. Finally, a 3D spinal model is obtained through segmentation.

2. Based on the generated geometric model, a biomechanical model is established, combined with the Gibbon toolbox Using tools such as MATLAB, we developed an automated program to implement lumbar spine finite element meshing, load path and nucleus pulposus area delineation, and the setting of material properties and boundary conditions. We also designed a user interface for the automated lumbar spine model processing program, enabling users to easily load, process, and export lumbar spine model data.

This article details a human lumbar spine reconstruction process based on a public dataset. Parameterization is the core technical component of the reconstruction, while the public dataset serves as the starting point and quality assurance for the process. These components are closely interwoven with this core component, forming a complete, reliable, and auditable model reconstruction solution.

References

1. Kurachka K. S., Tsalka I. M. Vertebrae detection in X-ray images based on deep convolutional neural networks. 2017 IEEE 14th International Scientific Conference on Informatics. – IEEE, 2017, pp. 194–196.
2. Kurachka Kanstantsin, Ren Huanhai, Wang Xuemei .Comparative Analysis of Deep Learning Models for Lumbar Vertebrae Segmentation in MRI Images. 2025 Pattern Recognition And Information Processing(PRIP 2025), pp. 176–179.
3. Kanstantsin Kurachka, Xuemei Wang. Automation of primary diagnostics of diseases of the human lumbar spine using intelligent analysis of ct images // 2025 Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2025), pp. 355–360.

ПРОЦЕДУРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ КОНТЕНТА

И. В. Морозько, И. И. Суторьма

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Рассмотрена процедурная генерация контента, алгоритмы процедурной генерации, преимущества их использования в разработке программного обеспечения, области их применения, существующие подходы и методы их оптимизации.

Ключевые слова: алгоритмы, процедурная генерация, разработка программного обеспечения, оптимизация.

PROCEDURAL CONTENT GENERATION

I. V. Marozka, I. I. Sutorma

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This article discusses procedural content generation, procedural generation algorithms, the advantages of their use in software development, their areas of application, existing approaches and methods of their optimization.

Keywords: algorithms, procedural generation, software development, optimization.

Процедурная генерация контента (ПГК) – одно из наиболее активно развивающихся направлений в сфере информационных технологий. Под ПГК понимают автоматическое или полуавтоматическое создание и динамическое изменение элементов: объектов 2D/3D-графики, визуальных эффектов, звуков, музыки и других компонентов виртуальной среды. Современные технологии позволяют создавать огромные виртуальные пространства и сложные симуляции, однако ручное проектирование требует колоссальных затрат времени и ресурсов. Использование ПГК решает сразу несколько задач: ускоряет процесс разработки, снижает нагрузку на команду и обеспечивает разнообразие уникальных объектов, что особенно важно для симуляций и тренажеров [1].

Исследования в этой области сосредоточены на разработке алгоритмов, способных автоматически формировать ландшафты, объекты и иные структуры. Такие алгоритмы позволяют создавать большие и детализированные виртуальные пространства, где ручная работа была бы практически невозможна [2, с. 59].

Процедурная генерация используется в самых разных областях:

- игровая индустрия: создание уникальных миров, уровней и персонажей;
- симуляторы и тренажеры: генерация реалистичных ландшафтов и сценариев для обучения пилотов, водителей или военных специалистов;

- архитектура и дизайн: автоматическая генерация планировок зданий и интерьеров;
- музыка и искусство: создание уникальных композиций и визуальных эффектов.

ПГК становится универсальным инструментом, применимым в самых разных сферах, однако применение ПГК снижает степень контроля разработчика над результатом, что порождает дополнительную задачу – изучение влияния сгенерированного контента на восприятие пользователя [3, с. 195].

Одними из самых простых и широко используемых методов ПГК являются алгоритм случайной генерации. Он основан на генераторах псевдослучайных чисел, которые задают параметры объектов. Преимущества: простота реализации, высокая скорость работы, легкая интеграция с другими системами. Недостатки: риск получения неестественных или однообразных результатов, трудности с обеспечением качества. Пример использования такого алгоритма может служить генерация ландшафтов с помощью шума Перлина, позволяющего создавать реалистичные горы, долины и пещеры.

Грамматические системы используют формальные правила для построения структур. Преимущества: предсказуемость результата, контроль над структурой, гибкость изменения правил. Недостатки: сложность настройки и значительные вычислительные затраты. Применяются для генерации архитектуры зданий и интерьеров, что позволяет создавать реалистичные пространства, соответствующие определенным стилям.

Эволюционные алгоритмы имитируют процесс естественного отбора: создается популяция решений, применяются мутации и скрещивания, выбираются лучшие варианты. Преимущества: эффективность при оптимизации сложных систем, способность находить решения в многомерных пространствах, адаптивность. Недостатки: высокая вычислительная стоимость, необходимость точной настройки параметров, непредсказуемость первых результатов.

Машинное обучение. Нейронные сети обучаются на примерах существующего контента и создают новые объекты. Преимущества: высокая реалистичность, способность к самообучению, сходство с человеческим творчеством. Недостатки: потребность в больших объемах данных, сложность настройки и высокая нагрузка на вычислительные ресурсы. Этот метод активно используется в генерации изображений, музыки и даже сюжетов.

Для практического применения ПГК критически важна оптимизация. Цель оптимизации – повысить эффективность генерации контента и снизить нагрузку на систему.

Основные методы:

- *кэширование*. Сохранение ранее сгенерированных данных для повторного использования. Ускоряет загрузку и снижает нагрузку на процессор, но требует дополнительной памяти и усложняет обновление контента;

- *параллельная обработка*. Разделение задач между потоками или устройствами. Позволяет ускорить генерацию, но требует сложной синхронизации и усложняет отладку;

- *оптимизация памяти*. Использование компактных структур данных, методов сжатия и управления ресурсами. Повышает производительность, но усложняет код и может замедлить генерацию из-за дополнительных операций;

- *адаптивное масштабирование сложности*. Динамическая подстройка уровня детализации под ресурсы устройства. Обеспечивает стабильность работы на разных платформах, но требует постоянного мониторинга производительности и может снижать качество при высокой нагрузке.

Оптимизация должна учитываться уже на этапе проектирования архитектуры системы. Грамотный выбор структур данных и алгоритмов значительно упрощает дальнейшую разработку и снижает затраты на поддержку.

Процедурная генерация контента обладает огромным потенциалом для повышения эффективности и креативности в решении множества задач. Современные алгоритмы, включая машинное обучение, позволяют создавать контент, сопоставимый с традиционным. Ключевыми задачами остаются оптимизация производительности, разработка гибких систем параметризации и методов оценки качества. Комбинация программирования, ИИ и визуализации открывает возможности для создания сложных генераторов, применимых в играх, симуляциях и других областях, где требуется масштабное виртуальное окружение.

Литература

1. Процедурная генерация / Wikipedia. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Процедурная_генерация (дата обращения: 11.10.2025).
2. Шорт, Т. Процедурная генерация в гейм-дизайне / пер. с англ. М.С. Рыжиковой ; под ред. Т. Шорт и Т. Адамса. – М. : ДМК Пресс, 2020. – 344 с.
3. Shaker, N. Procedural Content Generation in Games (Computational Synthesis and Creative Systems) / N. Shaker, J. Togelius, M. Nelson. – С. : Springer, 2016. – 253 p.

LUBRICATING OIL PROPERTY INSIGHTS THROUGH SIMPLIFIED MEASUREMENT

Wang Hao, Zhang Nan, V. V. Komrakov

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This small report aims to provide an overview of key measurable physical and chemical properties of lubricating oils, along with simplified measurement methods using more accessible tools. The focus is on practical parameters that can be conveniently tested to assess oil quality and performance. All information in the work is collected in accordance with the National Standards of China. These parameters can be used in intelligent systems to control and predict the condition of lubricating oil during work processes.

Keywords: intelligent system, wear prediction, lubricating oil properties, simplified measurement methods.

АНАЛИЗ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ С ПОМОЩЬЮ УПРОЩЕННЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ

Ван Хао, Чжан Нань, В. В. Комраков

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Целью данного небольшого исследования является обзор ключевых измеряемых физико-химических свойств смазочных масел, а также упрощенных методов измерения с использованием более доступных инструментов. Основное внимание уделяется практическим параметрам, которые можно легко измерить для оценки качества и эксплуатационных характеристик масла. Вся информация в работе собрана в соответствии с Национальными стандартами Китая. Эти параметры могут применяться в интеллектуальных системах для контроля прогнозирования состояния смазочного масла во время протекания рабочих процессов.

Ключевые слова: интеллектуальная система, прогнозирование износа, свойства смазочного масла, упрощенные методы измерений.

Introduction. This report summarizes key measurable physical and chemical properties of lubricating oils and outlines simplified methods for their assessment using accessible tools. It focuses on practical parameters for convenient oil quality (physical,

performance and chemical indicators). Compiled in accordance with China's National Standards [1], this data is suitable for integration into intelligent systems to monitor and predict lubricating oil condition during operation.

Physical Property Indicators (Directly Measurable)

Kinematic Viscosity (National Standard of China 265). **Measurement Tool.** Capillary viscometer.

Method of Measurement. Place the sample in the capillary viscometer and immerse it in a constant-temperature bath at 40 and 100 °C respectively. Measure the time taken for sample to flow through a specified capillary under gravity. Calculate kinematic viscosity (ν) using formula:

$$\nu = Ct,$$

where C – the viscometer constant; t – the flow time.

Distinguishing Values. Different oils have distinct kinematic viscosity values at 40 °C and 100 °C. For example, common industrial lubricating oils may have kinematic viscosities ranging from a few dozen to several hundred square millimeters per second (mm^2/s) at 40 °C.

Pour Point (National Standard of China 3535). **Measurement Tool.** Cooling apparatus (such as a refrigerator or a low-temperature bath), thermometer, and a container for the sample.

Method of Measurement. Place the sample in the container and cool it gradually in the cooling apparatus. At regular temperature intervals (usually 3°C), tilt the container to observe if the sample flows. The lowest temperature at which the sample still shows fluidity when tilted is the pour point.

Distinguishing Values. Pour points vary widely depending on the oil type. For example, some winter-grade diesel fuels may have pour points as low as –40 °C, while some heavy-duty lubricating oils may have pour points around –10 °C.

Density (National Standard of China 1884 – Pycnometer Method). **Measurement Tool:** Pycnometer, balance, and a thermometer.

Method of Measurement. Weigh the empty pycnometer, then fill it with the sample and weigh it again. Measure the temperature of the sample. Calculate the density using formula

$$\rho = (m^2 - m^1)/V,$$

where m^1 – the mass of the empty pycnometer; m^2 – the mass of the pycnometer filled with the sample; V – the volume of the pycnometer.

Distinguishing Values. Densities of oils are usually in the range of 0.7–0.95 g/cm^3 . For example, diesel fuel may have a density around 0.83–0.86 g/cm^3 .

Chemical Property Indicators (Laboratory Tests)

Acid Value (National Standard of China 264). **Measurement Tool.** Burette, conical flask, and a KOH (potassium hydroxide) solution of known concentration.

Method of Measurement. Dissolve a known amount of the sample in a suitable solvent (such as a mixture of ethanol and ether). Titrate the solution with the KOH solution until the endpoint (usually indicated by a color change of the indicator) is reached. Calculate the acid value using the formula:

$$\text{Acid value} = (Vc \cdot 56.1)/m,$$

where V – the volume of the KOH solution used (mL); c – the concentration of the KOH solution (mol/L); m – the mass of the sample (g).

Distinguishing Values. Acid values are expressed in mg KOH/g. Fresh lubricating oils typically have low acid values, often less than 0.5 mg KOH/g, while used or degraded oils may have higher acid values.

Water Content (National Standard of China 260). **Measurement Tool.** Distillation apparatus (including a distillation flask, condenser, and receiver), and a solvent (such as xylene).

Method of Measurement. Add a known amount of the solvent and the sample to the distillation flask. Heat the flask to distill the water along with the solvent vapor. The water condenses in the receiver. Measure the volume of the collected water. Calculate the water content as a percentage of the sample mass.

Distinguishing Values. Water content is expressed as a percentage. For most lubricating oils, the acceptable water content is usually less than 0,1 %.

Performance Indicators (Simulated Working Condition Tests)

Demulsibility (National Standard of China 7305). **Measurement Tool.** Beaker, stirrer and timer.

Method of Measurement. Mix a specified volume of the oil sample with a specified volume of water in the beaker. Stir the mixture at a constant speed for a specified time. Then, stop stirring and measure the time required for the oil-water mixture to separate into distinct layers.

Conclusion. Simplified methods for measuring key oil properties (viscosity, pour point, etc.) provide practical lubricating oil quality assessment. These vital parameters enable easy monitoring and maintenance, ensuring optimal equipment performance. These parameters can be used in the newest artificial intelligence systems designed to predict the condition of lubricating oil and its impact on the wear process.

References

1. China GB Standards Search System. – URL: <https://www.gbstandards.org> (date of access: 10.09.2025).

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТА РУП «ГОМЕЛЬЭНЕРГО»

Е. И. Маслак, В. В. Комраков

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Изложены вопросы разработки и внедрения информационно-аналитической системы, направленной на повышение экономической эффективности эксплуатации автотранспорта РУП «Гомельэнерго». Описаны цели и задачи системы, архитектурные и технологические решения, обеспечивающие надежность, масштабируемость и интеграцию с корпоративной инфраструктурой предприятия. Рассмотрены ожидаемые результаты внедрения, выражающиеся в снижении эксплуатационных расходов, сокращении простоев техники, повышении прозрачности процессов учета и планирования, а также в общем росте эффективности работы автопарка.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, цифровизация, автотранспорт, *ASP.NET Core*, *Entity Framework*, управление автопарком, эффективность, автоматизация, *MS SQL Server*.

INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR IMPROVING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF MOTOR TRANSPORT OF RUE GOMELENERGO

E. I. Maslak, V. V. Komrakov

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The issues of developing and implementing an information and analytical system aimed at improving the economic efficiency of operating vehicles of RUE Gomelenergo are considered. The goals and objectives of the system, architectural and technological solutions that ensure reliability, scalability and integration with the enterprise's corporate infrastructure are described. The expected results of the implementation are considered, which are expressed in lower operating costs, reduced downtime, increased transparency of accounting and planning processes, as well as an overall increase in fleet efficiency.

Keywords: information and analytical system, digitalization, motor transport, ASP.NET Core, Entity Framework, Fleet Management, Efficiency, Automation, MS SQL Server.

Современные предприятия энергетического сектора находятся в условиях активной цифровой трансформации, когда эффективность производственных процессов напрямую зависит от уровня автоматизации и качества информационных систем. Одним из ключевых направлений цифровизации является управление транспортными средствами, поскольку автопарк играет важную роль в обеспечении бесперебойной деятельности предприятия.

Для РУП «Гомельэнерго» автотранспорт является неотъемлемой частью производственного процесса. Он используется для транспортировки оборудования, оперативного выезда ремонтных бригад, доставки персонала и выполнения различных хозяйственных задач. От эффективности работы автопарка напрямую зависит скорость реагирования на аварийные ситуации, качество обслуживания инфраструктуры и общие показатели производительности предприятия.

В условиях увеличения эксплуатационных затрат, роста цен на топливо и необходимости повышения прозрачности расходования ресурсов становится очевидной потребность в внедрении специализированной информационно-аналитической системы. Такая система должна обеспечить централизованный учет, контроль технического состояния автомобилей, планирование ремонтов, анализ расхода топлива и оптимизацию логистических маршрутов.

Внедрение цифровой платформы управления автотранспортом позволяет автоматизировать рутинные операции, сократить количество ошибок при ведении отчетности, а также повысить качество управленческих решений за счет аналитических данных.

Разрабатываемая информационно-аналитическая система ориентирована на решение комплекса задач, связанных с управлением автопарком предприятия. Она обеспечивает регистрацию транспортных средств, учет пробегов и расхода топлива, планирование и контроль технического обслуживания, а также ведение журналов ремонтов и диагностики. Кроме того, система формирует отчеты и аналитические графики, которые помогают руководителям оценивать эффективность использования автотранспорта, выявлять проблемные зоны и принимать управленческие решения, основанные на данных.

Архитектура системы построена на основе модели *MVC (Model–View–Controller)*, которая обеспечивает логическое разделение приложения на три уровня: модель данных, бизнес-логику и пользовательский интерфейс. Это позволяет повысить читаемость и сопровождаемость кода, а также упростить процесс тестирования и расширения функционала.

Технологической основой разработки выбрана платформа *ASP.NET Core*, отличающаяся высокой производительностью, безопасностью и кроссплатформенностью. Для взаимодействия с базой данных используется *Entity Framework Core*, обеспечивающий удобное управление данными и поддержку миграций. В качестве системы управления базами данных применен *Microsoft SQL Server*, обладающий стабильностью, надежностью и широкими возможностями масштабирования [1].

Пользовательский интерфейс реализован с использованием *Bootstrap*, что позволяет обеспечить современный адаптивный дизайн, корректное отображение на различных устройствах и удобство работы с системой как на настольных компьютерах, так и на планшетах и смартфонах. Для визуализации аналитических данных применяется *Chart.js*, позволяющая строить наглядные графики и диаграммы, отражающие динамику расхода топлива, пробегов, ремонтов и других показателей.

Разработка и внедрение информационно-аналитической системы позволяет существенно повысить экономическую эффективность эксплуатации автопарка. За счет автоматизации учета и контроля технического состояния транспортных средств снижается вероятность ошибок и злоупотреблений, связанных с использованием топлива и пробегов. Анализ данных в режиме реального времени позволяет выявлять неэффективное использование автотранспорта, оптимизировать маршруты движения и планировать техобслуживание таким образом, чтобы минимизировать простои техники [2].

Экономический эффект от внедрения системы проявляется в сокращении расходов на топливо, снижении затрат на внеплановые ремонты, уменьшении времени простоя техники и повышении эффективности использования персонала. Внедрение такой системы способствует повышению прозрачности управленческих процессов и формированию единой базы данных, доступной всем заинтересованным подразделениям [3].

Литература

1. Паньков, А. В. Разработка информационных систем на платформе .NET / А. В. Паньков. – Минск : Новое знание, 2021. – 320 с.
2. Жданов, П. С. Информационные технологии в управлении автопарком / П. С. Жданов. – М. : Наука и образование, 2020. – 278 с.
3. Назаренко, В. Г. Цифровизация транспортных процессов и ее влияние на эффективность предприятий / В. Г. Назаренко // Современные технологии в промышленности. – 2023. – № 4. – С. 55–63.

УПРАВЛЕНИЕ ВЫВОДОМ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА СВЕТОДИОДНЫЕ МАТРИЦЫ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

Е. А. Черкас, В. В. Комраков

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Рассмотрено проектирование программно-аппаратного комплекса для вывода изображений на одну светодиодную матрицу с применением микроконтроллера ESP-32.

Ключевые слова: вывод изображения, программно-аппаратный комплекс, светодиодная матрица, микроконтроллер ESP-32.

CONTROL OF IMAGE OUTPUT TO LED MATRICES WITHOUT THE USE OF DISTRIBUTED SYSTEMS

E. A. Cherkas, V. V. Komrakov

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper discusses the design of a hardware and software system for displaying images on a single LED matrix using the ESP32 microcontroller.

Keywords: image output; hardware and software complex; LED matrix; ESP-32 microcontroller.

Современные информационные технологии все активнее используют светодиодные матрицы для отображения визуального контента. Такие устройства находят применение в системах навигации, рекламных установках, образовательных и промышленных комплексах. Однако большинство существующих решений базируется на распределенных системах управления, что усложняет разработку, повышает требования к сетевой инфраструктуре и увеличивает стоимость внедрения. В связи с этим актуальной задачей является создание локализованного решения, позволяющего управлять выводом изображения на светодиодные матрицы без применения распределенных систем. Такой подход обеспечивает простоту эксплуатации, снижение аппаратных затрат и повышение надежности работы.

Для реализации системы управления выводом изображения на светодиодные матрицы была выбрана интегрированная среда разработки *Arduino IDE*. В качестве аппаратной платформы использован микроконтроллер *ESP32*, обладающий высокой производительностью, встроенными интерфейсами (*SPI*, *PC*, *UART*) и поддержкой беспроводной связи *Wi-Fi/Bluetooth*, что делает его универсальным решением для задач отображения графической информации. Данный инструмент предоставляет широкий спектр возможностей для создания приложений, работающих с аппаратными интерфейсами и графическими библиотеками. В качестве языка программирования использован *C++*, что обеспечивает высокую производительность и прямой доступ к низкоуровневым функциям управления портами ввода-вывода. Для формирования графического интерфейса оператора применяются библиотеки *Qt*, позволяющие создавать удобные панели управления и визуализировать состояние системы в реальном времени. Такой выбор инструментов обеспечивает баланс между гибкостью разработки и эффективностью работы конечного приложения.

Разработанная система управления построена по трехуровневой модели:

- уровень представления – графический интерфейс, реализованный на базе *Qt*, обеспечивает оператору возможность выбора изображений, настройки параметров вывода (яркость, скорость обновления, режим отображения) и контроля состояния матрицы;

- уровень логики – программные модули на *C++* выполняют обработку команд пользователя, преобразование изображений в формат, совместимый с конкретной светодиодной матрицей, а также управление последовательностью передачи данных;

- уровень данных – локальное хранилище (файловая система или простая база данных *SQLite*), где сохраняются изображения, шаблоны и настройки. Отсутствие распределенной архитектуры позволяет исключить сетевые задержки и повысить устойчивость системы к сбоям.

Архитектура приложения представлена на рис. 1.



Рис. 1. Архитектура приложения

Представленная архитектура демонстрирует модульное разделение системы на три функциональных уровня, что позволяет упростить разработку, сопровождение и масштабирование приложения. Пользователь взаимодействует с системой через графический интерфейс, где выполняется выбор изображения и настройка параметров. Далее управляющие команды передаются в программную логику, которая выполняет преобразование данных и управляет процессом вывода. Готовые данные сохраняются или загружаются из локального хранилища, что исключает необходимость сетевой инфраструктуры и обеспечивает автономную работу системы. Такой подход повышает надежность и делает систему независимой от внешних серверов и распределенных систем управления.

Разработанное решение для управления выводом изображения на светодиодные матрицы без применения распределенных систем демонстрирует высокую эффективность и простоту эксплуатации. Оно может быть использовано в образовательных учреждениях, на промышленных объектах, в рекламных и информационных установках. В отличие от аналогичных решений, основанных на распределенных системах (например, *Screenly* или *Yodeck*), предложенный подход не требует сложной сетевой инфраструктуры и обеспечивает более высокую надежность при локальной эксплуатации. Однако вывод на несколько матриц одного изображения затруднен. Для этого необходимо разработать распределенную систему для вывода изображений на несколько матриц.

Литература

1. Петросян, А. В. Встраиваемые микрокомпьютерные системы управления / А. В. Петросян. – М. : БХВ-Петербург, 2018. – 384 с.
2. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. – URL: <https://docs.espressif.com/> (date of access: 10.10.2025).
3. PxMatrix LED MATRIX library for ESP8266, ESP32. – URL: <https://github.com/2dom/PxMatrix> (date of access: 10.10.2025).

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Я. А. Поливач, В. И. Токочаков

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Представлена разработка компьютерной модели холодильной компрессорной станции с интегрированной системой рекуперации отводимого тепла и обзор соответствующих программных средств для ее реализации. Математическая модель основана на термодинамическом балансе основных узлов компрессорной станции, включая компрессор, конденсатор, испаритель и теплообменник-рекуператор. Для численного решения были использованы языки Modelica и MATLAB/Simulink, а также пакеты EES и COMSOL Multiphysics. В качестве примера моделирования рассмотрен типовой промышленный случай, показавший повышение общей энергетической эффективности установки на 12 % за счет утилизации низкопотенциального тепла от конденсации и охлаждения масла.

Ключевые слова: холодильная компрессорная станция, рекуперация тепловой энергии, термодинамическая модель, Modelica, MATLAB/Simulink, EES, COMSOL Multiphysics.

COMPUTER MODEL AND SOFTWARE TOOLS FOR SIMULATING THE OPERATION OF A REFRIGERATION COMPRESSOR STATION WITH HEAT RECOVERY

Y. A. Polivach, V. I. Tokochakov

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper presents the development of a computer model of a refrigeration compressor station with an integrated waste heat recovery system and provides an overview of the relevant software tools for its implementation. The mathematical model is based on the thermodynamic balance of the main units of the compressor station, including the compressor, condenser, evaporator, and heat recovery exchanger. For numerical solutions, the Modelica and MATLAB/Simulink languages were used, along with the EES and COMSOL Multiphysics packages. As a modeling example, a typical industrial case was considered, which demonstrated an increase in the overall energy efficiency of the installation by 12% due to the utilization of low-grade heat from condensation and oil cooling.

Keywords: refrigeration compressor station, heat recovery, thermodynamic model, Modelica, MATLAB/Simulink, EES, COMSOL Multiphysics.

Современные холодильные системы потребляют значительные объемы электроэнергии и выделяют в окружающую среду отработанное тепло, часто не используемое в производственных процессах. Внедрение систем рекуперации позволяет возвращать часть этой энергии для технологических нужд или системы отопления, снижая эксплуатационные расходы и углеродный след предприятия. Задача создания точной компьютерной модели компрессорной станции с рекуперацией тепла требует учета сложных термодинамических и гидравлических процессов, что диктует выбор специализированных программных средств для анализа динамических режимов и оптимизации параметров работы.

В работе рассмотрены математическая модель и программные средства для моделирования работы холодильной компрессорной станции с рекуперацией тепловой энергии. В основе модели лежит баланс массовых и энергетических потоков в узлах

компрессора, конденсатора, испарителя и дополнительного рекуператора, расположенного между выходом испарителя и входом сжатия. Уравнения состояния хладагента и теплообмена формулируются через зависимости давления, энтальпии и температуры, а потери давления и эффективность теплообменных аппаратов учитываются эмпирическими корреляциями [1].

Среды моделирования:

– Modelica (Dymola/OpenModelica) – обеспечивает компонентный подход и готовые библиотеки холодильных циклов; подходит для анализа переходных процессов [1];

– MATLAB/Simulink – удобен для быстрой прототипизации и интеграции с алгоритмами управления, используется при синтезе ПИД-регуляторов и оптимизации режимов [1];

– Engineering Equation Solver (EES) – решает системы нелинейных уравнений термодинамики, часто применяется для первичных расчетов тепловых балансов [2];

– COMSOL Multiphysics – предназначен для детального CFD-анализа потоков в теплообменниках и оценки локальных неоднородностей температурного поля [3].

Модель была реализована параллельно в средах Modelica и MATLAB/Simulink. Результаты сравнивали с данными опытной установки и результатами CFD-модели в COMSOL. Максимальное расхождение по ключевым параметрам (давление, температура конденсации, хладопроизводительность) не превысило 5 %.

Разработанная компьютерная модель и примененные программные средства демонстрируют высокую точность и универсальность при проектировании холодильных компрессорных станций с рекуперацией тепловой энергии. Интеграция Modelica, MATLAB/Simulink и EES обеспечивает баланс между скоростью моделирования и глубиной анализа, а COMSOL Multiphysics позволяет детализировать гидродинамические аспекты. Внедрение предложенной методики способно повысить энергетическую эффективность холодильных комплексов на 10–15 % и снизить эксплуатационные затраты.

Л и т е р а т у р а

1. Петров, Е. Т. Компьютерное проектирование низкотемпературных систем / Е. Т. Петров, А. А. Круглов. – СПб. : Университет ИТМО, 2021. – 122 с.
2. Хутская, Н. Г. Циклы паросиловых установок : учеб.-метод. пособие по дисциплине «Термодинамика» для студентов специальности «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» / Н. Г. Хутская, Г. И. Пальченко, А. В. Новик. – Минск : БНТУ, 2022. – 56 с.
3. Optimization of vapor compression refrigeration systems using phase change material and thermoelectric generator / S. N. R. Vallapureddy, L. N. V. Venkata Swamy, N. K. Addanki [et al.] ; Sādhana – Academy Proceedings in Engineering Sciences, 2025. – 122 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГИДРОСИСТЕМЫ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЗЧИКА В ПРИЛОЖЕНИИ AUTOMATION STUDIO

Д. А. Клевжиц, Ю. А. Андреевец, Д. Л. Стасенко

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Представлена гидравлическая схема рулевого управления телескопического погрузчика и компьютерная модель, построенная при помощи программного пакета Automation Studio. Разработанная модель позволяет проследить процессы в гидролиниях, определить взаимосвязь элементов системы, проверить корректность расчетных данных. Графический интерфейс позволяет управлять моделью и получать результаты для дальнейшего исследования.

Ключевые слова: гидравлическая система рулевого управления, компьютерная модель гидросистемы, Automation Studio.

MODELING THE OPERATION OF HYDRAULIC STEERING SYSTEM OF A LOADER IN AUTOMATION STUDIO

D. A. Klevzhits, Yu. A. Andreyevets, D. L. Stasenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper presents a hydraulic circuit of the steering system of a telescopic loader and a computer model developed using the Automation Studio software package. The created model makes it possible to trace the processes in the hydraulic lines, determine the interconnection of system components, and verify the accuracy of calculated data. The graphical interface allows the user to control the model and obtain results for further research.

Keywords: hydraulic steering system, computer model of hydraulic system, Automation Studio.

Современные телескопические погрузчики относятся к классу специализированной техники. Одним из важнейших узлов является система рулевого управления, от которой зависит точность маневрирования и удобство эксплуатации машины. Рулевое управление обеспечивает поворот машины за счет: переднего управляемого моста (транспортный режим); переднего и заднего управляемых мостов (режим «минимальный радиус поворота»); поворот колес переднего и заднего управляемых мостов + в одну сторону (режим «краб»).

Исследования, направленные на построение математических моделей систем мобильных машин, являются важнейшей задачей для получения точных значений параметров работы системы и сопоставление расчетных данных с результатами моделирования. Использование имитационного моделирования позволяет упростить решение задач регулирования, управления, статики, динамики, исходя из единых методических позиций гидравлических систем и объединить все исследования в одно ядро расчетного комплекса [1].

Объектом исследования является гидросистема телескопического погрузчика АМКОДОР Т400-70 (рис. 1, а) с LS-управлением, которая обеспечивает адаптацию расхода рабочей жидкости к нагрузке. Такой подход позволяет снизить потери мощности в системе, уменьшить нагрев рабочей жидкости и увеличить общий ресурс гидравлического оборудования.

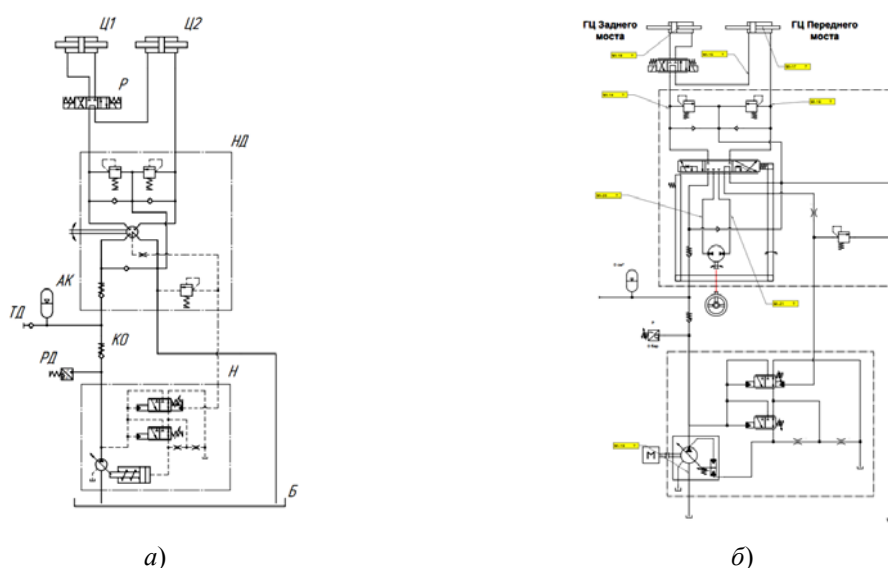


Рис. 1. Схемы рулевого управления:

а – гидравлическая принципиальная; б – имитационная модель

Для построения модели использовались стандартные гидравлические элементы из библиотеки Automation Studio, на основе которых формировались отдельные узлы и объединялись в составные блоки (рис. 1, б). Из-за отсутствия некоторых гидроустройств в стандартной библиотеке, был произведен подбор аналогичных элементов с близкой структурой и функционалом. После построения модели выполняется параметризация всех гидроустройств согласно технической документации и каталогам производителей, что приближает модель к реальным условиям и повышает достоверность расчетов.

Результаты симуляции предоставляются графиками изменения давления каждого гидроцилиндра моста при повороте руля телескопического погрузчика (рис. 2).



Рис. 2. График изменения давления гидроцилиндров

Результаты показывают, что гидросистема с LS-управлением работает в допустимых режимах: при прямом и обратном ходе давление в цилиндрах достигает 220–240 бар (расчетное – 250 бар). Перепад давлений составляет 150–170 бар, что соответствует расчетному значению (166 бар). Предохранительные клапаны настроены 225 бар, предотвращающие развитие гидроудара, а кратковременные пики до 240 бар объясняются переходными процессами, после чего давление стабилизируется в допустимых пределах. Также на графике видно, что система адекватно обрабатывает все режимы работы рулевого управления, поддерживая расчетные перепады и исключая перегрузку.

Использование Automation Studio для моделирования гидросистем дает возможность оценивать их рабочие характеристики еще на этапе проектирования схем. Это ускоряет разработку, экономит ресурсы и позволяет выявлять возможные ошибки в расчетах.

Литература

1. Хазеев, Е. В. Анализ имитационного моделирования гидравлических систем мобильных машин в различных программных комплексах / Е. В. Хазеев, Ю. А. Андреев, К. В. Пупенко // Машиностроение: инновационные аспекты развития : материалы междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 26 апр. 2022 г. / Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение». – СПб. : Индивид. предприниматель Жукова Елена Валерьевна, 2022. – Т. 5. –С. 18–22.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГИДРОСИСТЕМЫ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОГРУЗЧИКА В ПРИЛОЖЕНИИ AUTOMATION STUDIO

Д. А. Клевжиц, Ю. А. Андреевец, Д. Л. Стасенко

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Рассмотрен процесс моделирования гидросистемы рабочего оборудования телескопического погрузчика АМКОДОР Т400-70 с использованием программного комплекса Automation Studio. Построение модели в Automation Studio обеспечивает возможность визуализировать процессы в гидролиниях, а также оценить влияния параметров на работу гидросистемы и проверки корректности заданных значений.

Ключевые слова: Automation Studio, рабочее оборудование, погрузчик, гидросистема.

MODELING OF THE LOADER WORKING EQUIPMENT HYDRAULIC SYSTEM IN AUTOMATION STUDIO

D. A. Klevzhits, Yu. A. Andreyevets, D. L. Stasenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper examines the process of modeling the hydraulic system of the working equipment of the AMKODOR T400-70 telescopic loader using the Automation Studio software package. Building a model in Automation Studio makes it possible to visualize the processes in the hydraulic lines, as well as to evaluate the influence of parameters on the operation of the hydraulic system and to verify the correctness of the specified values.

Keywords: Automation Studio, working equipment, loader, hydraulic system.

Современные погрузчики представляют собой сложные технические комплексы, эффективность работы которых во многом определяется надежностью их основных систем и узлов. Ключевым фактором, определяющим эффективность работы погрузчиков, является гидросистема рабочего оборудования, обеспечивающая управление всеми технологическими операциями.

Работа направлена для проверки работоспособности схемы и на сопоставление рассчитанных значений с результатами моделирования для проверки их корректности. Применение имитационного моделирования значительно расширяет возможности анализа и оптимизации гидравлических систем. Оно не только упрощает решение задач, связанных с регулированием, управлением, статикой и динамикой, но и обеспечивает комплексный подход к исследованию процессов, происходящих в системе. Такой подход способствует повышению точности прогнозирования рабочих параметров, сокращению времени разработки и улучшению качества проектных решений [1].

В качестве объекта исследования рассматривается гидросистема телескопического погрузчика АМКОДОР Т400-70 (рис. 1) с применением LS-управления (Load Sensing – чувствительность к нагрузке), что обеспечивает адаптацию расхода рабочей жидкости к нагрузке и способствует повышению энергоэффективности. Такой подход позволяет снизить потери мощности в системе, уменьшить нагрев рабочей жидкости и увеличить общий ресурс гидравлического оборудования.

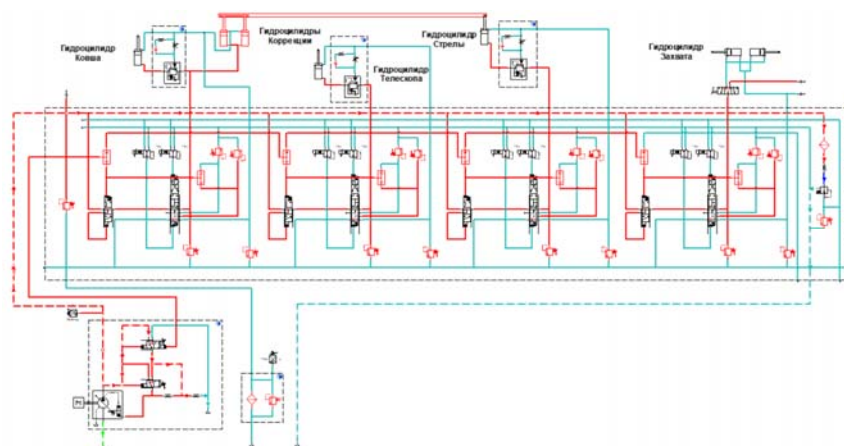


Рис. 1. Схема работы имитационной модели при прямом ходе гидроцилиндров

После построения схемы модели производится параметризация всех гидроустройств в соответствии с технической документацией и каталогами производителей. Это позволяет максимально приблизить модель к реальным условиям эксплуатации и обеспечить достоверность рассчитанных значений в сравнении с получаемыми результатами.

Результаты симуляции предоставляются в виде визуализации различных процессов, протекающих в гидролиниях (рис. 1), а также графиков изменения давления для каждого гидроцилиндра рабочего оборудования при прямом ходе (рис. 2).

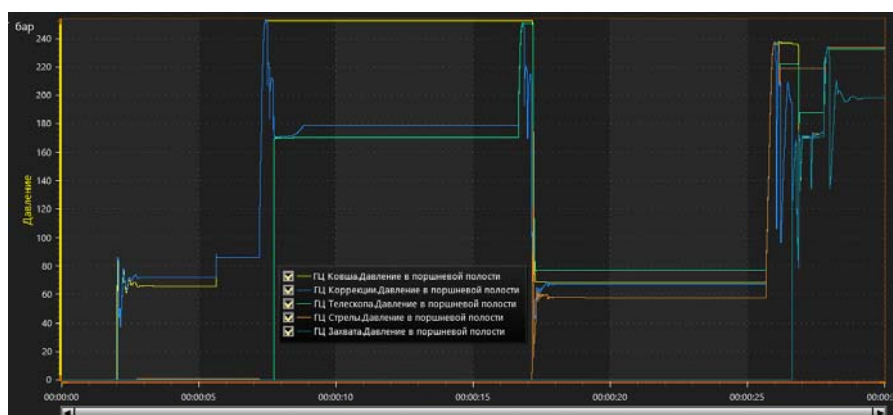


Рис. 2. График изменения давления гидроцилиндров

Результаты показывают, что гидросистема с LS-управлением работает в допустимых режимах: давление при прямом и обратном ходе цилиндров достигает 240–260 бар (расчетное – 250 бар) и стабилизируется в диапазоне 160–190 бар, что соответствует расчетному перепаду давления (164–178,8 бар). Стабилизация давления происходит за счет перераспределения потока между цилиндрами при их последовательной работе, что поддерживает оптимальное рабочее давление в системе.

Моделирование гидросистем в Automation Studio позволяет определять рабочие параметры на стадии анализа схемных решений без сложных аналитических расчетов, что сокращает время и ресурсы разработки, а также убедиться в правильности рассчитанных значений и вообще самой гидросистемы, что снижает риск ошибок при проектировании.

Литература

1. Хазеев, Е. В. Анализ имитационного моделирования гидравлических систем мобильных машин в различных программных комплексах / Е. В. Хазеев, Ю. А. Андреевец, К. В. Пупенко // Машиностроение: инновационные аспекты развития : материалы междунар. науч.-практ. конф, Санкт-Петербург, 26 апр. 2022 г. / Научно-исследовательский центр «Машиностроение». – СПб. : Индивид. предприниматель Жукова Елена Валерьевна, 2022. – Т. 5. – С. 18–22.

**WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОСТИНСУЛЬТНОЙ БОЛИ
И ПОДБОРА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЛЕЧЕНИЮ****Е. А. Дробышевский, И. В. Дорощенко***Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Специализированное web-приложение с выбором валидированных диагностических инструментов и алгоритмов классификации, обеспечивающих дифференциальную диагностику постинсультного болевого синдрома.

Ключевые слова: web-приложение, постинсультное лечение, диагностика постинсультной боли, постинсультный болевой синдром.

**WEB APPLICATION FOR POST-STROKE PAIN ASSESSMENT
AND SELECTION OF TREATMENT RECOMMENDATIONS****E. A. Drobyshevsky, I. V. Doroshchenko***Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

A specialized web application with a selection of validated diagnostic tools and classification algorithms for the differential diagnosis of post-stroke pain syndrome.

Keywords: web application, post-stroke treatment, post-stroke pain diagnosis, post-stroke pain syndrome.

При организации квалифицированной медицинской помощи и рекомендаций по реабилитации пациентам с постинсультными болевыми синдромами особенно важно учитывать существующие диагностические методики и стандартизированные опросники, которые позволяют создать эффективный подход в дифференциальной диагностике и оптимизировать алгоритмы клинической оценки [1–3].

В настоящее время подходы к диагностике постинсультной боли можно классифицировать на три категории: клиническая оценка врача без стандартизации; применение отдельных валидированных шкал (например: визуальная аналоговая шкала *VAS*, опросник *DN4*, опросник центральной сенситизации *CSI*); комплексные системы с автоматизированной обработкой результатов. При этом основными преимуществами автоматизированных систем являются: объективизация диагностического процесса; возможность динамического мониторинга состояния пациента; формирование структурированной клинической базы данных [2, 3].

Архитектура медицинской информационной системы может базироваться на различных технологических стеках и парадигмах организации клиент-серверного взаимодействия.

Целью данной работы является разработка специализированного web-приложения с выбором валидированных диагностических инструментов и алгоритмов классификации, обеспечивающих дифференциальную диагностику патогенетических подтипов постинсультного болевого синдрома.

Для реализации платформы был определен следующий набор функциональных и технических компонентов:

- система ролевого доступа с разделением пользователей на врачей и пациентов;
- двухфакторная аутентификация на основе одноразовых кодов, передаваемых по электронной почте;
- модуль визуальной аналоговой шкалы (*VAS*) для количественной оценки интенсивности боли с дополнительной фиксацией длительности болевого синдрома; – интегрированный опросник *DN4* (*Douleur Neuropathique 4 Questions*) для выявления нейропатического компонента боли, включающий 10 бинарных вопросов с пороговым значением 4 балла;
- опросник центральной сенситизации *CSI* (*Central Sensitization Inventory*), содержащий 25 вопросов с 5-балльной шкалой Лайкерта для оценки дисфункционального болевого синдрома [4];
- автоматизированный алгоритм классификации на основе комбинированного анализа результатов *DN4*, *VAS* и *CSI* с выделением трех патогенетических подтипов;
- функционал, позволяющий врачу самостоятельно регистрировать пациентов в системе, что особенно важно для пациентов, испытывающих затруднения с самостоятельной регистрацией, например, в силу возраста или других ограничений, обеспечивая доступ к диагностике и лечению;
- автоматизированная при помощи алгоритма выдача рекомендаций по применению соответствующих лекарств на основе результатов тестов *VAS*, *DN4* и *CSI*, что поддерживает формирование персонализированных терапевтических подходов.

Предполагается, что разработанное web-приложение для диагностики будет реализовано по принципу клиент-серверной архитектуры с централизованным хранилищем медицинских данных, модульной структурой диагностических компонентов и автоматизированным механизмом формирования клинических заключений. Центральным элементом приложения выступает алгоритм дифференциальной диагностики, обеспечивающий классификацию болевого синдрома по патогенетическому принципу.

Преимуществами выбранной архитектуры являются: стандартизация диагностического процесса, возможность динамического наблюдения пациентов, масштабируемость базы клинических данных, объективизация оценки эффективности терапии и формирование структурированной медицинской документации. Использование валидированных международных опросников (*DN4*, *CSI*) в сочетании с автоматизированной обработкой позволяет интегрировать объективные критерии диагностики без влияния субъективных факторов. Расширение функционала возможно через добавление дополнительных диагностических модулей и интеграцию с электронными медицинскими картами. Веб-ориентированная архитектура обеспечивает кроссплатформенность и доступность системы без необходимости установки специализированного программного обеспечения.

Разрабатываемое приложение будет предназначено для применения в клинической практике неврологических отделений и центров реабилитации. Использование стандартизированных диагностических алгоритмов и автоматизированной классификации патогенетических подтипов боли обеспечит повышение качества медицинской помощи и оптимизацию терапевтических подходов в лечении. Система позволит врачам проводить комплексную оценку болевого синдрома, отслеживать динамику состояния пациентов и формировать персонализированные рекомендации по лечению, что делает ее востребованным инструментом для практического здравоохранения.

Литература

1. Джensen, М. П. Методы оценки боли: использование визуальной аналоговой шкалы / М. П. Джensen. – СПб. : Питер, 2012. – 256 с.
2. Клиланд, Ч. С. Краткий опросник боли: применение в клинической практике / Ч. С. Клиланд. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 200 с.
3. Неблетт, Р. Индекс центральной сенситизации (CSI): клиническое применение. – URL: <https://www.journalofpain.ru/central-sensitization-inventory> (дата обращения: 02.10.2025).

ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ МИКРОСКОП**М. В. Волосевич, И. В. Дорощенко***Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Представлен принцип работы простейшего цифрового голографического микроскопа, построенного на базе одноплатного компьютера и ПЗС-матрицы от цифровой камеры.

Ключевые слова: цифровая голографическая микроскопия, цифровой голографический микроскоп, голографическая съемка.

DIGITAL HOLOGRAPHIC MICROSCOPE**M. V. Valasevich, I. V. Doroshchenko***Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

The operating principle of a simple digital holographic microscope based on a single-board computer and a CCD sensor from a digital camera is presented.

Keywords: digital holographic microscopy, digital holographic microscope, holographic imaging.

Цифровая голографическая микроскопия (Digital Inline Holographic Microscopy, DIHM) – это современный метод микроскопии, основанный на регистрации и последующей численной реконструкции голограмм. В отличие от традиционного микроскопа, DIHM не использует оптические линзы для формирования изображения. Вместо этого применяется когерентный источник света и цифровая камера (ПЗС-матрица), а формирование трехмерного изображения объекта происходит с помощью компьютерной обработки [1–3].

Целью данной работы является создание простого и недорогого цифрового голографического микроскопа, основанного на использовании одноплатного компьютера Raspberry Pi, камеры Pi Cam, мощного светодиода и диафрагмы диаметром 15 мкм. Конструкция микроскопа частично выполнена с использованием 3D-печати, что делает устройство доступным и воспроизводимым в лабораторных условиях.

Функциональная схема простейшего цифрового микроскопа, построенного на основе одноплатного компьютера представлена на рис. 1. Корпус и диафрагму можно выполнить с помощью 3D-принтера.

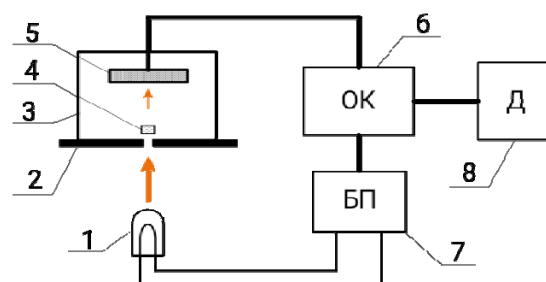


Рис. 1. Функциональная схема простейшего цифрового микроскопа:
 1 – светодиод; 2 – диафрагма; 3 – корпус; 4 – исследуемый прозрачный объект;
 5 – ПЗС-матрица; 6 – одноплатный компьютер (ОК); 7 – блок питания (БП);
 8 – дисплей (Д)

Перед запуском цифрового микроскопа пользователь задает экспериментальные параметры:

- расстояние между диафрагмой и ПЗС-матрицей;
- расстояние между объектом и ПЗС-матрицей;
- диаметр отверстия диафрагмы;
- длину волны источника света.

Вначале необходимо поместить исследуемый прозрачный объект 4 в корпус за диафрагмой 2, затем создать подсветку исследуемого объекта, включив светодиод 1 (рис. 1). Далее выполняется съемка. После удаления объекта, делается серия фоновых изображений для последующей коррекции.

При записи достаточно важными параметрами являются разрешающая способность и плотность. Разрешающая способность обусловлена используемым электронным устройством. Что касается плотности, то поле между двумя датчиками напрямую влияет на частоты. Чем большие частоты регистрируются, тем более хорошего качества получается восстановленное изображение [1–3].

Полученные голограммы можно обрабатывать на персональном компьютере по средствам платформы для анализа изображений Fiji. Для восстановления трехмерного изображения можно использовать специализированный плагин Numerical-Propagation. Плагин выполняет численное распространение светового поля, что позволяет получить реконструкции на разных глубинах и исследовать внутреннюю структуру объекта без механического изменения фокуса. Для повышения контрастности изображений применяется функция *Enhance Contrast*.

Рассмотренный цифровой голографический микроскоп позиционируется как одно из самых простых и малобюджетных устройств, позволяющий осуществлять 3D-визуализацию исследуемых объектов без сложных оптических систем. Подобное оборудование можно использовать для образовательных целей, экспресс-диагностике многокомпонентных биологических сред для определения вирусов, бактерий и других микроорганизмов в жидких и прозрачных средах.

Литература

1. Турухано, Б. Г. Высокоразрешающий цифровой голографический микроскоп для прозрачных объектов / Б. Г. Турухано, Н. Турухано, И. А. Турухано / Наноиндустрия. – 2021. – № 3/4. – С. 232–238.
2. Цифровая голографическая микроскопия: современные методы регистрации голограмм микрообъектов. КиберЛенинка. Архивировано 22 окт. 2016 г. (дата обращения: 11.10.2025).
3. Holographic detection of nonradiative transitions in oxygen molecules: digital and classical approach / A. V. Belashov, N. V. Petrov, I. V. Semenova, O. S. Vasyutinskii // Journal of Physics Conference Series. – 2015.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ОБОРУДОВАНИЯ БУРОВЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ПЛАТФОРМ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ

М. А. Лазовой, А. В. Ларионов, П. А. Торговцов, И. В. Дорощенко

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Произведен выбор платформы для создания системы мониторинга оборудования буровых установок на основе промышленного интернета вещей.

Ключевые слова: система мониторинга, промышленный интернет вещей, платформы с открытым кодом.

DRILLING RIG EQUIPMENT MONITORING SYSTEM BASED ON OPEN-SOURCE PLATFORMS

M. A. Lazovoi, A. V. Larionov, P. A. Torgovtsov, I. V. Doroshchenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

A platform was selected for creating a drilling rig equipment monitoring system based on the Industrial Internet of Things.

Keywords: monitoring system, Industrial Internet of Things, open-source platforms.

Современные нефтедобывающие предприятия требуют высоконадежных цифровых систем для обработки и визуализации производственных данных в реальном времени. При разработке систем мониторинга и управления нефтедобывающими установками необходимо учитывать существующие решения в области данной области. Наиболее развивающимся направлением является промышленный интернет вещей (*Industrial Internet of Things (IIoT)*), который использует современные технологии дистанционного анализа и управления сложными системами, а также позволяет адаптировать их к отраслевым условиям и минимизировать эксплуатационные риски [1–3].

Современный рынок промышленного интернета вещей (*IIoT*) предлагает три принципиально разных подхода к построению платформенных решений: проприетарные коммерческие системы; открытые платформы с исходным кодом и гибридные облачные решения. Каждый из подходов обладает уникальными характеристиками и областью применения.

Коммерческие проприетарные системы, представленные такими отраслевыми гигантами, как *Schlumberger*, *Honeywell* и *Siemens*, создают комплексную экосистему «под ключ». Их основная сила заключается в предоставлении готовых отраслевых решений с гарантированной надежностью и всеобъемлющей технической поддержкой. Однако эта надежность достигается ценой значительных лицензионных отчислений, а глубокая интеграция компонентов неизбежно ведет к зависимости от вендора, существенно ограничивая возможности адаптации системы под специфические задачи заказчика.

Открытые платформы с исходным кодом, такие как *ThingsBoard*, предлагают противоположную философию, основанную на максимальной гибкости и независимости. Их ключевым преимуществом является возможность бесплатного использования и глубокой модификации исходного кода, что позволяет точно настроить платформу под уникальные технологические процессы. Особой ценностью для промышленных предприятий является возможность локального развертывания, обеспе-

чивающая полный контроль над данными и работоспособность в условиях нестабильного или отсутствующего интернет-соединения. Использование открытой платформы *ThingsBoard* позволяет создавать гибкие и надежные решения, востребованные в различных промышленных отраслях, как для практического применения, так и для исследовательских и образовательных задач [1].

Гибридные и облачные платформы, такие как *AWS IoT SiteWise*, занимают промежуточное положение, сочетая легкость развертывания, характерную для облачных сервисов, с мощностью экосистемы крупного провайдера. Они идеально подходят для сценариев, требующих быстрого старта и глобальной масштабируемости. Однако при их использовании необходимо учитывать постоянные операционные расходы и жесткую зависимость от надежности интернет-каналов и политики облачного провайдера, что неблагоприятно может сказаться на информационной безопасности в целом.

Для создания прототипа цифровой платформы была выбрана гибкая платформа с открытым кодом *ThingsBoard*, главное преимущество которой – возможность адаптировать под специфические требования нефтедобывающего оборудования и систем автоматизации, что всегда недоступно в стандартных готовых решениях и требует дополнительных капитальных затрат при создании подобных коммерческих проектов.

На основе выбранной платформы планируется разработать собственное приложение, позволяющее организовать сбор, визуализацию, передачу и сохранение данные с буровых установок, а также отображение их в режиме реального времени. Система должна быть способна интегрировать информацию с другими корпоративными программами компании.

Таким образом, преимуществами разработанного приложения будут являться: низкая стоимость внедрения, возможность тонкой настройки, отказоустойчивость и автономность работы.

Литература

1. IoT Platforms for Industry. – URL: <https://www.iotworldtoday.com/> (дата обращения: 01.10.2025).
2. Суковатый, А. С., Аппаратно-программное обеспечение учебного макета «умный дом» / А. С. Суковатый, П. А. Торговцов, И. В. Дорошенко // Молодые исследователи – регионам : материалы Междунар. науч. конф., Вологда, 22 апр. 2025 г. / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации ; Правительство Волог. обл., Волог. гос. ун-т. – Вологда : Волог. гос. ун-т, 2025. – С. 414–415.
3. Мурашко, М. Д., Набор обучающего программного обеспечения для лабораторного практикума по дисциплине «Интернет вещей» / М. Д. Мурашко, А. С. Суковатый // Научные исследования 2025 : сб. ст. XVII Междунар. науч.-практ. конф, Пенза, 12 июня 2025 г. ; отв. ред. Г. Ю. Гуляев. – Пенза : Наука и Просвещение, 2025. – С. 34–37.

ИНТЕРАКТИВНОЕ ИГРОВОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ В ЖАНРЕ МЕТРОИДВАНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ UNITY

С. О. Чижевский, И. В. Дорошенко

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Рассмотрено создание 2D-игры в жанре метроидвания с использованием среды разработки Unity, которая сочетает в себе различные технологии для проектирования, тестирования и разработки приложений под различные платформы.

Ключевые слова: Unity, игра, игровое приложение, программирование, информационные технологии.

AN INTERACTIVE METROIDVANIA GAMING APPLICATION ON THE UNITY PLATFORM

S. O. Chizhevsky, I. V. Doroshchenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper examines the creation of a 2D Metroidvania game using the Unity development environment, which combines various technologies for designing, testing, and developing applications for various platforms.

Keywords: Unity, game, gaming application, programming, information technology.

В последние годы жанр метроидвания получил широкое развитие благодаря сочетанию элементов исследования, платформера и ролевых механик. Создание интерактивного 2D-приложения в данном жанре требует комплексного подхода, включающего проектирование архитектуры уровней, реализацию игровых механик и взаимодействие пользователя с динамическим окружением. Для разработки таких приложений целесообразно использовать игровые движки, обеспечивающие высокую производительность и гибкость разработки. Одним из наиболее подходящих инструментов для этого является *Unity*, предоставляющий встроенные средства для работы с физикой, анимацией, управлением и визуальными эффектами [1–3].

Жанр метроидвания характеризуется нелинейным построением игрового пространства, возможностью повторного прохождения уже исследованных областей и постепенным открытием новых зон с помощью умений и предметов, получаемых игроком. Для реализации подобных механик требуется продуманная система взаимодействий, карта взаимосвязанных локаций и структура данных, поддерживающая сохранение прогресса.

В рамках данной работы рассматриваются вопросы проектирования игровой логики на основе компонентной архитектуры *Unity*, что позволяет разрабатывать и тестировать отдельные игровые элементы независимо. Основное внимание уделяется созданию системы передвижения персонажа, взаимодействия с объектами, а также реализации базовой боевой механики. Для этого используются встроенные средства физики 2D, система коллизий и анимации, что обеспечивает плавное управление и отзывчивость интерфейса.

Также изучаются подходы к организации уровней с применением *Tilemap* (в *Unity*), что дает возможность эффективно формировать большие сцены и оптимизировать производительность. При создании визуальной части проекта используются спрайтовые ресурсы, позволяющие детализировать окружение и подчеркнуть художественный стиль игры. Важным элементом разработки является создание интерфейса пользователя (*HUD*), отображающего здоровье, способности и элементы взаимодействия.

В процессе проектирования особое внимание уделялось вопросам оптимизации производительности, структурирования кода и возможности масштабирования проекта. Разработка производилась с использованием языка *C#*, что позволяет гибко настраивать поведение игровых объектов, реализовывать логику взаимодействий и сценарные элементы [1–3].

Предполагается, что результатом работы станет прототип интерактивного 2D-приложения в жанре метроидвания, включающий основные элементы жанра: исследование взаимосвязанных локаций, получение новых умений и постепенное открытие мира. Реализуемые подходы обеспечат возможность дальнейшего расширения функционала, добавления новых механик, персонажей и визуальных элементов.

Создаваемое приложение может использоваться в качестве учебного примера при изучении принципов разработки игр на *Unity*, а также как основа для последующих экспериментальных и коммерческих проектов. Применяемые методы проекти-

рования, архитектурные решения и использование современных инструментов обеспечивают гибкость, расширяемость и потенциал для развития интерактивных 2D-приложений данного жанра.

Литература

1. Бабори́ко Р. Д. Особенности разработки гиперказуальных игр / Р. Д. Бабори́ко, И. В. Дорошенко // Материалы XXVII Республиканской научной конференции студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях», Гомель, 18–20 марта 2024 г. – С. 158.
2. Дорошенко, И. В. Создание коллекционной карточной игры с использованием среды разработки Unity / И. В. Дорошенко, А. А. Копач // Сборник статей VII Международной научно-практической конференции «Научные исследования 2023», Пенза, 17 июня 2023 г. – С. 20–23.
3. Тикоски, С. Современная разработка игр на Unity / С. Тикоски. – СПб. : БХВ-Петербург, 2024. – 496 с.

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДОСТОВЕРНЫХ УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Д. А. Шаблинский, О. Д. Асенчик

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Данная работа посвящена разработке методики и программного комплекса для автоматизации создания достоверных учебных материалов по техническим дисциплинам с использованием больших языковых моделей.

Ключевые слова: большие языковые модели, верификация, технические дисциплины, учебные материалы, автоматизация, достоверность, генерация контента.

ARCHITECTURE OF A SOFTWARE COMPLEX FOR CREATING RELIABLE EDUCATIONAL MATERIALS USING LANGUAGE MODELS

D. A. Shablinski, O. D. Asenchik

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This work is devoted to the development of a methodology and a software complex for automating the creation of reliable educational materials for technical disciplines using large language models.

Keywords: large language models, verification, technical disciplines, educational materials, automation, reliability, content generation.

Создание качественных лекций, методических материалов – трудоемкий процесс, требующий проработки большого объема информации. Однако с появлением больших языковых моделей (LLM) появляются новые возможности для автоматизации данной деятельности [1]. При прямом применении LLM возникают проблемы, такие как ошибочные и выдуманные данные генерируемых текстов и склонность к галлюцинациям [2]. Проблема недостоверности является критичной в техническом образовании, где точность и надежность учебного контента являются важными аспектами.

Целью работы является описание архитектуры и алгоритма работы программного комплекса, позволяющего генерировать учебные материалы на основе наборов экзаменационных вопросов с высокой достоверностью. Разработанная система под-

держивает работу как с OpenAI API языковых моделей, так и с локальными языковыми моделями.

Основными этапами реализации предлагаемой методики являются: разработка наборов вопросов, конкретизирующих и детализирующих изучение тем учебной дисциплины; выбор набора реализаций LLM и предварительная оценка их возможностей ответить на эти вопросы без галлюцинаций; многоступенчатая генерация ответов на каждый из полученных вопросов с предварительной верификацией; и оценочная финальная верификация текстов полученных ответов.

Подход, предполагающий генерацию ответов на все вопросы одновременно в рамках одного запроса к LLM, оказался неэффективным из-за недостаточного размера контекстного окна большинства моделей для передачи больших объемов информации, большой нагрузки на серверы и неустойчивости сетевого соединения. В результате, нами применялась методика ответа на каждый вопрос по отдельности.

Система построена по модульному принципу и включает три основных блока, которые работают последовательно, что гарантирует надежную достоверность контента.

Требования к выбору LLM. При выборе LLM, используемых в комплексе, учитывались следующие критерии: стоимость использования, доступность через API, лицензия, объем контекстного окна, а также аналитические возможности и требования к локальным ресурсам. В качестве используемых для проведения экспериментов LLM были выбраны DeepSeek V3, DeepSeek R1, Llama 4, Gemini 2.5 Flash, Qwen3 и Gemma 3 27B. Каждая из этих моделей представляет значительное достижение в области искусственного интеллекта и доступна через API различных провайдеров [3].

Первый модуль занимается подготовкой запроса. На основе входных вопросов он собирает детализированный запрос, в котором помимо самого вопроса заданы директивы по стилю и структуре ответа, а также ограничения, характерные для конкретной дисциплины. Такая детализация важна для снижения неопределенности и повышения релевантности ответа LLM. Сформированный запрос передается через API во второй модуль – выбранную LLM, будь то облачная модель или локальная, что обеспечивает гибкость и позволяет контролировать затраты. Полученные от LLM ответ сохраняются в единый формат, благодаря чему их последующая обработка становится проще, а включение в учебный процесс – более удобным.

В центре всей архитектуры стоит финальный модуль, чья задача – верифицировать сгенерированный текст. Он автоматически сверяет полученный материал с проверенными источниками – утвержденными учебными пособиями, формирующими эталонную базу знаний. Механизм верификации основан на алгоритмах семантического сравнения фрагментов текста. Для этой цели в качестве эмбединговой модели выбрана MiniLM-L6-v2. Данная модель преобразует как эталонные тексты из базы знаний, так и сгенерированные ответы LLM в высоко размерные числовые векторы. Далее система использует векторную базу данных FAISS для эффективного поиска и количественной оценки семантической близости сгенерированного контента к источникам. Это позволяет выявлять и маркировать так называемые галлюцинации – сведения, не найденные в эталонных ресурсах. Таким образом, система не ограничивается лишь генерацией, а также активно отбирает контент, поддерживая высокий стандарт образовательных материалов.

Для проверки эффективности разработанного решения было проведено экспериментальное исследование. В качестве тестовых данных использовались экзаменационные вопросы по курсу «Основы Web-дизайна и HTML». Эталонной базой знаний являются утвержденные учебные пособия. Сгенерированные ответы оценивались по десятибалльной шкале согласно трем критериям: точность, полнота раскрытия темы и структурная целостность. Полученный анализ показал, что большинство

ответов получили высокую оценку (8 баллов и выше), что подтверждает высокую эффективность модуля верификации. При этом ответы обладают четкой структурой, сопровождаются теоретическим обоснованием и практическими примерами.

Разработанная архитектура способствует созданию качественных лекционных и методических материалов, предлагая системный подход к автоматизации учебного процесса. Использование LLM позволяет экономить время и поддерживать высокий стандарт образовательных материалов. Модульная организация позволяет адаптировать систему для разных дисциплин и сохранять контроль качества. Возможность использования различных языковых моделей обеспечивает гибкость выбора оптимального решения для конкретных учебных задач и предметных областей. Интеграция с открытыми API позволяет подключать новые модели по мере их появления, что обеспечивает постоянное развитие системы. Сравнительный анализ результатов позволяет подобрать наиболее точные формулировки, необходимые для технических дисциплин.

Литература

1. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education / E. Kasneci, K. Seßler, S. Küchemann [et al.] // Learning and Individual Differences. – 2023. – Vol. 103. – P. 95. – DOI 10.1016/j.lindif.2023.102274
2. On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? / E. M. Bender, T. Gebru, A. McMillan-Major, S. Shmitchell // Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. – 2021. – P. 610–623.
3. OpenRouter. – URL: <https://openrouter.ai/> (дата обращения: 05.10.2025).

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ РАЙОННОЙ БОЛЬНИЦЫ

А. Ю. Пищук, В. И. Токочаков

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Представлена имитационная модель и программные средства моделирования работы когенерационной установки (КГУ), предназначенной для энергообеспечения районной больницы. Определены структура модели, ключевые параметры, принципы функционирования и архитектура программного комплекса, обеспечивающего проведение сценарных расчетов и анализ эффективности КГУ при различных режимах работы.

Ключевые слова: когенерационная установка, имитационное моделирование, энергообеспечение.

SIMULATION MODEL AND CORRESPONDING SOFTWARE MODELING THE OPERATION OF A COGENERATION PLANT AT A DISTRICT HOSPITAL

A. Yu. Pishchuk, V. I. Tokochakov

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper presents a simulation model and software tools for simulating the operation of a cogeneration unit (CPU) designed to supply power to a district hospital. The model structure, key parameters, operating principles, and architecture of the software package enabling scenario calculations and analysis of the CPU's efficiency under various operating conditions are defined.

Keywords: cogeneration unit, simulation modeling, power supply.

Современные объекты здравоохранения требуют надежного, экономичного и экологически устойчивого энергоснабжения. В условиях роста тарифов на энергоресурсы и необходимости повышения энергоэффективности все большее распространение получают когенерационные установки (КГУ), позволяющие одновременно вырабатывать электрическую и тепловую энергию. Для оценки эффективности их внедрения и оптимизации работы необходимо применять имитационные модели, способные воспроизводить динамику процессов в реальном времени и учитывать взаимодействие между элементами системы энергоснабжения больницы [1].

Имитационная модель построена по модульному принципу, что обеспечивает гибкость, масштабируемость и возможность адаптации под конкретные условия работы больницы. Модель подразделяется на несколько модулей.

Модуль электропроизводства – включает модель газопоршневого двигателя или микротурбины, электрического генератора, преобразователя мощности и системы синхронизации с сетью.

Модуль теплопроизводства – моделирует работу теплоутилизатора, тепловых контуров и бойлеров, обеспечивающих подачу тепла и горячей воды.

Модуль нагрузки – воспроизводит суточные и сезонные графики электрических и тепловых нагрузок больницы с учетом нестационарности и случайных факторов (например, изменения числа пациентов).

Модуль управления – реализует алгоритмы регулирования мощности, распределения энергоресурсов, а также режимы совместной работы с городской сетью.

Модуль экономического анализа – рассчитывает топливные затраты, себестоимость выработанной энергии, окупаемость и коэффициент использования установленной мощности [2].

Имитационная модель когенерационной установки районной больницы представляет собой инструмент комплексного анализа и оптимизации энергоснабжения. Использование современных средств моделирования обеспечивает гибкость, точность и визуальную наглядность. Разработка таких систем способствует повышению энергоэффективности, снижению затрат и улучшению устойчивости критически важных объектов социальной инфраструктуры.

Л и т е р а т у р а

1. Бурцев, В. М. Имитационное моделирование энергетических систем / В. М. Бурцев. – М. : Энергия, 2023. – 248 с.
2. Шеннон, Р. Э. Имитационное моделирование систем : пер. с англ. / Р. Э. Шеннон. – М. : Мир, 1978. – 418 с.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ И СЕМАНТИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Р. О. Езепенко, Е. Г. Стародубцев

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Предложен программный комплекс на основе семантических технологий для решения проблемы разобщенности данных на промышленном предприятии. Система в реальном времени интегрирует разнородные данные в единую онтологическую модель, выявляет причинно-следственные связи и формирует проактивные оповещения для предотвращения брака и оптимизации производства.

Ключевые слова: семантические технологии, онтологическая модель, интеграция данных, Индустрия 4.0, OPC UA, логический вывод, проактивное управление качеством.

SOFTWARE COMPLEX FOR INTEGRATION AND SEMANTIC ENRICHMENT OF ENTERPRISE HETEROGENEOUS INFORMATION RESOURCES BASED ON ONTOLOGICAL MODELS

R. O. Ezeenko, E. G. Starodubtsev

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

A software complex based on semantic technologies is proposed to solve the problem of data fragmentation in an industrial enterprise. The system integrates heterogeneous data in real-time into a unified ontological model, identifies cause-and-effect relationships, and generates proactive alerts to prevent defects and optimize production.

Keywords: semantic technologies, ontological model, data integration, Industry 4.0, OPC UA, logical inference, proactive quality management.

В условиях перехода промышленной отрасли к концепциям «Индустрии 4.0» суть, которой заключается в «создании киберфизических систем, которые через интернет сервисы обеспечивают сквозную цифровизацию всех физических активов и интеграцию в цифровые процессы» [1], на предприятиях возникают проблемы, связанные с противоречием между избытком данных и дефицитом полезной информации. Внедрение новых технологий приводит к лавинообразному росту информационных ресурсов, потенциал обработки которых остается нераскрытым из-за их семантической несовместимости и изолированности. Это формирует научно-практическую проблему: как интегрировать разнородные данные в единую когерентную модель, способную к автоматическому логическому выводу для предиктивного управления.

Данная работа предлагает решение этой проблемы через создание программного комплекса, основанного на семантических технологиях. Ядром системы является онтологическая модель предметной области, разработанная в среде *Protege* и описывающая все производственные сущности – от станков и датчиков до деталей и операций контроля качества. Модель включает не только таксономию классов, но и систему семантических правил на языке *SWRL*, формализующих производственные знания.

Система способна в реальном времени отслеживать состояние оборудования, выявлять корреляции между параметрами работы станков и качеством продукции, формируя для технологов детализированные оповещения вида: «Обнаружено семантическое правило: «Высокая вибрация» = «Риск брака по шероховатости». Рекомендуется проверить инструмент и закрепительные устройства на станке №15».

Архитектура программного комплекса представляет собой многоуровневую модульную структуру, построенную по принципу разделения ответственности между тремя ключевыми уровнями: уровень данных, семантическое ядро и уровень представления.

На нижнем уровне архитектуры расположен уровень данных, ответственный за подключение к внешним системам предприятия и преобразование сырых данных в единый семантический формат. Этот уровень включает специализированные адаптеры, каждый из которых предназначен для работы с конкретным типом источников информации. Адаптер *OPC UA* реализует клиентскую часть стандарта *OPC Unified Architecture* и обеспечивает подписку на данные с промышленных контроллеров станков и датчиков в реальном времени, преобразуя такие параметры, как вибрация, температура шпинделя и потребляемая мощность, в *RDF*-триплы с использованием терминов предметной онтологии. Параллельно работает адаптер *MES/ERP* систем, который периодически опрашивает *REST API* производственных систем для получе-

ния информации о технологических операциях, производственных заказах и характеристиках выпускаемых деталей. Дополнительно задействован адаптер координатно-измерительных машин, который обрабатывает файлы результатов измерений в *CSV* формате, трансформируя данные о контролируемых геометрических параметрах и качестве поверхности в соответствующие *RDF*-представления. Все адаптеры обогащают данные контекстной информацией, включая идентификаторы оборудования и единицы измерения, обеспечивая их семантическую согласованность.

Семантическое ядро системы, построено на основе *GraphDB*. Ядро функционирует как единый пункт интеграции, где разнородные данные, поступившие от адаптеров, преобразуются в связанное знание благодаря загруженной онтологической модели, которая позволяет моделировать сложные домены, представляя знания в виде графа, где узлы – это сущности, а ребра – отношения между ними [2]. База данных выступает не просто как хранилище *RDF*-триплов, а как полноценный механизм вывода, который автоматически применяет правила и ограничения, заданные в онтологии на языке *OWL 2*, и выполняет семантические правила, формализованные на языке *SWRL* [2]. Это означает, что при поступлении новых правил, система автоматически производит логический вывод.

Уровень представления обеспечивает взаимодействие с конечными пользователями системы – операторами и технологами. Ключевым компонентом этого уровня является интерактивный дашборд, который визуализирует текущее состояние оборудования, отображает показания датчиков в реальном времени и предоставляет панель семантических оповещений. Параллельно с веб-интерфейсом функционирует сервис уведомлений, который постоянно мониторит появление в семантическом хранилище новых фактов, указывающих на риски или аномальные ситуации. При обнаружении таких событий сервис выполняет *SPARQL*-запросы с целью сбора полного контекста события и отправляет структурированные уведомления через *Telegram*-бота, что обеспечивает своевременное информирование ответственных специалистов.

В результате проведенного исследования была решена задача по преодолению семантической разобщенности данных промышленного предприятия. Решение было продемонстрировано на примере разработки программного комплекса, который не только устраняет эту проблему, но и обладает возможностью логического вывода новых знаний.

Л и т е р а т у р а

1. Принципы проектирования сценариев Индустрии 4.0 / М. Герман, Т. Пенте, Б. Вальтер, К. Хомпель // 49th Hawaii International Conference on System Sciences. – Koloa, USA : IEEE Computer Society, 2016. – 928 с.
2. Семантический веб : практ. рук. / Г. Антониоу, П. Грос, Ф. ван Хармелен, Р. Хоекстра. – 2-е изд. – М. : ДМК Пресс, 2023. – 241 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ РЕКУПЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО ТЕПЛА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Я. А. Поливач, В. И. Токочаков

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Представлена методология проектирования систем рекуперации на основе многопериодической оптимизации с применением смешанного целочисленного линейного программирования (MILP). Метод позволяет учитывать температурные характеристики источников тепла, спрос на рекуперированную энергию, капитальные затраты, финансовые выгоды и сезонную изменчивость.

Ключевые слова: рекуперация тепла, смешанное целочисленное линейное программирование, многопериодическая оптимизация, органический цикл Ренкина, абсорбционные чиллеры, энергоэффективность, промышленная когенерация.

DESIGN OF WASTE HEAT RECOVERY SYSTEMS AT INDUSTRIAL FACILITIES

Y. A. Polivach, V. I. Tokochakov

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper presents a methodology for designing recovery systems based on multiperiod optimization using Mixed-Integer Linear Programming (MILP). The method makes it possible to account for the temperature characteristics of heat sources, demand for recovered energy, capital expenditures, financial benefits, and seasonal variability.

Keywords: heat recovery, mixed-integer linear programming, multiperiod optimization, Organic Rankine Cycle, absorption chillers, energy efficiency, industrial cogeneration.

Промышленный сектор потребляет более 35 % мировой энергии и генерирует значительную долю выбросов CO [1]. Существенная часть тепловой энергии теряется, особенно в нефтехимических и перерабатывающих производствах. Рекуперация отработанного тепла – один из наиболее доступных и эффективных способов повышения энергоэффективности и снижения углеродного следа. Однако для рационального проектирования таких систем требуется учет множества факторов: температурных режимов, экономических показателей, технологических ограничений и сезонных колебаний. Цель работы – разработать универсальную методику проектирования систем рекуперации тепла, способную интегрировать различные технологии и сценарии использования энергии.

В работе рассмотрены источники отработанного тепла: производственные процессы и когенерационные установки. Технологии рекуперации включают абсорбционные чиллеры, органические циклы Ренкина и экономайзеры. Возможности использования рекуперированной энергии охватывают охлаждение, отопление, выработку электроэнергии и подогрев воды [2]. Методика основана на MILP-модели, позволяющей оптимизировать выбор технологий и режимов их работы. Включены параметры: объем и температура источников тепла, спрос на энергию, капитальные затраты, финансовые выгоды, влияние на выбросы CO и сезонная изменчивость. Модель формирует надстройку всех возможных решений, из которой выбирается оптимальная конфигурация. Пример применения – нефтеперерабатывающий завод, где модель позволила извлечь 22 % полезной энергии и сократить выбросы CO на 15,6 %. Особое внимание уделено интеграции когенерационных систем и комбинированию технологий с учетом температурных характеристик.

Предложенная методика позволяет эффективно проектировать системы рекуперации отработанного тепла на промышленных объектах. Она учитывает технические, экономические и экологические аспекты, а также сезонную изменчивость. Результаты демонстрируют высокий потенциал снижения энергозатрат и выбросов CO₂ при интеграции современных технологий рекуперации [3]. Работа может служить основой для дальнейших исследований и практического внедрения на производственных площадках.

Литература

1. Петров, Е. Т. Компьютерное проектирование низкотемпературных систем / Е. Т. Петров, А. А. Круглов. – СПб. : Университет ИТМО, 2021. – 122 с.

2. Хутская, Н. Г. Циклы паросиловых установок : учеб.-метод. пособие по дисциплине «Термодинамика» для студентов специальности «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» / Н. Г. Хутская, Г. И. Пальченко, А. В. Новик. – Минск : БНТУ, 2022 – 56 с.
3. International Energy Agency. Key World Energy Statistics – URL: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014> (дата обращения: 05.10.2025).

PRIVACY RISKS IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: CHALLENGES AND SAFEGUARDS

O. A. S. M. AL-Ameri¹, M. F. S. H. Al-Kamali²

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

²Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This study explores the privacy risks associated with artificial intelligence (AI) amidst rapid technological advancements. It highlights concerns related to data collection, consent, and unauthorized use, emphasizing the challenges these pose for individual privacy. The study also discusses the need for robust regulatory frameworks to safeguard personal information in the age of AI, ensuring that innovation does not infringe on privacy rights.

Keywords: privacy risks, artificial intelligence, data Protection, consent, regulatory frameworks, surveillance.

РИСКИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ В ЭПОХУ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ПРОБЛЕМЫ И МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ

О. А. С. М. Аль-Амери¹, М. Ф. С. Х. Аль-Камали²

¹Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск

²Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Рассмотрены риски нарушения конфиденциальности, связанные с искусственным интеллектом (ИИ) в условиях стремительного развития технологий, а также проблемы, связанные со сбором данных, согласием и несанкционированным использованием. Подчеркнуты проблемы, которые они создают для конфиденциальности личности. В исследовании также обсуждена необходимость создания надежной нормативно-правовой базы для защиты персональных данных в эпоху ИИ, гарантирующей, что инновации не нарушают права на неприкосновенность частной жизни.

Ключевые слова: риски нарушения конфиденциальности, искусственный интеллект, защита данных, согласие, нормативно-правовая база, наблюдение.

As technology advances, it brings with it a host of risks, particularly concerning privacy. Tools that enhance data collection and analysis simultaneously increase the chances of misuse of personal and sensitive information. This privacy risk is particularly pronounced in the era of artificial intelligence (AI), where vast amounts of sensitive data are collected to build and refining AI and machine learning systems. While policymakers are striving to address these privacy concerns through regulations, they inadvertently create compliance challenges for organizations utilizing AI in decision-making processes. Despite these concerns, companies continue to implement AI models to enhance productivity and deliver value [1, 2].

This study delves into the privacy risks associated with AI and examines the safeguards that impact society and commerce today. AI privacy involves protecting personal or sensitive information collected, used, shared, or stored by AI systems. This

concept is closely related to data privacy, which asserts that individuals should control their personal data – determining how organizations collect, store, and utilize it. Although the notion of data privacy predates AI, societal attitudes toward it have evolved alongside technological advancements.

A decade ago, individuals primarily considered data privacy in the context of online shopping, often expressing indifference about companies tracking their purchases. However, as AI systems have begun to collect data more broadly, privacy concerns have escalated, particularly regarding civil rights implications. Key privacy risks tied to AI include: the collection of sensitive data, obtaining data without consent, unauthorized use of data, unchecked surveillance, bias, unauthorized data transfers, and potential data leaks.

One reason AI poses a greater risk to data privacy compared to previous technological developments is the sheer volume of information it processes. AI systems routinely handle terabytes or petabytes of data, which often include sensitive information such as healthcare data, personal social media content, and financial records. With more sensitive data being collected and stored than ever before, the likelihood of breaches or unauthorized disclosures increases significantly.

Controversies often arise when data is collected to develop AI systems without individuals' explicit consent. Users of various platforms now expect greater transparency and autonomy regarding their data. For instance, LinkedIn faced backlash when users discovered they had been automatically opted in to allow their data to be used for training generative AI models.

Even when data is collected with consent, privacy risks remain if the data is repurposed beyond the initially disclosed uses. For example, a patient in California discovered that images taken for a medical procedure were used in an AI training dataset without her consent. Such scenarios highlight the pervasive nature of privacy concerns in AI.

Surveillance practices – such as the use of security cameras in public spaces or tracking cookies on personal devices – existed long before AI emerged, but AI could exacerbate these issues. AI models are often employed to analyze surveillance data, and the results can sometimes reflect bias, leading to harmful outcomes, such as wrongful arrests linked to AI-driven law enforcement decisions.

AI models also store vast amounts of sensitive data, making them attractive targets for malicious actors. Unauthorized data transfers can occur through various means, including point-injection attacks where attackers disguise harmful inputs as legitimate requests, tricking AI systems into revealing sensitive information. For instance, an attacker could manipulate a virtual assistant powered by a large language model to request private documents.

Data leaks, which involve accidental exposure of sensitive information, are another significant concern. For example, OpenAI's ChatGPT, a prominent large language model, inadvertently exposed some users' chat log addresses. Smaller proprietary AI models also face similar risks; a healthcare company's in-house AI diagnostic tool could unintentionally leak customer data to others using the same network.

Policymakers have sought to protect individual privacy from technological advances since at least the 1970s. However, the rapid expansion of commercial data collection and AI deployment has intensified the urgency for comprehensive data privacy laws. Notable regulations include the EU's General Data Protection Regulation (GDPR), the EU Artificial Intelligence Act, U.S. privacy regulations, and China's interim measures for managing generative AI services.

While AI presents remarkable opportunities for innovation, it also raises significant privacy concerns that must be addressed through effective governance and regulatory frameworks. As the landscape of data privacy continues to evolve, the implementation of

stringent safeguards will be crucial for ensuring that technological advancements do not come at the expense of individual privacy rights.

Reference

1. Al-Billeh, T., Hmaidan, R., Al-Hammouri, A., and Al Makhmari, M. (2024). The Risks of Using Artificial Intelligence on Privacy and Human Rights: Unifying Global Standards. *Jurnal Media Hukum*, 2024, no. 31 (2), pp. 333–350.
2. S. Shahriar, S. Allana, S. M. Hazratifard and R. Dara, “A Survey of Privacy Risks and Mitigation Strategies in the Artificial Intelligence Life Cycle,” in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 61829–61854, 2023. Doi 10.1109/ACCESS.2023.3287195

DIGITAL TRANSFORMATION IN YEMEN’S HEALTHCARE SECTOR: ENHANCING DATA PROTECTION AND RESILIENCE

J. A. A. Blalah¹, M. F. S. H. Al-Kamali²

¹*Scientific Organization for Research and Innovation, Yemen*

²*Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

This works examines technology-based strategies for enhancing data protection and digital resilience in Yemen’s healthcare sector amidst ongoing challenges. It emphasizes the importance of secure systems to improve healthcare access and patient trust.

Keywords: data protection, digital resilience, healthcare transformation, Yemen, telemedicine.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В СЕКТОРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ЙЕМЕНА: ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ И УСТОЙЧИВОСТИ

Дж. А. А. Блала¹, М. Ф. С. Х. Аль-Камали²

¹*Научная организация исследований и инноваций, Йемен*

²*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Рассмотрены технологические стратегии повышения защиты данных и цифровой устойчивости в секторе здравоохранения Йемена в условиях сохраняющихся трудностей. Подчеркивается важность безопасных систем для улучшения доступа к медицинской помощи и повышения доверия пациентов.

Ключевые слова: защита данных, цифровая устойчивость, трансформация здравоохранения, Йемен, телемедицина.

As Yemen navigates a complex landscape shaped by ongoing conflict and economic hardships, the digital transformation of its healthcare system has become increasingly essential. The integration of technology in healthcare offers significant opportunities to improve access to medical services and enhance patient outcomes. However, this transition raises critical concerns regarding data protection and privacy. Ensuring the security of sensitive health information is vital for maintaining patient trust and fostering effective healthcare delivery in Yemen. This work explores technology-based strategies aimed at enhancing digital resilience in the Yemeni healthcare sector, with a particular focus on data protection measures that can mitigate risks associated with digital health systems.

The healthcare system in Yemen faces numerous challenges, including limited resources, a fragmented infrastructure, and ongoing conflicts that complicate service

delivery. As healthcare providers increasingly adopt digital solutions such as electronic health records (EHRs), telemedicine, and mobile health applications, the need for robust data protection mechanisms becomes critical. Data breaches and unauthorized access to sensitive health information can lead to severe consequences, including compromised patient privacy, loss of trust in healthcare providers, and potential legal repercussions [1].

The unique socio-political context of Yemen necessitates a heightened focus on data security. With a significant portion of the population lacking access to reliable communication networks, the digital divide exacerbates existing inequalities in healthcare access. Implementing effective data protection strategies is essential not only for safeguarding individual privacy but also for ensuring equitable healthcare delivery across diverse communities.

A secure Telecommunications Infrastructure (TI) is foundational for protecting health data in Yemen. Creating a dedicated network for healthcare providers can facilitate secure communication and data transfer, minimizing the risks associated with using public internet connections. By implementing robust encryption protocols and secure access controls, healthcare organizations can safeguard sensitive information from unauthorized access and cyber threats.

The adoption of Electronic Health Records (EHR) can significantly improve patient care by providing healthcare providers with immediate access to comprehensive medical histories. However, to enhance data protection, EHR systems must be equipped with advanced security features. This includes role-based access control, which ensures that only authorized personnel can access specific patient information. Additionally, regular security audits and updates can help identify vulnerabilities and protect against emerging threats.

Telemedicine has emerged as a vital tool for healthcare delivery in Yemen, particularly in remote areas. To ensure the confidentiality of patient consultations, telemedicine platforms must incorporate end-to-end encryption and secure authentication methods. Implementing two-factor authentication can further enhance security by requiring users to verify their identity through multiple channels before accessing sensitive information.

Training and Awareness error remains one of the most significant risks to data security. Conducting regular training and awareness programs for healthcare professionals can help mitigate this risk. By educating staff about best practices for data protection, including recognizing phishing attempts and securely handling patient information, healthcare organizations can foster a culture of security that prioritizes the protection of sensitive health data.

The digital transformation of healthcare is a vital development as societies transition to a post-industrial, knowledge-driven economy characterized by significant advancements in information technology. Effectively integrating new technologies within the health ecosystem requires managing cybersecurity and resilience to reduce vulnerabilities and foster sector growth. However, a lack of understanding regarding the key concepts needed for a strategic vision of sustainable digital healthcare transformation persists.

In Yemen, this transformation faces considerable obstacles. Ongoing internal conflicts, frequent power outages, dependence on alternative energy sources, and the absence of a centralized patient database due to security issues impede the capabilities necessary for resilient cyber/digital healthcare systems. These include knowledge, resources, risk awareness, partnerships, and supply chains. Consequently, the absence of a strong foundational framework likely leads to poor performance across various metrics, exposing organizations to vulnerabilities often without their awareness.

This situation creates a paradox: sufficient domain knowledge, an understanding of uncertainties, and awareness of risks and opportunities are vital for evaluating an organization's capacity for digital transformation. Poor performance in these areas

hampers the ability to assess the risks linked to emerging digital changes, which is essential for justifying further investment in Yemen's healthcare sector.

The digital transformation of Yemen's healthcare sector offers both opportunities and challenges. As providers increasingly adopt technology to improve services, the significance of data protection becomes paramount. By implementing strategies such as secure telecommunications infrastructure, enhanced EHR systems, robust telemedicine platforms, staff training, collaboration with cybersecurity experts, and data anonymization techniques, Yemen can strengthen digital resilience in its healthcare system. These initiatives will safeguard sensitive health information, build patient trust, and ensure equitable access to healthcare services across the nation.

References

1. Jawad L. A. Security and Privacy in Digital Healthcare Systems: Challenges and Mitigation Strategies. *Abhigyan*, 2024, no. 42 (1), pp. 23–31. DOI [org/10.1177/09702385241233073](https://doi.org/10.1177/09702385241233073) (Original work published 2024)

PRIVACY AND DATA PROTECTION IN DIGITAL HEALTHCARE: CHALLENGES AND INNOVATIONS

G. A. K. Saeed, B. B. Osipov

Gomel State Medical University, Republic of Belarus

This work explores the critical challenges of privacy and data protection in the digital transformation of healthcare. It examines the reliance on digital health systems for storing sensitive medical information and the implications for cybersecurity and patient trust. The discussion highlights the importance of secure Telecommunications Infrastructure (TI), effective authentication methods, and compliance with legal standards to safeguard data. Additionally, the work addresses the use of anonymized data for research purposes and the balance between innovation and patient privacy in telemedicine services.

Keywords: privacy, data protection, digital healthcare, telemedicine, cybersecurity, electronic patient records, anonymization.

КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ И ЗАЩИТА ДАННЫХ В ЦИФРОВОМ ЗДРАВООХРАНЕНИИ: ВЫЗОВЫ И ИННОВАЦИИ

Г. А. К. Саид, Б. Б. Осипов

Гомельский государственный медицинский университет, Республика Беларусь

Рассмотрены критически важные проблемы конфиденциальности и защиты данных в условиях цифровой трансформации здравоохранения, а также роль цифровых систем здравоохранения в хранении конфиденциальной медицинской информации и ее влияние на кибербезопасность и доверие пациентов. В ходе обсуждения подчеркивается важность безопасной телекоммуникационной инфраструктур, эффективных методов аутентификации и соблюдения правовых норм для защиты данных. Изложены вопросы использования анонимизированных данных в исследовательских целях и баланс между инновациями и конфиденциальностью пациентов в телемедицинских услугах.

Ключевые слова: конфиденциальность, защита данных, цифровое здравоохранение, телемедицина, кибербезопасность, электронные карты пациентов, анонимизация.

The rapid digital transformation of healthcare has revolutionized the way sensitive medical information is stored and shared. As electronic health systems become increasingly prevalent, ensuring privacy and data protection has emerged as a critical challenge. This work explores the implications of digitization on patient trust,

cybersecurity risks, and the necessity for robust infrastructure and regulatory compliance in safeguarding health data. The balance between innovation and privacy is essential for the future of effective healthcare delivery.

As the digital transformation of healthcare accelerates, privacy and data protection have emerged as pivotal concerns. Digital health systems depend on the storage and exchange of vast amounts of sensitive information, including medical records and treatment details, necessitating robust technological infrastructures to safeguard against potential threats.

The digitization of healthcare encompasses various applications, from electronic patient records to telemedicine consultations. These advancements create opportunities for improving healthcare access and efficiency, particularly in high-risk scenarios like pandemics. To this end, secure digital identities, encryption methods, and a reliable telemedicine framework are essential for ensuring data integrity and confidentiality.

However, the increased reliance on telemedicine raises significant cybersecurity concerns and challenges regarding the quality of care. To mitigate these risks, healthcare providers must adhere to industry standards and regulatory requirements, thereby enhancing virtual care processes. This approach not only improves healthcare availability but also contributes to a safer, more efficient system overall.

Data protection ensures that personal information is shielded from misuse and unauthorized access, embodying the principle of self-determination – allowing individuals to control how their data is used. The healthcare sector routinely collects extensive personal data, and it is critical for patients to trust that their medical information remains confidential.

The growing interconnectedness of healthcare institutions necessitates stringent data protection regulations to maintain data privacy during digital transfers and storage. A secure Telecommunications Infrastructure (TI) dedicated to healthcare allows only registered individuals and institutions to communicate and share data safely. Patients can utilize digital services within this framework, such as Electronic Patient Records (ePA) and Electronic Medication Plans (eMP), which enable them to access their medical data and control who has access to it.

In physical settings, identity verification often relies on biometric data or personal identification documents. In digital contexts, secure authentication utilizes usernames, passwords, tokens, or biometric identifiers linked to a person's identity. Participants in the TI, including insured individuals and healthcare professionals, must confirm their identities through electronic health cards or professional cards.

When registering for an ePA, individuals verify their identities using their health cards. Subsequent logins can use alternative methods, such as fingerprints. Each ePA is protected by a unique electronic "file key", ensuring that only authorized individuals can access specific medical documents.

Healthcare providers, including telemedicine services, must comply with legal data protection standards. This includes ensuring that video consultations are conducted using cutting-edge technology with end-to-end encryption to prevent unauthorized access. However, many telemedicine services operate over conventional internet connections, which may expose them to data security vulnerabilities.

Services outside the telecom infrastructure may still face data protection issues, even if they comply with legal standards. For instance, third-party tracking can occur with user consent, leading to data collection for marketing or analytics without the patient's explicit awareness.

The Enhanced Use of Health Data for Research Institutions Act permits the use of data from electronic patient records for research purposes, but only with patient consent and after anonymization to protect individual identities. The Federal Institute for Drugs

and Medical Devices (BfArM) facilitates access to anonymized data for research and quality assurance.

While the digital transformation of healthcare offers significant benefits, it also presents critical challenges related to privacy and data protection. Effective strategies must be implemented to safeguard sensitive health information, ensuring both compliance with regulations and the trust of patients in the evolving digital landscape.

The digital transformation of healthcare presents both opportunities and challenges regarding privacy and data protection. Ensuring the security of sensitive health information is paramount to maintaining patient trust and delivering quality care. Robust Telecommunications Infrastructure, effective authentication methods, and adherence to regulatory standards are essential to mitigate cybersecurity risks. Additionally, the responsible use of anonymized data for research can enhance healthcare outcomes while protecting individual privacy. As the sector continues to evolve, a commitment to safeguarding patient information will be crucial for the sustainable growth of digital healthcare solutions.

References

1. Conduah AK, Ofoe S, Siaw-Marfo D. Data privacy in healthcare: Global challenges and solutions. Digit Health. 2025 Jun 4; 11:20552076251343959. DOI 10.1177/20552076251343959. PMID: 40475296; PMCID: PMC12138216.
2. Jawad L. A. Security and Privacy in Digital Healthcare Systems: Challenges and Mitigation Strategies. Abhigyan, 2024, no. 42 (1), pp. 23–31. DOI /10.1177/09702385241233073 (Original work published 2024).

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕПЛИЦЫ

М. А. Бабкин, А. Е. Запольский

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Рассмотрен принцип построения и алгоритм работы блока управления для автоматизированной теплицы на базе микроконтроллера. Описана архитектура системы, включающая сбор данных с датчиков температуры, влажности почвы и воздуха, а также анализ параметров микроклимата, управление исполнительными устройствами, ведение журнала событий и оповещение оператора. Предложен циклический алгоритм работы с обратной связью, направленный на минимизацию влияния человеческого фактора, оптимизацию условий выращивания и повышение стабильности урожайности в режиме реального времени.

Ключевые слова: автоматизированная теплица, микроклимат, микроконтроллер, исполнительные устройства, мониторинг, полив, Atmega 328p, ESP32, управление с обратной связью.

CONTROL UNIT FOR AN AUTOMATED GREENHOUSE

M. A. Babkin, A. Ya. Zapolski

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The report discusses the design principle and operating algorithm of a control unit for an automated greenhouse based on a microcontroller. The system architecture is described, including data collection from temperature, soil moisture, and air humidity sensors, analysis of microclimate parameters, control of actuators), as well as event logging and operator notification. A cyclic feedback-based operation algorithm is proposed, aimed at minimizing the human factor, optimizing growing conditions, and increasing yield stability in real time.

Keywords: automated greenhouse, microclimate, microcontroller, actuators, monitoring, irrigation, Atmega 328p, ESP32, feedback control.

Целью работы является создание интеллектуальной системы управления, которая преобразует процесс выращивания растений на уровень высокотехнологичного цифрового производства.

Работа направлена на достижение следующих подцелей: минимизация рисков, оптимизация условий выращивания, повышение урожайности, достижение технологической трансформации.

Минимизация рисков связана с устранением ошибок, вызванных человеческим фактором (забывчивость, несвоевременный полив или проветривание).

Под оптимизацией условий понимается обеспечение биологически идеального микроклимата для растений в режиме «24/7».

Использование новых технологий повысит стабильность результата, т. е. повышение урожайности вне зависимости от внешних погодных условий.

Технологическая трансформация заключается в переходе от традиционных методов к точному, контролируемому и автоматизированному циклу производства.

Автоматизация управления микроклиматом – это переход от интуитивного садоводства к точному цифровому производству. Блок управления теплицей выступает центральным интеллектуальным узлом, который на основе данных с сенсоров минимизирует риски человеческого фактора, обеспечивая идеальные условия для растений в режиме 24/7 и гарантируя стабильно высокую урожайность при любых внешних условиях.

Для блока управления автоматизированной теплицы можно выделить следующие функциональные возможности – сбор данных, анализ и принятие решений, управление исполнительными устройствами, ведение журнала, оповещение. Структурная схема показана на рис. 1.

Сбор данных подразумевает прием и обработку информации от всех датчиков (температуры, давления, влажности).

Анализ и принятие решений заключается в сравнении текущих показаний с заданными оптимальными параметрами.

Управление исполнительными устройствами осуществляет подачу команд на включение/выключение систем.

Ведение журнала необходимо для записи данных и действий для последующего анализа и оптимизации алгоритмов.

Функция оповещения информирует владельца о критических или нештатных ситуациях.

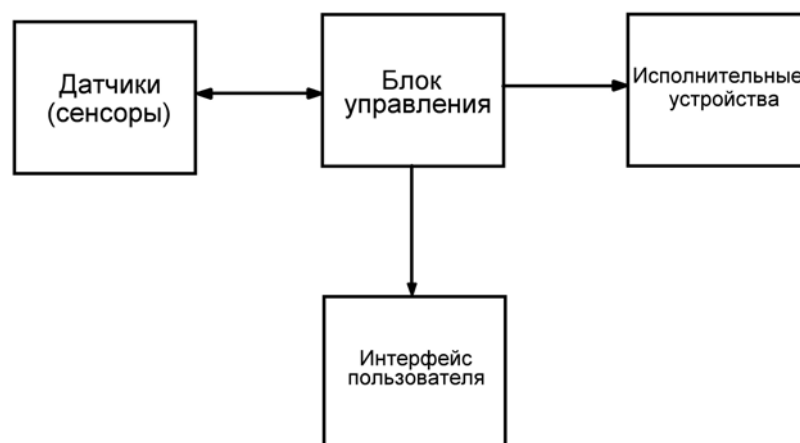


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы

Работа блока управления автоматизированной теплицы построена на реализации циклического процесса, состоящего из четырех ключевых этапов: сбор данных, анализ, исполнение и обратная связь.

Система начинает работу с получения сигналов от датчиков, расположенных в разных точках теплицы. Датчики влажности почвы, температуры воздуха, освещенности и уровня CO₂ преобразуют физические параметры в электрические сигналы. Эти сигналы поступают на входные порты микроконтроллера (например, ESP32 или Atmega 328p) [1].

Центральный процессор обрабатывает полученные данные в соответствии с заложенным программным кодом. Программа сравнивает текущее значение (например, значение температуры 18 °C) с идеальным заданным значением (заданное значение температуры 22 °C).

В программе используются логические условия, например, алгоритмы типа «Если... То...» (например: «Если влажность почвы < 30 %, активировать полив») [1].

Для инерционных процессов (обогрев) система определяет не просто время включения, а необходимую мощность или время работы.

После принятия решения блок управления посылает сигнал на исполнительные устройства. Через реле или силовые ключи подается питание на насосы, вентиляторы, фитолампы или приводы окон. Насос начинает качать воду, сервопривод открывает форточку для проветривания, включается светодиодное освещение.

Система не прекращает работу после включения приборов. Она сразу же переходит к проверке результата. Датчики фиксируют, начала ли подниматься температура после включения обогрева. Как только целевой показатель достигнут, система подает команду на выключение устройств.

Все данные записываются в лог-файл и отправляются в облако, чтобы оператор мог видеть графики изменений в реальном времени.

Пример реализации рабочего цикла полива:

1. Датчик влажности уведомляет о том, что влажность почвы упала до 20 %.
2. Контроллер сравнивает значение от датчика с установленным, например, если установленное значение равняется 40 %, то контроллер понимает, что нужно включить систему полива на установленное время.
3. Контроллер подает сигнал на устройство коммутации (реле), исполнительное устройство (насос) начинает свою работу.
4. Через определенное время датчик влажности сообщает, что значение влажности поднялось до 45 %. Контроллер выключает насос, оператор получает уведомление: «Полив зоны № 1 завершен» [2].

Стоит отметить, что автоматизированная система масштабируема и может быть расширена в своих функциональных возможностях: деление теплицы на несколько обособленных зон со своим микроклиматом, использование технологий искусственного интеллекта для заблаговременного учета погодных условий и аналитики, использование машинного зрения для отслеживания состояния растений на предмет болезней [3].

Литература

1. Блум, Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства / Д. Блум. – 2-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2019.
2. Arduino Documentation. – URL: <https://docs.arduino.cc/> (date of access: 13.09.2025.)
3. Бондаренко, Р. С. Реализация системы компьютерного зрения на базе OpenCV для системы «Умная теплица» / Р. С. Бондаренко, А. Е. Запольский // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIII Междунар. науч.-техн.

конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2023 г. : в 2 ч. Ч. 2 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 36–38.

СИСТЕМА ТЕСТИРОВАНИЯ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ ОБЪЕКТА ПРОВЕРКИ

П. А. Илларионов, А. В. Ковалев, А. Е. Запольский

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Представлена система автоматизированного распознавания объекта проверки на испытательных стендах гидравлического насосного оборудования, а также автоматического сохранения результатов испытаний.

Ключевые слова: автоматизация, тестирование, насосное оборудование, испытательный стенд, идентификация, техническое зрение, база данных.

PUMPING EQUIPMENT TESTING SYSTEM WITH IDENTIFICATION OF THE INSPECTION OBJECT

P. A. Illaryjonau, A. V. Kavaleu, A. Ya. Zapolski

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The abstract presents a system for automated recognition of the test object on test benches of hydraulic pumping equipment, as well as automatic storage of test results.

Keywords: automation, testing, pumping equipment, test bench, identification, technical vision, database.

В настоящее время насосы являются одним из ключевых видов промышленного оборудования, широко применяемого во многих отраслях промышленности. Эффективность и надежность насосного оборудования оказывают значительное влияние на эффективность производственных процессов и безопасность объектов инфраструктуры.

Испытательные стенды гидравлического насосного оборудования являются критически важным инструментом для обеспечения качества, надежности и безопасности современных машин и механизмов. Они создают условия, максимально приближенные к реальным рабочим, для всесторонней проверки гидравлических агрегатов. Применяются в следующих случаях: для входного контроля новых насосов на производстве; приемно-сдаточных и периодических испытаний серийной продукции; диагностики и послеремонтных испытаний; для подтверждения работоспособности и восстановленных характеристик оборудования; определения технических параметров, таких как подача, давление, коэффициент полезного действия (КПД), мощность и ресурс работы.

Ключевая проблема многих испытательных стендов – невозможность автоматически распознать установленное оборудование, зафиксировать процесс и результаты испытаний и оперативно получить информацию о проведенных ранее испытаниях. Традиционный подход к испытаниям гидравлического оборудования часто включает в себя ручной ввод данных, бумажные журналы и субъективную оценку результатов. Это приводит к ошибкам, потере времени, сложностям с верификацией и затрудняет анализ статистики.

Рассматриваемая система тестирования позволит, в первую очередь, свести к минимуму ошибочные записи данных испытаний. Электронное хранение этих данных сделает их более удобными для поиска и просмотра [1].

Структурная схема системы тестирования представлена на рис. 1.

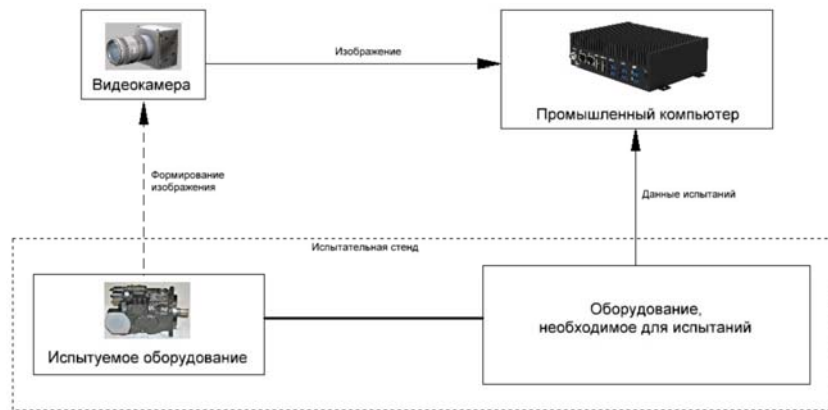


Рис. 1. Структурная схема системы тестирования

Система тестирования состоит из четырех основных блоков: техническое зрение, алгоритмы распознавания объектов, система управления базой данных, автоматизированное рабочее место.

Техническое зрение включает в себя промышленную IP-камеру, установленную на некотором оптимальном расстоянии от места установки тестируемого оборудования, создающую изображение в высоком разрешении для дальнейшего распознавания оборудования. Также используется для видеофиксации процесса испытаний.

Алгоритмы распознавания объектов работают на локальном промышленном компьютере, принимают изображения с камеры, проводят поиск и распознавание QR-кодов, сохраняют эти изображения в нужный для хранения формат.

Система управления базой данных хранит все необходимые данные об испытанном оборудовании для дальнейшего удобного использования. Может работать как локально (только на компьютере одного стенда), так и удаленно (облачная база данных) [2].

Автоматизированное рабочее место (АРМ) представляет собой стоечную панель с монитором, которая позволяет взаимодействовать с системой тестирования (от подачи различных команд до просмотра истории испытаний).

Алгоритм работы представленной системы можно разделить на три части – регистрация испытуемого объекта, верификация и проведение испытаний, просмотр истории.

Регистрация испытуемого оборудования заключается во внесении вручную в базу данных идентификационного номера, который может состоять из модели, серии, названия и т. д. Далее, на основе этого номера, формируется QR-код с буквенно-цифровой кодировкой, который печатается размерами 20×20 мм и крепится на корпус тестируемого оборудования для облегчения его идентификации в дальнейшем.

Эскиз экрана АРМ представлен на рис. 2.

Верификация и проведение испытаний заключаются в том, что во время или после установки испытуемого оборудования разрабатываемая система автоматически находит QR-код и идентифицирует его. Далее в базу данных записываются ре-

зультаты испытания, дата, время начала и завершения испытания, видео с камеры, а также предлагается ручной ввод примечаний.

Система тестирования

Настройки О программе

Новое оборудование

Идентификационный номер: MASTER NSH-14 M-3L LEFT 01
(26 / 61)

Примечание:
(0 / 400)

QR код для оборудования:

Экспорт QR...

Создать фото...
Импорт фото...

Сохранить Отмена

QR код сгенерирован

Рис. 2. Регистрация оборудования в системе

Просмотр истории позволяет при необходимости быстро получить всю информацию о любом зарегистрированном в системе испытанном оборудовании с помощью QR-кода или идентификационного номера (его части).

Хранение данных организовано с помощью реляционной базы данных. Для каждого насосного оборудования создается таблица со следующими полями: id (первичный ключ); идентификационный номер оборудования; фотография оборудования; дата проведения испытания; время проведения испытания; место проведения испытания; результат испытаний, относящиеся к оборудованию и его испытанию.

Система тестирования позволит автоматизировать процесс идентификации оборудования и сохранения данных испытаний. Она исключит человеческую ошибку в работе с данными, а также намеренное ухудшение результатов испытаний с целью удорожания ремонта тестируемого оборудования, так как весь процесс испытаний фиксируется. Данные надежно сохраняются (в отличие от произвольной записи в книгу или блокнот) и к ним легко и быстро можно получить доступ. Эта система может быть полезна там, где необходим входной контроль, в центрах диагностики и ремонта оборудования.

Литература

1. Санчугов, В. И. Основные виды испытаний гидрооборудования : Электр. учеб. пособие / В. И. Санчугов, В. Н. Илюхин, В. М. Решетов. – Самар. гос. аэрокосм. ун-т, Самара, 2010. – 61 с.
2. Бондаренко, Р. С. Реализация системы компьютерного зрения на базе OpenCV для системы «Умная теплица» / Р. С. Бондаренко, А. Е. Запольский // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2023 г. : в 2 ч. Ч. 2 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 36–38.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32 ДЛЯ ЗАДАЧ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Фэнг Найфань, Ю. В. Крышнев, А. Е. Запольский

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Представлена разработка модульной метеостанции на базе микроконтроллеров STM32, предназначенной для сбора и передачи параметров окружающей среды в рамках концепции Интернета вещей (IoT). Предложена двухблочная архитектура с использованием микроконтроллеров STM32L051C8 и STM32F103C8. Аппаратная платформа включает датчики температуры, влажности, давления, газа, CO₂. Описана реализация энергоэффективного алгоритма «сбор–отправка–сон», что обеспечивает длительную автономную работу. Продемонстрирована возможность интеграции с облачными сервисами и устройствами умного дома (очиститель воздуха, система полива). Показано, что предложенное решение обладает высокой модульностью, стандартизацией интерфейсов (I2C, SPI, UART) и низкой стоимостью, что делает его перспективным для создания распределенных сетей экологического мониторинга.

Ключевые слова: STM32, метеостанция, Интернет вещей (IoT), модульная архитектура, датчики окружающей среды, энергосбережение, экологический мониторинг.

DESIGN OF A MODULAR WEATHER STATION BASED ON THE STM32 MICROCONTROLLER FOR IOT APPLICATIONS

Feng Naifan, Yu. V. Kryshneu, A. Ya. Zapolski

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This work presents the development of a modular weather station based on STM32 microcontrollers, designed to collect and transmit environmental parameters within the Internet of Things (IoT) concept. A two-block architecture (outdoor and indoor units) using low-power STM32L051C8 and STM32F103C8 microcontrollers is proposed. The hardware platform includes sensors for temperature, humidity, pressure, gas, CO₂, TVOC, ultraviolet radiation, and PM2.5 concentration. An energy-efficient “collect-send-sleep” algorithm utilizing STOP mode has been implemented to ensure long-term autonomous operation. The ability to integrate with cloud services and smart home devices (air purifier, irrigation system) is demonstrated. The proposed solution features high modularity, standardized interfaces (I2C, SPI, UART), and low cost, making it promising for creating distributed environmental monitoring networks.

Keywords: STM32, weather station, Internet of Things (IoT), modular architecture, environmental sensors, energy saving, environmental monitoring.

Традиционные метеорологические станции часто характеризуются высокой стоимостью, строго определенными функциональными возможностями и сложностью адаптации к изменяющимся задачам, особенно в сценариях распределенного мониторинга и Интернета вещей (IoT).

В то же время развитие полупроводниковых технологий и появление широкого спектра малопотребляющих датчиков позволяют создавать компактные, энергоэффективные и недорогие устройства сбора данных. Целью данной работы является разработка высокомодульного и платформно-ориентированного решения для интеллектуального экологического мониторинга на базе микроконтроллера STM32, обеспечивающего гибкость конфигурации и простоту интеграции в существующие IoT-экосистемы [1, 2].

Архитектура системы представляет двухблочную структуру (рис. 1).

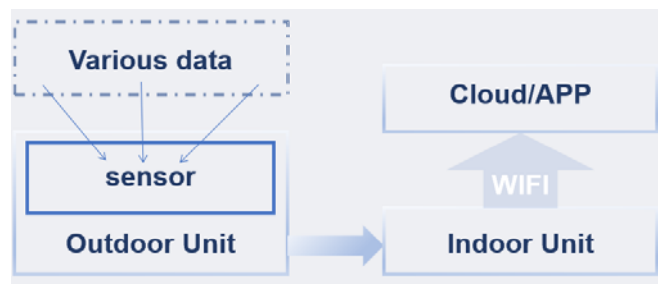


Рис. 1. Архитектура системы

Внешний (уличный) блок построен на микроконтроллере STM32L051C8 (ядро Cortex-M0+), оптимизированном для работы с ультранизким энергопотреблением. Внутренний (комнатный) блок реализован на STM32F103C8 (Cortex-M3), который также выполняет функции шлюза для передачи данных в облако через Wi-Fi модуль. Взаимодействие между блоками осуществляется беспроводным протоколом Wi-Fi [1, 2].

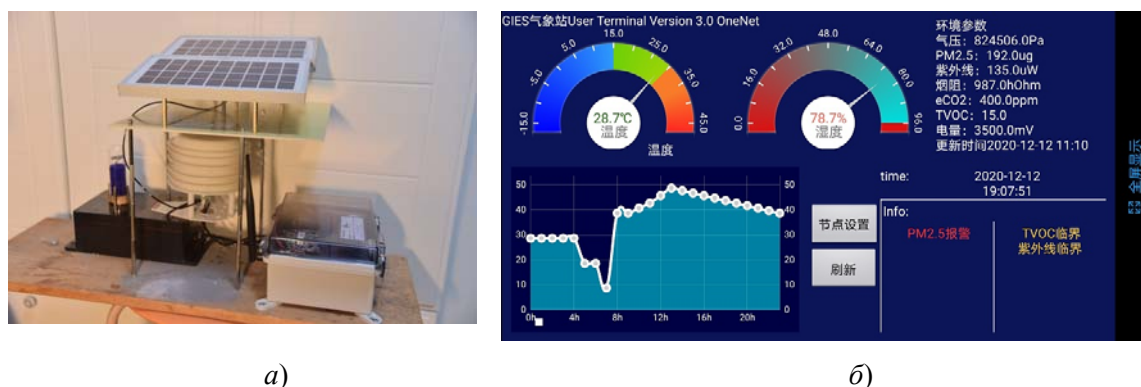


Рис. 2. Прототип метеостанции:
а – устройство; б – интерфейс

Модульность системы обеспечивается за счет использования стандартизированных интерфейсов подключения датчиков: I2C, SPI, UART. Это позволяет заменять или добавлять сенсоры по принципу «конструктора» без изменения базовой схемы и программного обеспечения [8].

Система включает в себя следующие сенсоры: BME680, SGP30, VEML6070, ZPH02.

Датчик BME680 предназначен для измерения температуры, влажности, атмосферного давления и газов (летучие органические соединения) [3].

Датчик SGP30 предназначен для определения концентрации CO₂ и общее содержание летучих органических соединений (TVOC) [4].

Измерение ультрафиолетового излучения осуществляет датчик VEML6070.

Датчик ZPH02 предназначен для измерения PM2.5 (мелкодисперсная пыль) [6, 7].

Программное обеспечение построено по принципу «collect-send-sleep»: пробуждение по таймеру, последовательный опрос всех датчиков, пакетная передача данных на сервер, затем перевод микроконтроллера в режим STOP (максимально низкое потребление). Данный подход обеспечивает длительную работу внешнего блока метеостанции от аккумуляторного питания.

Для снижения порога интеграции и реализацию взаимодействия с устройствами «умного дома» через сценарии, метеостанция должна поддерживать передачу данных на популярные облачные платформы (например, ThingSpeak, Blynk).

Например, при превышении PM2.5 должно происходить автоматическое включение очистителя воздуха, при низкой влажности почвы – активация системы полива.

Головной контроллер метеостанции опрашивает все подключаемые датчики с частотой 1 Гц. Точность измерений соответствует паспортным данным датчиков: для BME680 $\pm 0,5$ °C по температуре, ± 3 % по влажности; для SGP30 – ± 5 ppm CO₂. В режиме STOP среднее энергопотребление наружного (уличного) модуля не превышает 15 мкА · ч, что позволяет организовать питание от двух аккумуляторных элементов типа АА, которые способны обеспечить работу до 6 месяцев. Передача данных на сервер осуществляется каждые 10 минут.

Модульная структура метеостанции значительно повышает удобство добавления и замены датчиков. Например, добавление нового датчика (подключение его к шине и добавление драйвера) составляет не более 20 минут. Стандартизация интерфейсов позволяет также использовать готовые библиотеки от производителей датчиков.

В концепцию устройства метеостанции заложен ряд решений, которые решают проблемы классических станций: разделение функций сбора, обработки и отображения; использование низкопотребляющих микроконтроллеров и наличие энергосберегающего режима; поддержка стандартных промышленных интерфейсов (I2C/SPI/UART) для легкого расширения; интеграция с облачными сервисами и системами автоматизации.

Перспективными направлениями проекта являются: расширение библиотеки поддерживаемых датчиков; разработка открытого SDK для упрощения подключения сторонних устройств; создание распределенной сети мониторинга с единой платформой управления.

Устройство данной метеостанции может найти применение в сельском хозяйстве, городском хозяйстве, системах «умный дом» и в образовательных целях.

Литература

1. STM32L051C8 Datasheet. – URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00108219.pdf> (date of access: 20.09.2025).
2. STM32F103C8 Datasheet. – URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00108219.pdf> (date of access: 20.09.2025).
3. BME680 Datasheet. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/1132061/BOSCH/BME680.html> (date of access: 22.09.2025).
4. VEML6070 Datasheet. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/911505/VISHAY/VEML6070.html> (date of access: 23.09.2025).
5. ZPH02 Datasheet. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1308092/WINSEN/ZPH02.html> (date of access: 24.09.2025).
6. SGP30 Gas Sensor Datasheet. – URL: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/1643855/SENSIRION/SGP30/564/1/SGP30.html> (date of access: 24.09.2025).
7. Микроконтроллерный барометр с графическим жидкокристаллическим дисплеем / В. А. Михайлов, Э. М. Виноградов, А. Е. Запольский, Ю. В. Крышнев // Проблемы взаимодействия излучения с веществом : сб. материалов VI Междунар. науч. конф., посвящ. акад. Б. В. Бокутю, Гомель, 14 нояб. 2024 г. / Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины, Отд-ние физики, математики, информатики Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т физики им. Б. И. Степанова Нац. акад. наук Беларуси ; редкол.: С. А. Хахомов [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2025. – С. 268–270.

ВСТРОЕННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОРОЖНОЙ МАШИНЫ С ЭЛЕКТРОГИДРОФИЦИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Ш. А. Аль-Шамери, А. В. Ковалев, А. Е. Запольский

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Рассмотрен подход реализации расширенной системы мониторинга с использованием средств электронной управляющей системы комбинированных дорожных машин.

Ключевые слова: комбинированная дорожная машина, песко- и солераспределяющий комплекс, электронная система управления, GPRS, USB.

BUILT-IN MONITORING SYSTEM FOR OPERATING MODES OF COMBINED ROAD VEHICLE EQUIPMENT WITH ELECTROHYDROGENATED WORKING BODIES

S. A. Al-Shameri, A. V. Kavaleu, A. Ya. Zapolski

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The report discusses an approach to implementing an extended monitoring system using the electronic control system of combined road vehicles.

Keywords: combined road vehicle, sand and salt distribution complex, electronic control system, GPRS channel, USB interface.

В странах СНГ для обеспечения безопасности движения по дорогам общего пользования в зимний период используется большое количество комбинированных дорожных машин (КДМ) различного функционального назначения.

Около 65 % – это комплексы по распределению специальных смесей из песка и соли с возможностью уборки дорожного полотна при помощи навесного оборудования. Как правило, вышеперечисленные КДМ оборудованы электронными системами управления, которые позволяют обеспечить регулировку параметров работы рабочего оборудования в ручном и автоматическом режиме [1, 2].

В большинстве случаев результат работы КДМ зависит либо от профессионализма и исполнительности водителя-оператора, либо от надзорной контролирующей службы, которая мониторит качество выполняемых работ.

Функцию объективного контроля режимов работы можно возложить на электронную систему мониторинга, интегрированную в штатную систему управления, что сократит влияние человеческого фактора и снизит эксплуатационные затраты.

Традиционный подход предполагает установку дополнительного блока мониторинга с передачей данных по каналу GPRS, при этом информация снимается непосредственно с исполнительных механизмов КДМ, что может привести к прекращению гарантийных обязательств завода-изготовителя вследствие вмешательства в штатную проводку или к выходу из строя электронного оборудования из-за неправильного подключения.

В статье подробно рассматривается техническая реализация расширенной системы мониторинга, полностью интегрированной в существующую электронную управляющую систему КДМ, что исключает необходимость дооснащения машины дополнительными устройствами сторонних производителей.

Базой для реализации системы является штатный электронный блок управления. Функциональная схема включает: центральный процессорный модуль, энерго-

независимая память формата Flash, интерфейс ввода и вывода информации, часы реального времени (модуль RTC), сторожевой таймер и схема контроля питания.

Центральный модуль осуществляет сбор информации с исполнительных механизмов машины (частота вращения вала разбрасывающего механизма, положение заслонки бункера, скорости движения машины) и т. д.

Система мониторинга имеет два внешних канала для передачи данных – USB и интерфейс с параллельной передачей данных о работе оборудования на системы онлайн и офлайн мониторинга сторонних производителей.

Основное отличие заключается в наличии встроенного мониторинга средствами флэш-памяти, в которую вносятся два типа данных – статистика за смену и общая статистика за весь период эксплуатации оборудования. Для настройки параметров мониторинга (интервала времени, типа материала и т. д.) и обнуления статистики предусмотрена отдельная парольная аутентификация пользователя. Через настраиваемый интервал времени эти данные сохраняются в файле на внешнем USB носителе, что позволяет по приезду КДМ на базу перенести эти данные диспетчеру или мастеру в базу данных.

В энергонезависимой памяти хранятся два типа статистических данных – оперативная статистика за текущую смену и общая статистика за весь период эксплуатации машины. Запись в память осуществляется через циклический алгоритм с функций задания интервала по прерыванию от таймера.

Подключение USB накопителя осуществляется через встроенный USB-хост-контроллер.

Для работы с существующими на рынке системами онлайн-мониторинга (GPS/ГЛОНАСС-трекеры с GPRS-каналом) предусмотрен 8-разрядный параллельный интерфейс с тремя линиями управления: строб данных), готовность приемника и подтверждение приема.

Для обеспечения безопасности и помехозащищенности с учетом жестких условий эксплуатации КДМ могут быть применены: гальваническая развязка параллельного интерфейса, защита линий USB и параллельного порта, использование внешнего супервизора питания с функцией сброса при снижении напряжения ниже допустимого уровня.

Такой комплексный подход позволяет эксплуатирующей организации не тратиться на дооборудование парка своей техники дополнительными дорогостоящими системами мониторинга с затратами на поддержку программного обеспечения и при этом иметь возможность контролировать и учитывать ресурсы, затраченные на поддержание дорог в соответствии с существующими требованиями.

Л и т е р а т у р а

1. Баловнев, В. И. Многоцелевые дорожно-строительные и технологические машины (определение параметров и выбор) : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Подъемно-транспортные, строительно-монтажные, дорожные машины и оборудование», направление подготовительное «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы» / В. И. Баловнев. – Омск ; М., 2006. – 318 с.
2. Передняя, Л. И. Строительные и дорожные машины многоцелевого назначения : учеб. пособие по курсам «Строительные машины» и «Дорожные машины, автомобили и тракторы» для студентов строит. специальностей вузов. – Белорус. политехн. ин-т, Каф. «Строительные и дорожные машины». – Минск : БПИ, 1991. – 45 с.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СИСТЕМ ДОМАШНЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ: АРХИТЕКТУРА И ПРОТОКОЛЫ, ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

Д. Д. Дмитриев, Е. В. Дерябин, К. А. Удодова, А. Е. Запольский

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Представлен системный анализ современных подходов к построению комплексных систем домашней автоматизации («умный дом»). Рассмотрены архитектурные принципы, ключевые компоненты, протоколы связи и поэтапная методология реализации.

Ключевые слова: «умный дом», домашняя автоматизация, IoT, протоколы связи, центральный контроллер, Matter, архитектура системы.

ANALYTICAL REVIEW OF HOME AUTOMATION SYSTEMS: ARCHITECTURE AND PROTOCOLS, CONSTRUCTION PRINCIPLES AND MODERN TRENDS

D. D. Dzmitryeu, Ya. V. Dzerabin, K. A. Udodava, A. Ya. Zapolsky

Sukhoi State Technical University of Gomel, Belarus

The paper presents a systematic analysis of modern approaches to building comprehensive home automation systems ("smart home"). The architectural principles, key components, communication protocols, and a step-by-step implementation methodology are considered.

Keywords: smart home, home automation, IoT, communication protocols, central controller, Matter, system architecture.

В современном мире наблюдается значительный рост в применении интеллектуальных систем управления жилыми пространствами. Анализ рынка показывает наличие проблемы совместимости устройств разных производителей, их недостаточную энергоэффективность и наличие уязвимостей в области информационной безопасности. Современные решения способны автоматизировать определенные задачи, однако у них есть ряд нерешенных проблем: зависимость от Интернета (особенно актуальна для устройств, которые используют беспроводной протокол Wi-Fi), несовместимость устройств от различных производителей. Исследования показывают, что правильно реализованная система «умного дома» может повысить энергоэффективность на 20–30 % по сравнению с обычным домом без систем интеллектуальной автоматизации. Эффективная система строится на уровне трехуровневой модульной архитектуры – сенсорный уровень (уровень восприятия), сетевой уровень, уровень управления.

Первый уровень включает в себя все физические датчики (например, датчики движения, температуры, влажности, газа, протечки) и исполнительные устройства (например, «умные» реле, сервоприводы, термостаты, клапаны).

Второй уровень обеспечивает передачу данных между устройствами через различные протоколы связи (Wi-Fi, Zigbee, Thread, Z-Wave) для создания надежной Mesh-сети. Главным звеном третьего уровня является центральный контроллер (хаб), который агрегирует данные, осуществляет управление всей системой, обеспечивая единый интерфейс. Выбор протокола определяет надежность, энергоэффективность и масштабируемость системы. Протоколы «умной» автоматизации можно разделить на проводные и беспроводные.

К проводным протоколам относятся протоколы KNX, DALI, которые характеризуются высочайшей надежностью, но требуют профессионального монтажа на этапе производства [1].

К беспроводным протоколам относятся протоколы Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, Thread, Matter.

Протоколы Zigbee и Z-Wave используют Mesh-сеть и обладают высокой помехоустойчивостью. Zigbee характеризуется очень низким энергопотреблением и является самоорганизующейся сетью. Ключевыми особенностями протокола Z-Wave являются низкое потребление при высокой помехоустойчивости, обеспечение гарантированной совместимости между различными устройствами.

Протокол Wi-Fi работает с использованием IP-сети, является очень распространенным, так как его использует для организации беспроводного соединения большое количество различных устройств. Но при этом он не обладает низким энергопотреблением и имеет ограничения по подключению: количество подключаемых устройств к 1 хабу ограничено, что может быть критичным при разворачивании масштабных систем автоматизации с большим количеством устройств [3].

Протокол Thread обладает очень низким энергопотреблением и высокой помехозащищенностью. Он создает надежную Mesh-сеть с использованием интернет-протокола IPv6. Каждое устройство Thread имеет собственный IPv6-адрес и может взаимодействовать напрямую с другими IP-устройствами в локальной сети и через Интернет, без необходимости в шлюзах для преобразования протоколов. Это особенность отличает его от других протоколов, таких как Zigbee, которые для подключения к сети Интернет требуют наличия специального шлюза.

Перспективным направлением является стандарт Matter, целью которого является унификация экосистемы разных производителей за счет сложного IP-базируемого протокола. Протокол обеспечивает кроссплатформенную совместимость, локальное управление без зависимости от сети Интернет и повышенную безопасность благодаря сквозному шифрованию [2].

Связка «Matter over Thread» («Matter поверх Thread») считается идеальным решением для систем «умного дома». Пользователь получает преимущества надежной Mesh-сети Thread и гарантию совместимости устройств Matter от разных производителей [2–4].

Анализ современного рынка выявил следующие существенные недостатки у систем типа «Умный дом»: фрагментация экосистемы, энергетическая неэффективность, зависимость от роутера.

Фрагментация экосистемы проявляется в том, что каждый производитель устройств для «умного дома» создает свое собственное решение, часто для настройки требующее фирменного программного обеспечения от производителя. Таким образом, простой пользователь сталкивается в конечном итоге с большим количеством различных программных продуктов, которые требуются ему для разворачивания системы «умной» автоматизации в своем доме. Производитель Яндекс в своем решении «Умный дом с Алисой» решил частично эту проблему, так как позволяет к своему хабу «умного дома» подключать аппаратные решения от других производителей. Однако в ряде случаев использовать полностью функциональные возможности, изначально заложенные производителем устройства, не является возможным.

Ряд популярных решений на рынке используют для своих устройств в качестве беспроводного протокола связи Wi-Fi. Такие устройства потребляют значительное

количество энергии, что особенно критично для датчиков, работающих от аккумуляторных батарей.

Кроме этого такие устройства в качестве головного хаба используют роутер и домашнюю сеть Wi-Fi, тем самым являясь от них критично зависимыми. Однако при формировании концепции собственного «умного дома» необходимо учитывать ограниченные возможности роутера по количеству подключенных к 1 роутеру устройств.

Исходя из вышеизложенного, можно выделить требования к системам автоматизации жилых помещений: модульность конструкции, мультипротокольная поддержка, локальная обработка данных, наличие резервного питания, наличие системы безопасности [5].

Модульность конструкции подразумевает наличие основного головного устройства с подключаемыми к нему модулями расширений (датчики и исполнительные механизмы). Для удобного взаимодействия между модулями и подключениями устройств сторонних производителей хаб должен иметь мультипротокольную поддержку (Zigbee 3.0, Thread, Wi-Fi 6, Bluetooth 5.2). Локальная обработка данных позволит сделать устройство полностью независимым и способным работать в автономном режиме. Для организации эффективной системы безопасности система может быть спроектирована с использованием аппаратного модуля TPM 2.0 и шифрования AES-256.

При разработке системы необходимо также проработать вопросы:

- 1) автоматическое распределение устройств между различными протоколами для оптимизации производительности сети;
- 2) предиктивная автоматизация, основанная на механизмах машинного обучения для анализа поведенческих закономерностей и автоматической корректировки результатов;
- 3) энергетический мониторинг для анализа энергопотребления с учетом режимов оптимизации работы устройств.

Таким образом, современное решение для организации домашней автоматизации типа «умный дом» должно обладать модульностью, универсальной архитектурой с множеством сетевых протоколов, механизмом локальной обработки данных и интеллектуальными алгоритмами оптимизации, поддержкой устройств сторонних производителей.

Литература

1. DALI, KNX & LON: The Pillars of Smart Building Automation Protocols URL: <https://www.linkedin.com/pulse/dali-knx-lon-pillars-smart-building-automation-protocols-salim-ja7hc/> (date of access: 14.09.2025).
2. Чем отличаются протоколы умного дома и какой выбрать? – URL: <https://journal.citilink.ru/articles/chem-otlichayutsya-protokoly-umnogo-doma-i-kakoj-vybrat> (date of access: 15.09.2025).
3. Лучшие стандарты умного дома. – URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/smart-home-zigbee-thread-matter-advice/34761/> (date of access: 17.09.2025).
4. Альянс стандартов связи. Официальные ресурсы протокола Matter. – URL: <https://csa-iot.org/all-solutions/matter/>.
5. Как работает умный дом и для чего он нужен? Все функции и возможности системы. – URL: <https://hoff.ru/blog/chto-takoe-umnyy-dom/> (date of access: 20.09.2025).

СТРУКТУРА УНУТРЫТРУБНОЙ ПРЫЛАДЫ ПОШУКАВАЙ СІСТЭМЫ ДЛЯ РУХОМЫХ ТЭХНІЧНЫХ ПРЫЛАД НАФТАПРАВОДА

Анджар Хафід, Ю. В. Крышнёў, А. Я. Запольскі,
С. М. Кухарэнка, А. У. Сахарук

*Гомельскі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт імя П. В. Сухого,
Рэспубліка Беларусь*

У артыкуле прадстаўлена структура і прыныцыпы работы ўнутрытрубнай прылады пошукавай сістэмы, прызначанай для выяўлення, кіравання і кантролю стану рухомых тэхнічных сродкаў унутры нафтаправодаў. Апісаны архітэктурна-тэхнічныя асаблівасці мікракантролера модуля, сілавога каскаду шыроўна-імпульснага мадулятара, індуктара, сістэмы сілкавання, рэзервовага элемента і модуля бесправадной сувязі. Прылада дазваляе фарміраваць розныя віды пеленгацыйных сігналаў (сінусоідныя з імпульсна-кодавай і фазовай маніпуляцыяй), рэалізоўваць энергаэфектыўнае кіраванне, а таксама ажыццяўляць дыстанцыйную канфігурацыю праз Bluetooth. Прыведзены разліковыя суадносіны для выбару кампанентаў, апісаны тэхнічныя характарыстыкі і рэжымы работы. Рэалізацыя прапанаваных рашэнняў забяспечвае высокую надзейнасць, аўтаномнасць і дакладнасць пошуку тэхнічных прылад унутры трубаправода.

Ключавыя словы: унутрытрубная прылада, пошукавая сістэма, мікракантролер, індуктар, шыроўна-імпульсная мадуляцыя, Bluetooth, пеленгацыйны сігнал, фазавая маніпуляцыя, імпульсна-кодавая маніпуляцыя, энергаэфектыўнасць, рэзервовае сілкаванне.

STRUCTURE OF IN-PIPE DEVICE OF SEARCH SYSTEM FOR MOBILE TECHNICAL DEVICES OF OIL PIPELINES

Andzhar Hafid, Yu. V. Kryshneu, A. Ya. Zapolski,
S. M. Kukhareuka, A. Ul. Sakharuk

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

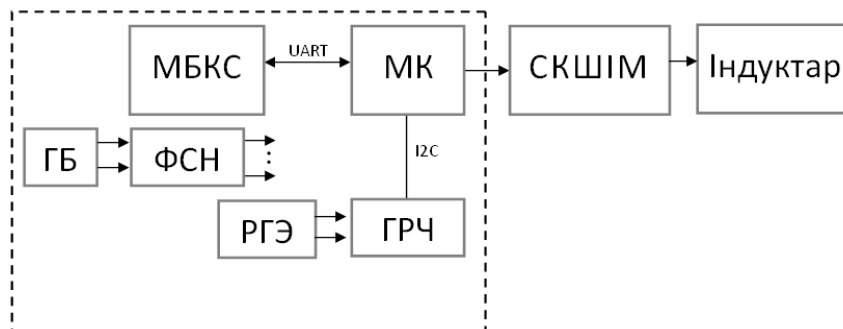
The article presents the structure and operating principles of an in-pipe device for a search system designed to detect, control, and monitor the condition of mobile technical means inside oil pipelines. Architectural and technical features of the microcontroller module, PWM power stage, inductor, power supply system, backup element, and wireless communication module are described. The device enables the generation of various types of direction-finding signals (sinusoidal with pulse-code and phase manipulation), implements energy-efficient control, and allows remote configuration via Bluetooth. Calculation relationships for component selection are provided, along with technical specifications and operating modes. Implementation of the proposed solutions ensures high reliability, autonomy, and accuracy in locating technical devices inside pipelines.

Keywords: in-pipe device, search system, microcontroller, inductor, pulse-width modulation (PWM), Bluetooth, direction-finding signal, phase manipulation, pulse-code manipulation, energy efficiency, backup power.

Структура ўнутрытрубнай прылады (УП) пошукавай сістэмы для рухомых тэхнічных прылад нафтаправода прыведзена на мал. 1. Мікракантролер (МК) задае форму сігнала, які пры дапамозе сілавога каскада шыроўна-імпульснага мадулятара (СКШІМ) пераўтвараецца ў электрычныя калыханні з зададзенымі параметрамі выхадной магутнасці. Пры дапамозе індуктара электрычныя калыханні пераўтвараюцца ў прапарцыянальны пераменны магнітны струмень, які ў інфармацыйным сэнсе з'яўляецца пеленгацыйным сігналам у пошукавай сістэме. У схеме УП, з мэтай сумяшчальнасці з раней выкананымі распрацоўкамі, прадугледжаны два асноўныя рэжымы фарміравання сігналаў:

– фарміраванне сінусоідных сігналаў з імпульсна-кодавай маніпуляцыяй (колькасць перыядаў сінусоіднага сігнала частаты 22 Гц і колькасць перыядаў паўзы задаецца ад ПЭВМ з дапамогай бесправаднага канала сувязі на аснове Bluetooth);

– фарміраванне фазаманіпуляваных сігналаў, у якіх правіла кадавання задаецца 2-узроўневай кодавай паслядоўнасцю (даўжыня і код паслядоўнасці задаецца ад ПЭВМ з дапамогай бесправаднага канала сувязі на аснове Bluetooth).



Мал. 1. Структурная схема унутрытрубнай прылады пошукавай сістэмы (трансмідара):

МК – мікракантролер; СКШІМ – сілавы каскад шыроўна-імпульснага мадулятара; МБКС – модуль бесправаднага канала сувязі на аснове Bluetooth;

ГБ – гальванічная батарэя; ФСН – фарміравальнік сілкуючых напружанняў;

РГЭ – рэзервовы гальванічны элемент; ГРЧ – мікрасхема-гадзіннік рэальнага часу

Шпуля магнітнага індуктара ўнутрытрубнай прылады прызначана для фарміравання электрамагнітнага поля перадаванага сігнала. Канструктыўна шпуля выканана ў выглядзе цыліндрычнай абмоткі на каркасе з растуленым ферамагнітным стрыжнем [1–3]. Каркас шпулі выраблены з палімернага матэрыялу, па чарцяжы, прадстаўленым на мал. 2, а. Абмотка шпулі выканана медным абмотачным провадам маркі ПЭВ-2 з дыяметрам токаводчай жылы 1 мм, намотка ажыццяўлялася двума паралельнымі правадамі. Абмотка выкладзена ў каркас чатырнаццаццю слямі па 32 віткі ў кожным. У выніку абмотка змяшчае 448 віткоў. Знешні выгляд шпулі пасля намоткі паказаны на мал. 2, б.

Мікракантролерны модуль (мал. 1) прызначаны для кіравання рэжымамі работы ўнутрытрубнай прылады пошукавай сістэмы. Модуль павінен забяспечваць наступныя функцыі [4]:

– фарміраваць кіруючы сігнал для індуктара (пеленгацыйны сігнал трансмітара);

– дазваляць задаваць алгарытм работы ўнутрытрубнай прылады з ПК з выкарыстаннем бесправаднага канала сувязі;

– кантраляваць стан асноўнай гальванічнай батарэі ГБ і рэзервовага гальванічнага элемента РГЭ;

– ажыццяўляць адключэнне сілкавання пры дасягненні зададзенага нізкага ўзроўню напружання на асноўнай гальванічнай батарэі ГБ.

Акрамя гэтых функцый, адным з асноўных патрабаванняў да дадзенага модуля з’яўляецца нізкае энергаспажыванне.

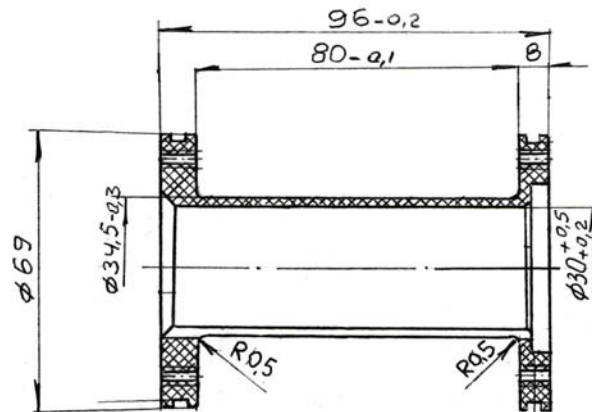
Тэхнічныя характарыстыкі мікракантролернага модуля:

– напружанне сілкавання: 6–24 В;

– спажываны ток: < 10 мА;

- канал сувязі з ПК: Bluetooth 2.0;
- дакладнасць задання часавай кропкі: 1 с;
- максімальны часавы інтэрвал паміж часавымі кропкамі: 30 сутак;
- аналагавы інтэрфейс: ШІМ.

Асноўная гальванічная батарэя (ГБ) забяспечвае сілкаваннем усю ўнутры-трубную прыладу, уключаючы перадаючую частку. Дадзены модуль дазваляе выкарыстоўваць розныя тыпы батарэй з дыяпазнам напружанняў 6–24 В.



а)



б)

Мал. 2. Каркас шпулі індуктара (а),
знешні выгляд індуктара пасля намоткі (б)

Фарміравальнік сілкуючых напружанняў (ФСН) рэалізаваны на аснове імпульснага пераўтваральніка напружанняў і прызначаны для забеспячэння сілкаваннем усіх частак унутрытрубнай прылады. Як ужо было адзначана, сілкавальнае напружанне ад ГБ можа змяняцца ў даволі шырокіх межах, а сілкаванне ўсіх частак модуля павінна падтрымлівацца на ўзроўні 3,3 В. Акрамя гэтага, модуль павінен быць энергаэфектыўным: імпульсны пераўтваральнік павінен мець высокі ККД. Гэта дасягаецца за кошт выкарыстання высокай частаты пераўтварэння, а таксама малага ўласнага спажывання на ўсім магчымым дыяпазоне ўваходнага напружання.

Мікракантролер прызначаны для кантролю і кіравання ўсімі складовымі часткамі модуля. Зыходзячы з патрабавання нізкага спажывання, ён павінен забяспечваць максімальную прадукцыйнасць пры малых токах спажывання, а таксама мець шырокі набор інструкцый па кіраванні рэжымамі энергаашчаджэння.

Гадзіннік рэальнага часу (ГРЧ) прызначаны для сінхранізацыі пераключэння рэжымаў у адпаведнасці з заданай праграмай. Яго сілкаванне ажыццяўляецца ад рэзервавага гальванічнага элемента РГЭ, не звязанага з агульным сілкаваннем ўсяго

модуля. Такая реалізація дазваляе вырабляць адлік часу нават пры адключэнні асноўнага сілкавання. Пры дасягненні заданай часавай кропкі, ГРЧ фарміруе перапыненне, якое перадаецца мікракантролеру, сігналізуючы аб тым, што неабходна ажыццявіць наступнае пераключэнне рэжыму работы прылады.

Модуль бесправаднага канала сувязі (МБКС) прызначаны для падлучэння МК да ПК (альбо планшэта) і прыёму канфігурацыйнай інфармацыі.

Як асноўную функцыю МК фарміруе двухканальны сігнал шыротна-імпульснай мадуляцыі (ШІМ), які перадаецца далей на сілавы каскад (узмацняльнік магутнасці), у ланцуг індуктара. З дапамогай змены параметраў ШІМ паводле заданых законаў, на індуктары ствараецца патрэбная форма пеленгацыйнага сігнала (сінусоідны сігнал з імпульсна-кодавай маніпуляцыяй або фазаманіпуляваны сігнал). Вывады абодвух каналаў і сігналы кіравання сілавым каскадам ШІМ падключаюцца да выхаднага канэктара мікракантролернага модуля.

Литература

1. Вонсовский, С. В. Магнетизм / С. В. Вонсовский. – М. : Наука, 1971.
2. Дударев, М. С. Исследование частотной зависимости магнитной проницаемости ферромагнитных изделий : авторефер. дис. ... канд. техн. наук / М. С. Дударев ; РАН Урал. отд-ние, Ин-т физики металлов, Екатеринбург, 1999.
3. Сердечники для катушек индуктивности и трансформаторов, используемых в аппаратуре дальней связи. Ч. 1. Методы измерений : ГОСТ 29004-91.
4. Крышнев Ю. В. Система поиска, управления и контроля состояния внутритрубного герметизатора / Ю. В. Крышнев, Э. М. Виноградов, В. О. Старостенко [и др.] // Доклады 1 част Sixth scientific conference with international participation and exhibition «the civil protection» 2011 – София : Акад. на MBP, 2011. – С. 50–55.

СЕКЦИЯ II ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ УМНЫХ ОЧКОВ ДЛЯ СЛАБОСЛЫШАЩИХ И ГЛУХИХ ЛЮДЕЙ

А. В. Кузнецова, И. Э. Петров, С. В. Фролов

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Представлены основные конструкционные особенности умных очков для слабослышащих и глухих людей, предложено решение для эффективного распознавания окружающей среды.

Ключевые слова: умные очки, аппаратная часть, микроконтроллер.

DESIGN FEATURES OF SMART GLASSES FOR HEARING-IMPAIRED AND DEAF PEOPLE

A. V. Kuznetsova, I. E. Petrov, S. V. Frolov

Tambov State Technical University, Russian Federation

The main design features of smart glasses for hearing-impaired and deaf people are presented, and a solution for effective environmental recognition is proposed.

Keywords: smart glasses, hardware, microcontroller.

Умные очки (УО) на основе технологии дополненной реальности предоставляют уникальное решение для улучшения коммуникации среди глухих и слабослышащих людей. Система позволяет преобразовывать звуки окружения и человеческую речь в текстовую информацию, которую пользователь может легко воспринимать. УО состоят из двух частей – аппаратной и программной. В данной статье будут рассмотрены основные конструкционные особенности умных очков для слабослышащих и глухих людей.

Ключевыми аппаратными элементами (рис. 1) выступают микроконтроллер, дисплей OLED, микрофонные модули. Благодаря интеграции с облаком Yandex, очки способны точно распознавать разнообразные сигналы и обеспечивать полную интеграцию пользователя в окружающую среду.

Система УО построена вокруг платы микроконтроллера, обеспечивающей обработку сигналов и взаимодействие с периферийными устройствами. К основным элементам относятся модули усилителя микрофонного сигнала MAX9814, литий-полимерный аккумулятор, OLED-дисплей размером 0,96 дюйма, модуль Bluetooth HC-06 для взаимодействия с приложением в операционной системе Android.

Четырехканальная микрофонная система помогает локализовать источник звука и определять интенсивность каждого сигнала. Использование специализированных модулей с автоматическим регулированием уровня сигнала повышает точность идентификации звуковой картины [1].



Рис. 1. Ключевые аппаратные элементы умных очков

Применение сверточных нейронных сетей значительно увеличивает точность классификации спектральных характеристик звуковых волн. По мере накопления больших объемов размеченных данных увеличивается эффективность системы распознавания и классификации [2].

Для эффективного распознавания окружающей речи предлагается разделять звуковые сигналы по частотам, дать пользователю возможность выбирать, какого пола человек, чью речь, первый хочет транскрибировать, таким образом выборка уменьшается. Также потребитель может оставить стандартную фоновую расшифровку, когда несколько человек говорит одновременно. Такая классификация облегчает идентификацию и улучшает качество взаимодействия пользователя с системой [3].

Основной функцией системы является точное преобразование человеческой речи в текст. За это отвечает Yandex Cloud Speech-to-Text API, позволяющий мгновенно получать расшифрованную речь и выводить ее на экран в удобочитаемом виде.

Модуль Bluetooth HC-06 осуществляет связь между микроконтроллером и мобильным устройством, позволяя передавать аудиоданные на сервер Yandex для последующего анализа и обратного вывода результата на дисплей.

Информация выводится на маленький OLED-дисплей, закрепляемый на оправе очков. Высококачественное разрешение экрана и низкая потребляемая мощность делают этот метод удобным и энергоэффективным.

Разработанная конструкция умных очков для слабослышащих и глухих людей демонстрирует потенциал новых технологий в улучшении качества жизни пользователей с ограниченными возможностями слуха. Простота эксплуатации, высокая надежность и доступность компонентов позволяют создать массовое коммерческое решение, способствующее социализации и повышению комфорта пользователей.

Литература

1. Применение бионического подхода при синтезе систем управления многомерными объектами высокой размерности / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Ю. Потлов, Т. А. Фролова // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. – № 6. – С. 67–70.
2. Применение метода градиентного нейросетевого управления в биотехнических системах / С. В. Фролов, А. А. Коробов, К. С. Савинова, А. Ю. Потлов // Информационные технологии и технические средства управления. – 2023. – С. 193–195.
3. Градиентный метод нейросетевого управления многосвязными нелинейными нестационарными стохастическими системами / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Ю. Потлов, К. С. Савинова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 5. – С. 41–48.

ИЗМЕРЕНИЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА НА ОСНОВЕ ТОНОПЛЕТИЗМОГРАФИИ

А. В. Кузнецова, А. Р. Аветисян, С. Г. Проскурин

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Представлены методы анализа variability сердечного ритма на основе регистрации звуков тонометра при неинвазивном измерении артериального давления и пульса человека, описан принцип работы аппаратно-программного устройства для определения количественных характеристик variability сердечного ритма и его программное обеспечение, а также технические особенности реализации.

Ключевые слова: синусовый ритм, variability сердечного ритма, тоноплетизмография, микроконтроллер.

MEASUREMENT OF HEART RATE VARIABILITY RHYTHM BASED ON TONOPLETISMOGRAPHY

A. V. Kuznetsova, A. R. Avetisyan, S. G. Proskurin

Tambov State Technical University, Russian Federation

Methods for analyzing heart rate variability based on recording tonometer sounds during noninvasive measurement of human blood pressure and pulse are presented. Software principles for the device operation for determining quantitative characteristics of heart rate variability, as well as technical features of implementation are described.

Keywords: sinus rhythm, heart rate variability, tonoplethysmography, microcontroller.

Исследование variability сердечного ритма (BCP) важно в медицине из-за широкой распространенности сердечно-сосудистых болезней, стресса и популярности персонализированных технологий. Анализ BCP позволяет выявлять риски патологий, повышать эффективность лечения и формировать индивидуальный подход к здоровью. Целью работы является обобщение методов количественного анализа variability сердечного ритма для оценки функций организма и управления профилактикой, диагностикой и коррекцией нарушений с использованием тонометра для измерения АД и пульса, а также описание принципа работы устройства и программного обеспечения, определяющее численные характеристики BCP.

Существует несколько методов анализа BCP, среди которых наиболее распространены: временной, частотный и различные нелинейные приложения. Временной метод включает расчет таких показателей, как стандартное отклонение нормальных интервалов (SDNN), среднеквадратическое отклонение последовательных разностей (RMSSD), процент пар соседних интервалов, различающихся более чем на 50 миллисекунд (pNN50). Частотный метод основан на спектральном анализе, выделяя низкочастотные (LF) и высокочастотные (HF) компоненты спектра. Нелинейные методы включают анализ фазовых портретов, рекуррентных структур и энтропийных мер.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения, выбор метода зависит от целей исследования и особенностей исследуемых пациентов.

Программное обеспечение (ПО) устройства, предназначенного для определения количественных характеристик BCP, разработано для автоматизации процесса анализа частоты сердечных сокращений (ЧСС) и других ключевых показателей variability сердечного ритма. Оно позволяет оценить стабильность синусового ритма, стресс, уста-

лость и общее состояние сердечно-сосудистой системы. Также ПО производит автоматизированный расчет важнейших параметров ВСР: ЧСС, SDNN, RMSSD, pNN50.

Звуковые импульсные сигналы регистрируются датчиком давления, встроенным в тонометр. Для каждого сердечного сокращения фиксируется временной интервал между ударами. Далее происходит расчет ЧСС путем вычисления среднего арифметического рассчитанных мгновенных значений пульса, а также вычисление SDNN (1), RMSSD (2), pNN50 (3) и расчет индекса HRV (4), характеризующего общую нагрузку на систему регуляции сердечного ритма. Показания отображаются на экране устройства в удобной форме, на дисплее компьютера и сохраняются для дальнейшего анализа.

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

где N – общее количество измеренных $R-R$ интервалов; x_i – отдельные значения интервалов между ударами сердца ($R-R$ интервалы); $\bar{x}$ – среднее значение всех $R-R$ интервалов.

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (NN_i - NN_{i+1})^2}, \quad (2)$$

где NN_i, NN_{i+1} – последовательные интервалы между сердечными сокращениями.

$$pNN50 = \frac{N_{50}}{N}, \quad (3)$$

где N_{50} – количество пар последовательных интервалов NN , разница между которыми превышает 50 мс; N – общее количество интервалов.

$$HRV = \frac{SDNN}{RMSSD}. \quad (4)$$

Среди технических особенностей реализации можно выделить следующее: использование библиотеки микроконтроллера «GyverOLED» для взаимодействия с дисплеем, фиксацию периодичности регистрации сердечных сокращений (экспериментально установлено 25 измерений подряд), определение временных интервалов между сердцебиениями (интервалы $R-R$), необходимых для расчета всех индексов ВСР.

Сравнение описанной программы с ЭКГ исследованиями показало высокую точность и надежность расчетов, что позволяет эффективно применять ее в медицинских учреждениях и центрах диагностики [1, 2]. Данный подход позволяет количественно определить процент аритмии при помощи тонометра, необходимость дополнительной терапии, своевременно выявить нарушения сердечного ритма и контролировать эффективность восстановительных процедур.

Л и т е р а т у р а

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025661316 Российская Федерация. Количественное определение частоты и стандартного отклонения синусового ритма сердца человека : № 2025619457: заявлено 21.04.2025 : опубл. 05.05.2025 / Моргунов Н. Р., Сеченева Е. В., Проскурин С. Г. ; правообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.

2. Количественное определение характеристик variability сердечного ритма человека : заявлено 18.09.2025 / Аветисян А. Р., Кузнецова А. В., Проскурин С. Г. ; правообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – Подано в ФИПС для регистрации.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕНОСКОПА И СТАНДАРТНОГО МЕТОДА ПОИСКА ВЕН

Н. Р. Моргунов, Е. В. Сеченева, Д. Е. Судаков

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Рассмотрены традиционный и аппаратный методы поиска вен. Показано, что веноскопы повышают успешность венопункции и имеют перспективы развития в медицинской электронике.

Ключевые слова: венозный доступ, венопункция, веноскоп, инфракрасная визуализация.

COMPARATIVE STUDY OF VEIN VIEWER AND STANDARD VEIN DETECTION METHOD

N. R. Morgunov, E. V. Secheneva, D. E. Sudakov

Tambov State Technical University, Russian Federation

Traditional and device-based vein detection methods are compared. Vein viewers improve venipuncture success and show promising prospects in medical electronics.

Keywords: venous access, venipuncture, vein viewer, infrared imaging.

Обеспечение венозного доступа – распространенная, но при этом сложная процедура в медицине. Введение иглы в вену, казавшееся простым, может вызвать трудности у ряда пациентов и сопровождаться нежелательными последствиями. Проблемы с выявлением вен делают манипуляцию более травматичной, вызывают болевые ощущения, тревогу и негативное отношение со стороны больных, а также увеличивают нагрузку на медсестр и врачей. Общепринятые методы определения положения сосудов, основанные на визуальном осмотре и пальпационном обследовании, не всегда дают желаемый результат и зависят от квалификации выполняющего их специалиста. В связи с этим возрастает значимость применения современных технических устройств, например, электронных аппаратов для визуализации, таких как веноскопы.

Обычно вены обнаруживают, используя визуальный осмотр и прощупывание. У этого способа есть плюсы: он не требует специальных приборов, применим в любом месте и бесплатен. Однако эффективность во многом определяется опытом медсестры или врача и индивидуальными особенностями строения тела пациента. Наибольшие сложности возникают при работе с детьми, пожилыми людьми, пациентами с избыточным весом, недостатком жидкости в организме или поврежденными кровеносными сосудами после многочисленных лечебных процедур.

Для преодоления текущих ограничений в современной медицине применяются современные устройства визуализации вен – веноскопы. Их принцип действия основан на использовании ближнего инфракрасного света, эффективно поглощаемого гемоглобином, присутствующим в венозной крови. Это дает возможность визуализировать сосуды на фоне окружающих тканей. Самые новые модели проецируют изображение венозной структуры непосредственно на кожу пациента или показыва-

ют его на дисплее, упрощая выбор оптимального места для введения иглы.

С конструктивной точки зрения, веноскоп – это электронно-оптический прибор, состоящий из источника инфракрасного света, сенсоров и блока обработки сигнала. Инфракрасные светодиоды с длиной волны в диапазоне 750–940 нм используются для создания излучения. CMOS или CCD-сенсоры регистрируют отраженный свет, а затем микропроцессор обрабатывает полученную информацию и формирует визуальное представление венозной сети (рис. 1). Следовательно, веноскоп представляет собой пример интеграции оптоэлектроники и цифровой обработки изображений в сфере медицинского оборудования.

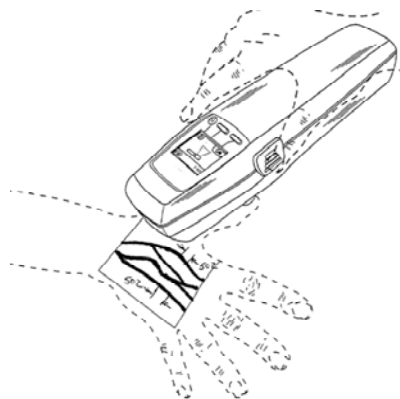


Рис. 1. Принцип работы веноскопа

С точки зрения радиотехники, работа веноскопа опирается не только на генерацию и фиксацию излучения, но и на анализ сигналов. Для повышения четкости изображения применяют методы очистки и цифровой обработки сигнала, включающие повышение полезного сигнала на фоне помех и коррекцию оптических искажений. В перспективе ожидается внедрение модуляции светового излучения и фазовых методов регистрации отраженного сигнала, что позволит улучшить точность получаемого изображения и сократить влияние помех. Таким образом, веноскопы являются примером слияния радиотехнических и оптоэлектронных технологий в медицинском оборудовании.

Практические тесты показывают, что использование веноскопа значительно повышает шансы успешного проведения пункции с первого раза у пациентов со сложными венами. В педиатрической практике эффективность возрастает почти вдвое, сокращается количество побочных эффектов, снижается интенсивность болевых ощущений и тревожности. Однако у технологии есть и недостатки: высокая стоимость аппарата, необходимость в электроэнергии у некоторых моделей и сохранение зависимости результата от квалификации медперсонала.

Перспективы развития веноскопов зависят от улучшения электронных компонентов. Использование более чувствительных фотодатчиков и алгоритмов машинного зрения позволит повысить четкость и детализацию изображения. Внедрение беспроводной передачи данных обеспечит удаленное управление и консультации в рамках телемедицины. Все это подчеркивает важность веноскопа как примера прогрессивного направления в медицинской электронике.

Анализ показал, что традиционный метод обнаружения вен остается общедоступным и универсальным, но его эффективность ограничена в сложных ситуациях. Веноскопы, применяющие ближнюю инфракрасную визуализацию и цифровую об-

работку изображений, значительно повышают качество и безопасность венопункции. Они особенно полезны в педиатрической практике, онкологии и экстренной медицине. В дальнейшем развитие компонентной базы, снижение стоимости и интеграция с цифровыми инструментами позволят веноскопам занять значимое место в медицинской технике и стать привычным инструментом в клинической практике.

Л и т е р а т у р а

1. Коростылева, И. С. Биотехническая система для визуализации вен: разработка и испытания / И. С. Коростылева // Вестник биомедицинской техники. – 2022. – № 3. – С. 50–57.
2. Гаргат, Е. А. Опыт применения инфракрасного визуализатора вен в клинической практике / Е. А. Гаргат // Медицинский вестник. – 2019. – № 4. – С. 33–36.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ

Е. В. Сеченева, Н. Р. Моргунов, А. А. Коробов

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Цифровая трансформация здравоохранения с применением искусственного интеллекта и систем поддержки принятия врачебных решений способствует повышению качества диагностики, точности клинических решений и эффективности медицинской помощи.

Ключевые слова: цифровая трансформация, системы поддержки принятия врачебных решений, искусственный интеллект, цифровой двойник, стандартизация, здравоохранение.

DIGITAL TRANSFORMATION OF MEDICAL DIAGNOSTIC AND TREATMENT PROCESSES AND IMPLEMENTATION OF CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEMS

E. V. Sechenova, N. R. Morgunov, A. A. Korobov

Tambov State Technical University, Russian Federation

Digital transformation of healthcare through artificial intelligence and clinical decision support systems enhances diagnostic quality, decision accuracy, and overall efficiency of medical care.

Keywords: digital transformation, clinical decision support systems, artificial intelligence, digital twin, standardization, healthcare.

Сегодня одним из ключевых векторов развития здравоохранения выступает цифровая трансформация лечебно-диагностической деятельности. Это подразумевает активное внедрение алгоритмов искусственного интеллекта и автоматизацию труда медицинского персонала. Подобные изменения обусловлены появлением новых видов функциональной диагностики, а также тактик лечения, что приводит к росту медицинской информации, что особенно заметно в кардиологии и интенсивной терапии. Помимо этого отмечается появление новых методик выявления заболеваний. В целом врачу-кардиологу приходится принимать во внимание огромное количество факторов, вызванное сложностью сердечно-сосудистой системы – ее многосвязностью, нелинейностью, стохастичностью. Остаются неизученными ряд вопросов, связанных с функционированием сердечно-сосудистой системы, например, элементы регуляции – ее иерархичность, конечная цель и механизмы протекания.

Таким образом, вышеперечисленные факторы обосновывают актуальность цифровизации здравоохранения, особенно в вопросах выполнения рутинных процедур, а также при уточнении и ускорения выбора тактики лечебных процедур.

Цифровая трансформация лечебно-диагностических процессов является одним из ключевых направлений развития современного здравоохранения. Данная тенденция обусловлена постоянным ростом медицинской информации и необходимостью повышения качества клинических решений.

Актуальным становится применение в медицинской практике внедрение СППВР совместно с технологиями нейронных сетей и искусственного интеллекта, что направлено на оптимизацию лечебно-диагностических процессов и повышение эффективности оказания медицинской помощи.

В 2020–2024 гг. были приняты три ключевых документа, определяющих стандартизацию ИИ в здравоохранении [1–3]:

- ГОСТ Р 71671-2024 «Системы поддержки принятия врачебных решений с применением искусственного интеллекта» [1];

- ГОСТ Р 59277-2020 «Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта» [2];

- ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» [3].

Эти стандарты формируют основу для оценки и внедрения инновационных технологий в медицинскую практику.

Согласно ГОСТ Р 71671-2024, под СППВР понимают программное обеспечение, которое позволяет путем обработки и интерпретации собираемой информации на основе алгоритмов поддерживать принятие врачом решения на всех этапах лечебно-диагностического процесса с целью снижения ошибок и повышения качества медицинской помощи.

ГОСТ Р 59277-2020 впервые в российской практике вводит системную классификацию систем искусственного интеллекта по двенадцати основаниям, включая степень автономности, архитектуру, функции в контуре управления, методы обработки информации и виды деятельности. Согласно стандарту, ИИ определяется как комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать результаты, сопоставимые с интеллектуальной деятельностью человека.

ГОСТ Р 57700.37-2021 определяет цифровой двойник изделия как систему, состоящую из цифровой модели и двусторонних информационных связей с реальным объектом.

В Российской Федерации разработан ряд СППВР, направленных на раннее выявление заболеваний, анализ медицинских изображений, автоматизацию работы с данными пациента, а также помощь в выборе терапии, в том числе подбора лекарственных препаратов [4].

Вместе с этим остается ряд проблем, мешающих повсеместному внедрению СППВР. Отмечается недоверие врачей к системам, представляющих собой «черный ящик» – не представляющих цепочки рассуждений; остаются вопросы к данным, на которых обучается ИИ, входящих в состав СППВР; методики сбора данных при медицинских процедурах не стандартизированы, что приводит к сложности внедрения СППВР в местах, отличные от мест, где она была разработана.

Тем не менее применение СППВР совместно с ИИ позволит приблизиться к созданию цифровых двойников органов и систем, что позволит развивать персона-

лизированный подход в медицине. Дальнейшая работа по совершенствованию СППВР будет во многом связано с созданием математических моделей для задач реализации цифровых двойников, в том числе с применением методов нейронных сетей для описания сложных взаимодействий в органах и системах организма человека.

Литература

1. ГОСТ Р 71671–2024. Системы поддержки принятия врачебных решений с применением искусственного интеллекта.
2. ГОСТ Р 59277–2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта.
3. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения.

СТЕНД ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПИЛОТИРОВАНИЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

И. А. Чупахин, М. С. Демидов, Н. М. Гребенникова

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Рассмотрено инновационное решение ключевой проблемы обучения операторов беспилотных летательных аппаратов – высокого риска повреждения дорогостоящего оборудования и угрозы безопасности. Таким решением является специализированный учебный стенд, который позволяет отрабатывать навыки пилотирования в полностью контролируемой и безопасной среде.

Ключевые слова: стенд для обучения, пилотирование, БПЛА.

UAV PILOTING TRAINING STAND

I. A. Chupakhin, M. S. Demidov, N. M. Grebennikova

Tambov State Technical University, Russian Federation

The article discusses an innovative solution to the key challenge of training unmanned aerial vehicle operators: the high risk of damaging expensive equipment and posing a security threat. This solution is a specialized training stand that allows pilots to practice their skills in a fully controlled and safe environment.

Keywords: training stand, piloting, UAV.

Основная проблема обучения пилотированию дронов – это высокий риск повреждения дорогостоящей техники и угроза безопасности людей и объектов. Каждое практическое занятие чревато аварией. Решением этой проблемы стал специализированный учебный стенд, который кардинально меняет подход к подготовке операторов. Он позволяет отрабатывать ключевые навыки в полностью контролируемой и безопасной виртуальной среде, исключая любые риски.

Конструктивно стенд представляет собой прочную раму, на которой с помощью динамических подвесов закреплен настоящий дрон. Аппарат лишен возможности свободно летать, но все его системы, включая двигатели и пропеллеры, работают в штатном режиме (рис. 1). Обучающийся использует обычный пульт управления, и дрон реагирует на команды так же, как в полете: моторы меняют обороты, корпус наклоняется, но уйти с места он не может [1]. Это создает полный эффект реального пилотирования, включая звук и вибрацию, но без малейшего риска аварии.



Рис. 1. Внешний вид стенда

Для наглядности траектории полета используются специальные решения, например, система подвижных колец, которые кинематически соединены с полетным контроллером дрона. Эти кольца в реальном времени повторяют все угловые движения аппарата, визуализируя его ориентацию в пространстве. Это позволяет пилоту сразу увидеть связь между своими действиями джойстиком и поведением машины, что быстро формирует правильную моторную память.

Перспективным направлением развития является оснащение стендов расширенной системой датчиков, которые в реальном времени анализируют работу всех систем дрона – от энергопотребления двигателей до создаваемой ими тяги и вибраций [2]. Эти данные выводятся на монитор инструктора, позволяя не только обучать пилотированию, но и отрабатывать энергоэффективные режимы, а также диагностировать ранние признаки неисправностей.

Особую ценность тренажеру придает возможность моделирования сложных условий, таких как направленные порывы ветра от программируемых вентиляторов и даже имитация осадков. Это позволяет готовить операторов к работе в нестандартных ситуациях. Инструктор может программно имитировать отказ двигателя, потерю связи или разряд батареи, а обучающийся учится парировать эти угрозы без риска реальных последствий [3].

Экономический эффект от такого тренажера очевиден: сотни учебных часов проходят без малейших повреждений дорогостоящего оборудования, что многократно окупает первоначальные вложения. Стенд позволяет до автоматизма отработать взлет, посадку, зависание и сложные маневры, формируя у пилота уверенные навыки до его первого реального вылета. Таким образом, этот высокотехнологичный комплекс служит мостом между теорией и практикой, готовя не робких новичков, а уверенных специалистов, что повышает надежность всей отрасли в целом.

Л и т е р а т у р а

1. Основы робототехники / Н. В. Василенко, К. Д. Никитан, В. П. Пономарев, А. Ю. Смолин. – Томск : МГП «РАСКО», 1993. – 470 с.
2. Юревич, Е. И. Основы робототехники / Е. И. Юревич. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
3. Иноземцев, Д. П. Беспилотные летательные аппараты: теория и практика / Д. П. Иноземцев // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2013. – № 2. – С. 49.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ МАШИН НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

И. С. А. Х. Альнакиб¹, М. Ф. С. Х. Аль-Камали²

¹Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск,
Российская Федерация

²Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Представлен системный обзор современных методов прогнозирования и оценки надежности машин на ключевых этапах их жизненного цикла: проектировании и эксплуатации. Рассмотрены классические вероятностно-статистические подходы и их цифровая эволюция на основе больших данных и машинного обучения. Особое внимание уделено предиктивной аналитике и цифровым двойникам как инструментам перехода от планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию. Анализируются синергетические эффекты от интеграции данных проектирования, испытаний и реальной эксплуатации для построения сквозных моделей надежности.

Ключевые слова: надежность машин, прогнозирование отказов, предиктивная аналитика, цифровой двойник, машинное обучение, эксплуатационная диагностика, расчет на долговечность.

MODERN METHODS OF FORECASTING AND ASSESSING THE RELIABILITY OF MACHINES AT THE DESIGN AND OPERATION STAGE

I. S. A. H. Alnakib¹, M. F. S. H. AL-Kamali²

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation.

²Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus

This paper presents a systematic review of modern methods for predicting and assessing machine reliability at key stages of their lifecycle: design and operation. Classic probabilistic-statistical approaches and their digital evolution based on big data and machine learning are considered. Attention is paid to predictive analytics and digital twins as tools for transitioning from scheduled preventive maintenance to condition-based maintenance. The synergistic effects of integrating design, testing, and real-world operation data to build end-to-end reliability models are analyzed.

Keywords: machine reliability, failure prediction, predictive analytics, digital twin, machine learning, operational diagnostics, durability calculation.

Надежность как комплексное свойство технической системы сохранять во времени способность выполнять требуемые функции является ключевым фактором конкурентоспособности, безопасности и экономической эффективности. Традиционная парадигма, разделяющая процессы расчета на этапе проектирования и оценки в ходе эксплуатации, уступает место целостному, сквозному подходу. Современные методы направлены на создание единой информационно-аналитической среды, связывающей виртуальные прототипы, данные стендовых испытаний и телеметрию реальной работы. Данная работа ставит целью структурировать и проанализировать современный инструментарий для решения этой задачи [1–3].

Проведенный анализ позволяет утверждать, что современная методология надежности трансформировалась из набора разрозненных инструментов в целостную

сквозную систему. Ключевым результатом является четкое подтверждение, что до 80 % потенциала надежности закладывается на этапе проектирования, где традиционные эмпирические подходы уступают место комплексному компьютерному моделированию. В частности, детерминированное моделирование на основе МКЭ позволяет прогнозировать усталостную долговечность и оптимизировать геометрию, в то время как вероятностный анализ (например, методом Монте-Карло) оценивает не абсолютный запас прочности, а статистическую степень риска с учетом естественного разброса свойств. FMEA-анализ, эволюционировав в цифровые базы знаний, интегрированные с CAD-моделями, обеспечивает структурное управление рисками на протяжении всего жизненного цикла изделия.

В ходе эксплуатации валидация и коррекция этих моделей осуществляется через призму данных. Фундаментальный статистический анализ отказов, автоматизированный через ERP-системы, дополняется передовой предиктивной аналитикой. Алгоритмы машинного обучения, обрабатывающие большие данные телеметрии, выявляют сложные корреляции для прогнозирования остаточного ресурса, что является основой для перехода к обслуживанию по фактическому состоянию (Condition-Based Maintenance). Высшей формой интеграции проектных и эксплуатационных методов выступает технология цифрового двойника, которая выполняет опережающее моделирование, оценивая влияние текущих режимов работы на будущую надежность.

Однако наиболее значимый синергетический эффект достигается при создании единого информационного контура. Данные эксплуатационного мониторинга используются для калибровки расчетных моделей МКЭ, повышая точность прогнозов для будущих модификаций. Обратная связь в виде проанализированной статистики отказов формирует целевую выборку для совершенствования FMEA при проектировании новых поколений техники. Наконец, точные прогнозы ресурса позволяют внедрять прескриптивную аналитику, которая оптимизирует логистику запчастей и планирование ремонтов, минимизируя общую стоимость владения (LCC). Следовательно, современные методы формируют не просто инструментарий оценки, а динамическую систему управления надежностью, основанную на данных и непрерывном обучении.

Таким образом, интеграция цифрового моделирования, анализа больших данных и технологий цифровых двойников формирует новую парадигму сквозного управления надежностью на основе данных. Это обеспечивает стратегический переход от реактивного исправления отказов к проактивному управлению ресурсом и рисками, создавая ключевое конкурентное преимущество за счет снижения стоимости владения и роста операционной эффективности. Однако реализация потенциала требует преодоления системных вызовов: преодоления «цифрового разрыва» (разнородные стандарты данных), масштабного развития цифровых компетенций персонала и обеспечения кибербезопасности распределенных систем. Решение этих задач зависит от скоординированных усилий промышленности, отраслевых ассоциаций и образовательных учреждений. Успешная трансформация откроет путь к созданию новых сервисных моделей и обеспечению технологического лидерства в условиях Четвертой промышленной революции.

Литература

1. AL-Kamali, M. F. S. H. Hiding of heat radiation by means of nanoporous anodic alumina films / M. F. S. H. AL-Kamali, Y. T. A. AL-Ademi, V. Lobunov ; supervisor I. Vrublevsky // Актуальные вопросы физики и техники : материалы V Респ. науч. конф. студентов и аспирантов, Гомель, 21 апр. 2016 г. В 3 ч. Ч. 1 / Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. – С. 6–7.

2. AL-Aimiri, M. A. M. K. ERPNEXT: revolutionizing manufacturing management in factories / M. A. M. K. AL-Aimiri, M. F. S. H. AL-Kamali / Инновационное станкостроение, технологии и инструмент : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30 нояб. 2023 г. / М-во пром-сти Респ. Беларусь [и др.] ; под общ. ред. М. И. Михайлова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 102–104.
3. AL-Aimiri, M. A. M. K. Streamlining factory operations: designing an effective manufacturing management program / M. A. M. K. AL-Aimiri, M. F. S. H. AL-Kamali // Инновационное станкостроение, технологии и инструмент : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30 нояб. 2023 г. / М-во пром-сти Респ. Беларусь [и др.] ; под общ. ред. М. И. Михайлова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 105–106.

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОТ КИБЕРАТАК

П. С. Мырадов

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Проведен анализ особенностей уязвимости АСУ, обусловленных их архитектурой и спецификой взаимодействия человек–машина. Рассмотрены современные методы защиты, основанные на комплексном подходе: технические, криптографические, организационные и нормативные меры. Особое внимание уделено роли стандартов ISO/IEC 27001 и ГОСТ Р 56939-2016, а также влиянию человеческого фактора и системного мониторинга на обеспечение киберустойчивости.

Ключевые слова: кибербезопасность, кибератаки, защита информации, криптография, мониторинг.

METHODS FOR PROTECTING AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FROM CYBERATTACKS

P. S. Myradov

The State Energy Institute of Turkmenistan, Mary

This paper analyzes the vulnerabilities of ACS resulting from the convergence of information and operational technologies and examines modern protection methods such as network segmentation, cryptographic tools, intrusion detection systems, and organizational measures. It is demonstrated that effective defense against cyber threats requires a comprehensive approach that combines technical, software, and managerial solutions. Special attention is given to the human factor, the role of international standards, and the need for continuous security monitoring.

Keywords: cybersecurity, cyberattacks, information protection, cryptography, monitoring.

Автоматизированные системы управления (АСУ) являются фундаментом современной технологической инфраструктуры. Они интегрируют в себе программное обеспечение, датчики, контроллеры и коммуникационные протоколы, обеспечивая бесперебойное выполнение производственных процессов. Однако переход таких систем на цифровые и сетевые платформы существенно повысил их уязвимость. Если раньше АСУ функционировали в изолированных сетях, то сегодня они подключены к внешним системам для удаленного управления и анализа данных. Это сделало их объектом интереса злоумышленников, использующих методы кибератак для воздействия не только на информационные, но и на физические процессы. Серьезность угроз подтверждается инцидентом с вирусом Stuxnet, который впервые продемонстрировал, как цифровой код способен разрушить промышленное оборудование [3].

Особенности АСУ определяют специфическую структуру рисков. Их архитек-

тура основана на устаревших промышленных протоколах (Modbus, DNP3, Profibus), изначально не рассчитанных на аутентификацию и шифрование. Это означает, что перехват или подмена команд управления может произойти без значительных технических усилий. Более того, многие промышленные контроллеры (PLC, RTU, SCADA) не обновляются из-за опасений вызвать сбой технологического процесса.

Современные кибератаки на АСУ отличаются целенаправленным характером: злоумышленники стремятся не просто нарушить работу системы, а получить контроль над технологическим процессом или вывести оборудование из строя. В результате последствия таких атак выходят за рамки информационной безопасности – они затрагивают безопасность людей, окружающую среду и экономическую стабильность государства.

Защита АСУ не может быть ограничена установкой антивирусов или файрволов. Речь идет о многоуровневой стратегии, объединяющей технические, криптографические и организационные методы.

Основой эффективной защиты является сетевое разделение. Производственная сеть должна быть физически или логически изолирована от корпоративной и от Интернета. Такое разделение минимизирует риск распространения вредоносного кода между сегментами. Согласно ГОСТ Р 56939-2016 [1], обеспечение сегментации является обязательным требованием при проектировании защищенных промышленных систем.

Криптографическая защита данных становится ключевым элементом при передаче управляющих сигналов между контроллерами и серверами. Использование алгоритмов симметричного и асимметричного шифрования, а также электронных подписей, обеспечивает конфиденциальность и аутентичность команд.

Мониторинг и анализ поведения сети позволяют выявлять аномальные события и попытки вторжений на ранней стадии. Системы обнаружения и предотвращения атак (IDS/IPS) анализируют сетевые потоки и реагируют на подозрительные изменения параметров. Однако, как отмечают специалисты [2], эффективность таких систем во многом зависит от регулярного обновления сигнатур и корректной настройки политик безопасности.

Важную роль играет человеческий фактор. Большинство инцидентов в АСУ происходит из-за ошибок персонала: слабых паролей, невнимательности при настройке оборудования или отсутствия понимания угроз. Поэтому обучение операторов и внедрение корпоративной культуры безопасности являются обязательным элементом стратегии киберзащиты.

Современные кибератаки на автоматизированные системы управления демонстрируют возрастающую сложность и разрушительную силу. Защита таких систем требует постоянного совершенствования технологий, нормативных подходов и профессиональных компетенций специалистов.

Ключевым направлением развития является интеграция технологий искусственного интеллекта для анализа инцидентов, развитие концепции «киберустойчивого проектирования» и повышение уровня автоматизации мониторинга. Только сочетание технических, организационных и человеческих факторов способно обеспечить реальную устойчивость промышленных систем к киберугрозам.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ Р 56939-2016. Защита информации. Обеспечение безопасности промышленных систем управления.
2. ISO/IEC 27001:2022. Information Security Management Systems – Requirements.
3. Грачев, П. А. Кибербезопасность промышленных систем. – СПб. : Питер, 2020.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРИКЛАДНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

П. С. Мырадов

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Современные технологии искусственного интеллекта (ИИ) активно интегрируются в различные сферы человеческой деятельности, такие как медицина, финансы и образование. Машинное обучение и обработка естественного языка становятся основой прикладных решений, способных анализировать большие объемы данных, прогнозировать события и автоматизировать сложные процессы. В медицине ИИ помогает в диагностике заболеваний и персонализированном лечении, в финансовой сфере – в управлении рисками и выявлении мошенничества, а в образовании – в создании адаптивных систем обучения. Использование ИИ способствует повышению эффективности, точности и доступности услуг. Однако его внедрение требует соблюдения этических принципов и защиты персональных данных.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, обработка естественного языка, автоматизация.

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN APPLICATIONS

P. S. Myradov

The State Energy Institute of Turkmenistan, Mary, Turkmenistan

Modern artificial intelligence (AI) technologies are increasingly integrated into various areas of human activity such as medicine, finance, and education. Machine learning and natural language processing form the basis of applied solutions capable of analyzing large data sets, predicting outcomes, and automating complex processes. In medicine, AI aids in disease diagnosis and personalized treatment; in finance – in risk management and fraud detection; in education – in creating adaptive learning systems. The use of AI improves efficiency, accuracy, and accessibility of services. However, its implementation requires adherence to ethical principles and data protection.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, natural language processing, automation.

Развитие искусственного интеллекта (ИИ) стало одним из ключевых направлений цифровой трансформации общества. Сегодня ИИ перестал быть абстрактным понятием из научной фантастики и превратился в мощный инструмент, внедряемый в практические решения, направленные на повышение эффективности и точности в разных сферах деятельности человека. В основе большинства прикладных приложений лежат алгоритмы машинного обучения и методы обработки естественного языка, которые позволяют системам не просто выполнять запрограммированные действия, но и обучаться на данных, выявлять закономерности и принимать решения [1, с. 25].

В медицинской практике искусственный интеллект используется для анализа изображений, прогнозирования заболеваний и выбора оптимальных схем лечения. Например, системы компьютерного зрения, основанные на нейронных сетях, способны с высокой точностью распознавать опухоли на рентгеновских снимках и МРТ, превосходя по эффективности традиционные методы диагностики [1, с. 47]. Это не только ускоряет процесс постановки диагноза, но и снижает риск человеческих ошибок.

В финансовом секторе ИИ применяется для анализа поведения клиентов, выявления мошеннических операций и управления инвестиционными портфелями. Алгоритмы машинного обучения анализируют миллионы транзакций, определяя подозрительные паттерны и предотвращая финансовые преступления [2, с. 112]. Кроме того, технологии ИИ используются для прогнозирования рыночных тенденций, что помогает компаниям принимать стратегические решения на основе данных, а не интуиции.

В сфере образования ИИ способствует формированию персонализированных образовательных траекторий. Интеллектуальные обучающие системы анализируют успеваемость студентов и подбирают учебные материалы в зависимости от их уровня подготовки и стиля обучения [3, с. 64]. Такие подходы позволяют повысить мотивацию учащихся и эффективность образовательного процесса. Более того, чат-боты на основе обработки естественного языка предоставляют студентам круглосуточную поддержку и помогают решать учебные вопросы в интерактивной форме.

Интеграция искусственного интеллекта в прикладные приложения открывает новые горизонты для развития человеческого общества. В медицине ИИ спасает жизни, в финансах – обеспечивает безопасность и устойчивость, а в образовании – делает процесс обучения более гибким и доступным. Однако для успешного внедрения необходимо уделять внимание этическим вопросам, конфиденциальности данных и прозрачности алгоритмов. В будущем роль ИИ будет только возрастать, и от того, насколько ответственно человечество подойдет к его использованию, зависит эффективность и безопасность цифрового прогресса [2, с. 118].

Литература

1. Кудрявцев, А. И. Искусственный интеллект и машинное обучение: современные тенденции и приложения / А. И. Кудрявцев. – М. : Наука, 2021. – 256 с.
2. Новиков, Д. А. Технологии искусственного интеллекта в экономике и управлении / Д. А. Новиков. – СПб. : Питер, 2022. – 304 с.
3. Смирнова, Е. В. Цифровизация образования: роль искусственного интеллекта / Е. В. Смирнова // Образовательные технологии и общество. – 2023. – № 2. – С. 60–70.

РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБНАРУЖЕНИИ И ПРЕДОТВРАЩЕНИИ УГРОЗ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

А. М. Хамраев

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

В условиях роста киберугроз искусственный интеллект (ИИ) становится ключевым инструментом для обнаружения и предотвращения атак в реальном времени. Статья рассматривает роль ИИ в анализе больших объемов данных, выявлении аномалий и автоматизации реагирования на угрозы. Цель исследования – изучение методов применения ИИ, включая машинное обучение и глубокие нейронные сети, для повышения эффективности систем кибербезопасности. Методика основана на анализе научной литературы и практических кейсов, включая тестирование алгоритмов в симулированных средах. Результаты показывают, что ИИ способен сокращать время реакции на инциденты на 60–70 %, минимизируя ложные срабатывания. Подчеркивается важность интеграции ИИ с традиционными методами защиты для создания адаптивных систем безопасности.

Ключевые слова: искусственный интеллект, кибербезопасность, обнаружение угроз, предотвращение атак, машинное обучение.

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN REAL-TIME THREAT DETECTION AND PREVENTION

A. M. Hamrayev

The State Energy Institute of Turkmenistan, Mary

Amid the rise of cyber threats, artificial intelligence (AI) emerges as a key tool for real-time threat detection and prevention. The article explores AI's role in analyzing large data volumes, identifying anomalies, and automating threat response. The research aims to investigate AI

methods, including machine learning and deep neural networks, to enhance cybersecurity systems' effectiveness. The methodology relies on a review of scientific literature and practical case studies, including algorithm testing in simulated environments. Results demonstrate that AI can reduce incident response time by 60–70%, minimizing false positives. The importance of integrating AI with traditional security methods to create adaptive defense systems is emphasized.

Keywords: artificial intelligence, cybersecurity, threat detection, attack prevention, machine learning.

С развитием технологий киберугрозы становятся все более изощренными, требуя новых подходов к защите данных и систем. В 2024 г. число атак с использованием сложных методов, таких как фишинг и программы-вымогатели, выросло на 35 % [1, с. 2]. Искусственный интеллект (ИИ) предлагает решения для обнаружения и предотвращения угроз в реальном времени, минимизируя риски. Целью исследования является анализ роли ИИ в кибербезопасности, включая изучение алгоритмов машинного обучения, их интеграции в системы мониторинга и эффективности в условиях реальных атак. Мы рассмотрим, как ИИ может повысить устойчивость инфраструктуры к угрозам.

Методика исследования включает обзор специализированной литературы и анализ кейсов применения ИИ в кибербезопасности. Были изучены публикации по алгоритмам машинного обучения (ML) и глубоким нейронным сетям (DNN), а также рекомендации по их внедрению [2, с. 3–5]. Для оценки эффективности применялись симуляции атак в контролируемых средах, где тестировались модели ИИ на основе открытых датасетов, таких как KDD Cup. Сравнивались показатели точности, скорости реакции и уровня ложных срабатываний.

Результаты показывают, что ИИ значительно улучшает обнаружение угроз. Например, алгоритмы машинного обучения, такие как Random Forest, эффективно выявляют аномалии в сетевом трафике, сокращая время обнаружения с нескольких минут до секунд [1, с. 4]. Глубокие нейронные сети демонстрируют высокую точность в анализе поведенческих паттернов, позволяя выявлять фишинговые атаки с точностью до 95 % [3, с. 6]. Автоматизация реагирования, основанная на ИИ, позволяет блокировать угрозы в реальном времени, например, через динамическое обновление правил файрвола [2, с. 7]. Однако ложные срабатывания остаются проблемой, и для их минимизации требуется обучение моделей на больших и разнообразных датасетах [3, с. 8]. Интеграция ИИ с традиционными методами, такими как сигнатурный анализ, повышает общую эффективность систем, особенно в гибридных средах. Кейсы из финансового сектора показывают, что внедрение ИИ сокращает финансовые потери от атак на 40 % [1, с. 9].

Искусственный интеллект играет ключевую роль в обнаружении и предотвращении киберугроз в реальном времени, обеспечивая быструю реакцию и высокую точность. Исследование подтверждает, что сочетание ИИ с традиционными методами защиты создает адаптивные и устойчивые системы. В будущем развитие ИИ, включая самообучающиеся алгоритмы и интеграцию с квантовыми вычислениями, может еще больше повысить эффективность кибербезопасности [2, с. 10]. Это стратегически важно для защиты критической инфраструктуры в условиях роста киберугроз.

Л и т е р а т у р а

1. Cybersecurity Ventures. Cybercrime Report 2024–2025 // [Cybersecurityventures.com](https://www.cybersecurityventures.com). – 2025. – P. 1–10.
2. Darktrace. AI-Powered Cybersecurity: Real-Time Threat Detection // [Darktrace.com](https://www.darktrace.com). – 2025. – P. 3–10.
3. Palo Alto Networks. Machine Learning in Cybersecurity // [Paloaltonetworks.com](https://www.paloaltonetworks.com). – 2025. – P. 6–9.

РОБОТОТЕХНИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА С МАНИПУЛЯТОРАМИ

А. Б. Чарыев, Б. Н. Байлиев

Институт телекоммуникаций и информатики Туркменистана, г. Ашхабад

Рассмотрены ключевые технические и программные средства автоматизации, связанные с применением манипуляторов в промышленных и сервисных задачах. Проанализированы аппаратные компоненты манипуляторов, программное обеспечение для управления движением, моделирования и контроля, а также средства симуляции.

Ключевые слова: манипулятор, привод, датчик, программное обеспечение, траекторное планирование.

ROBOTICS AND AUTOMATION: HARDWARE AND SOFTWARE WITH MANIPULATORS

A. B. Charyev, B. N. Bailiev

Institute of Telecommunications and Informatics of Turkmenistan, Ashgabat

This article examines key hardware and software automation tools related to the use of manipulators in industrial and service applications. It analyzes the manipulator hardware components, motion control software, modeling and monitoring, and simulation tools.

Keywords: manipulator, drive, sensor, software, trajectory planning.

Современные управление роботами-манипуляторами переживает бурное развитие, обусловленное стремительным прогрессом в области искусственного интеллекта, машинного обучения и сенсорных технологий [1].

Цель статьи – теоретически исследовать технические и программные средства, которые обеспечивают работу манипуляторов в автоматизированных системах, их сильные и слабые стороны, а также направления, в которых происходят или будут происходить улучшения.

Выбор подходящего типа манипулятора для конкретной производственной задачи зависит от множества факторов, таких как грузоподъемность, точность, скорость, рабочая зона, тип выполняемых операций [2].

Манипуляторы – роботизированные устройства, предназначенные для выполнения задач захвата, перемещения, сборки, сварки и других операций, где требуется точность, сила или повторяемость. Они являются важнейшим элементом автоматизированных систем и существенной частью многих производственных линий, лабораторий, фармацевтических предприятий и сервисных роботов.

Степени свободы (DOF): классические манипуляторы имеют 4–6 DOF, в зависимости от задачи (рабочий объем, гибкость, ориентация инструмента).

Типы суставов и соединений: вращательные, линейные, цилиндрические. Встречаются гибкие манипуляторы (flexible manipulators) с упругими элементами, что добавляет сложности в управлении и потребности в моделировании динамики.

Приводы (actuators): электрические (серводвигатели, шаговые двигатели), гидравлические, пневматические. Выбор зависит от необходимой силы, точности и скорости.

Симуляторы: например, Webots – позволяет моделировать роботов, манипуляторы, сенсоры и актуаторы, задавать физику, строить виртуальные окружения.

Симуляции динамики манипулятора: модели с учетом масс, инерции, жестко-

сти, упругих элементов. Проекты, например, *Aaria* – симуляция серийных манипуляторов с различными степенями свободы, выходными параметрами, IMU-сигналами.

Offline-программирование и офлайн-симуляция: RoboDK – программирование манипуляторов, симуляция траекторий, проверка движений без выведения в физический мир.

Прямая и обратная кинематика: вычисление положения инструмента по углам суставов и наоборот.

Планирование пути: алгоритмы поиска траекторий, избегание препятствий, оптимизация по времени, энергии.

Контроль движения: ПИД-регуляторы, адаптивные контроллеры, модельно-предсказательное управление (MPC), контроль на основе обучения с подкреплением.

Middleware, архитектуры и связующие программные компоненты.

ROS / ROS2 – широко используемая среда-фреймворк для робототехники, обеспечивает компоненты: публикователи/подписчики, сервисы, действия; удобно для интеграции датчиков и манипуляторов.

OpenRTM-aist-middleware, ориентированная на компоненты (RTC), позволяет соединять датчики, приводные модули, контроллеры и т. п.

Платформы автоматизации: KeMotion от KEB – как программное ядро для решения задач робототехники, включая предусловия движения, синхронизацию, визуализацию, симуляцию.

Манипуляторы, смонтированные на мобильной базе, дают гибкость: могут перемещаться к месту задачи, выполнять захват, перемещение, монтаж. Пример: Robotnik – мобильные манипуляторы для внутренних помещений и логистики.

Коллаборативные манипуляторы (cobots): работа рядом с людьми; важны безопасность, мягкая обработка, адаптация силы захвата.

ABB RobotStudio Machine Tending Software – решение для автоматизации операций обслуживания машин: загрузка-выгрузка, манипуляции, управление манипуляторами, симуляция.

Timor Python Toolbox – для модульной робототехники: моделирование, оптимизация конструкции модульных манипуляторов, экспорт URDF, интеграция в симуляции. Повышение безопасности и этическая ответственность, особенно в коллаборативных средах.

Манипуляторы являются центральным компонентом многих автоматизированных систем. Их технические средства – конструкции, приводы, сенсоры – и программные – симуляция, планирование, контроль – сегодня достаточно развиты, но есть пространство для улучшения. Особенно важны решения, повышающие адаптивность, надежность, стандартность и безопасность. Внедрение гибридных систем, искусственного интеллекта и унифицированного программного обеспечения обещает дальнейший прорыв в эффективности и возможностях манипуляторов.

Л и т е р а т у р а

1. Шайымов, С. С. Типы манипуляторов для различных производственных задач / С. С. Шайымов, А. Б. Чарыев. – БГТУ – 2025.
2. Байлиев, Б. Н. Современные тенденции управления роботами-манипуляторами / Б. Н. Байлиев, С. С. Шайымов, А. Б. Чарыев. – БГТУ, 2025.

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РОБОТОТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

С. С. Шайымов, С. Т. Веллиева

Институт телекоммуникаций и информатики Туркменистана, г. Ашхабад

Туркменский государственный институт физкультуры и спорта, г. Ашхабад

Статья посвящена теоретическому анализу ключевых тенденций и проблем в области робототехники и автоматизации. Рассмотрены такие аспекты, как интеграция искусственного интеллекта в робототехнические системы, взаимодействие человека и робота, гибкость и адаптация, а также технические, этические и организационные барьеры.

Ключевые слова: робототехника, автоматизация, искусственный интеллект, человеко-машинное взаимодействие.

CONTEMPORARY TRENDS IN ROBOTICS AND AUTOMATION

S. S. Shayymov, S. T. Velieva

Institute of Telecommunications and Informatics of Turkmenistan, Ashgabat

Turkmen State Institute of Physical Education and Sports, Ashgabat

This article provides a theoretical analysis of key trends and challenges in robotics and automation. It examines aspects such as the integration of artificial intelligence (AI) into robotic systems, human-robot interaction, flexibility and adaptation, as well as technical, ethical, and organizational barriers.

Keywords: robotics, automation, artificial intelligence, human-machine interaction.

Современные управление роботами-манипуляторами переживает бурное развитие, обусловленный стремительным прогрессом в области искусственного интеллекта, машинного обучения и сенсорных технологий [1]. Цель статьи – обзор теоретических основ и современных направлений развития, а также анализ барьеров и проблем, которые необходимо преодолевать для дальнейшего прогресса.

Выбор подходящего типа манипулятора для конкретной производственной задачи зависит от множества факторов, таких как грузоподъемность, точность, скорость, рабочая зона, тип выполняемых операций [2].

Робототехника и автоматизация – одни из наиболее динамично развивающихся областей науки и техники, получение все более широкого распространения в промышленности, медицине, логистике и сервисной сфере. Современные технологии стремятся превратить роботов из специализированных устройств в универсальные и адаптивные системы, способные гибко реагировать на изменения среды и условий задач.

Системы машинного обучения, особенно глубокие нейронные сети и методы обучения с подкреплением, все больше используются при управлении роботами для решения сложных задач: планирования траекторий, адаптации к изменяющимся условиям окружения, распознавания образов, восприятия. Обзор ИИ позволяет роботам стать более автономными и гибкими.

В эпоху Industry 4.0 сотрудничество человека и робота становится важнейшим направлением. Роботы влияют на организацию труда, безопасность, здоровье работников. Библиометрическое исследование взаимодействия человека и машины подчеркивает важность проектирования автономных систем, где соблюдаются принципы ориентированности на человека: контроль, безопасность, доверие.

Роботы, способные адаптироваться к изменяющимся задачам и средам, становятся все более актуальными. Модульные и самоперестраивающиеся роботы могут изменять свою морфологию, чтобы выполнять новые функции или справляться с препятствиями. Кроме того, гибкие архитектуры управления позволяют составлять сложные задачи из простых модулей, облегчая разработку, отладку и модификацию систем.

С расширением автоматизации растут требования к безопасности систем, как физической, так и в плане кибербезопасности, защиты данных. Этические и социальные аспекты: влияние на занятость, справедливость в алгоритмах, прозрачность решений, ответственность за действия автономных систем.

Улучшение sample efficiency в обучении с подкреплением и методов ИИ, чтобы снизить требования к большим наборам данных, особенно в реальных средах.

Объединение моделей симуляции и реальной среды (sim-to-real transfer), чтобы уменьшить расхождения между тренировкой в моделях и применением в физическом мире.

Разработка универсальных архитектур, поддерживающих модульность, расширяемость и возможность адаптации к новым задачам. Развитие безопасных автономных систем, где встроены механизмы контроля, объяснимости, отказоустойчивости. Этические стандарты и законодательства, регулирующие применение роботов, особенно автономных, в людных средах, в медицине и др.

Интердисциплинарность: сотрудничество ИТ-специалистов, инженеров-механиков, социологов, философов для комплексного подхода к вызовам.

Робототехника и автоматизация находятся на пороге нового витка развития, обусловленного внедрением ИИ, ростом требований к гибкости, безопасной коллаборации человека и машины. Теоретические основы, архитектуры и подходы, такие как обучение с подкреплением, человеко-центрированный дизайн, модульные системы, уже показали значительный прогресс. Однако для практического масштабирования этих систем необходимо преодолеть технические, этические и организационные барьеры. Успех в этой области будет зависеть не только от технологических инноваций, но и от нормативной базы, образовательных практик и ответственного подхода к внедрению.

Л и т е р а т у р а

1. Шайымов, С. С. Типы манипуляторов для различных производственных задач / С. С. Шайымов, А. Б. Чарыев. – БГТУ, 2025.
2. Байлиев, Б. Н. Современные тенденции управления роботами-манипуляторами / Б. Н. Байлиев, С. С. Шайымов, А. Б. Чарыев. – БГТУ, 2025.

РОБОТИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ТРАНСПОРТЕ: ДОСТИЖЕНИЯ, ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

С. С. Шайымов, С. Т. Веллиева

Институт телекоммуникаций и информатики Туркменистана, г. Ашхабад

Туркменский государственный институт физкультуры и спорта, г. Ашхабад

Настоящая статья посвящена исследованию процессов автоматизации и внедрения робототехнических решений в транспортной отрасли. Рассмотрены современные подходы к автоматическому управлению транспортом, роботизированные платформы в логистике и доставке, интеллектуальные транспортные системы, а также вопросы взаимодействия автономных систем с инфраструктурой.

Ключевые слова: автоматизация транспорта, робототехника, автономные транспортные средства, логистика.

ROBOTICS AND AUTOMATION IN TRANSPORT: ACHIEVEMENTS, CHALLENGES, AND PROSPECTS

S. S. Shayymov, S. T. Vellieva

Institute of Telecommunications and Informatics of Turkmenistan, Ashgabat

Turkmen State Institute of Physical Education and Sports, Ashgabat

This article examines automation processes and the implementation of robotic solutions in the transportation industry. It examines modern approaches to automated transport control, robotic platforms in logistics and delivery, intelligent transport systems, and the interaction of autonomous systems with infrastructure.

Keywords: transport automation, robotics, autonomous vehicles, logistics.

Современное управление роботами-манипуляторами переживает бурное развитие, обусловленный стремительным прогрессом в области искусственного интеллекта, машинного обучения и сенсорных технологий [1]. Цель данной статьи – дать теоретический обзор ключевых направлений роботизации в транспортной отрасли, проанализировать достижения, вызовы и определить перспективы развития.

Выбор подходящего типа манипулятора для конкретной производственной задачи зависит от множества факторов, таких как грузоподъемность, точность, скорость, рабочая зона, тип выполняемых операций [2].

С развитием технологий искусственного интеллекта, сенсорики и автономных систем транспортный сектор стремительно трансформируется. Наряду с автоматизацией управления транспортом, все большее распространение получают робототехнические решения, используемые как в наземном, так и в воздушном и водном транспорте. Современные транспортные системы становятся не только автоматизированными, но и по сути роботизированными, особенно в логистике, складской обработке, городских доставках и инспекции инфраструктуры.

Современные автономные транспортные средства представляют собой киберфизические системы, объединяющие сенсорные устройства, вычислительные модули и исполнительные механизмы. В городском и междугородном сообщении они способны самостоятельно выполнять навигацию, избегать препятствия, взаимодействовать с другими участниками движения через протоколы V2X.

Исследования показывают, что частично автономные решения уже применяются в практике: от пилотных проектов беспилотных автобусов до коммерческих сервисов роботакси.

Автономные мобильные роботы находят широкое применение в транспортно-логистической сфере – на складах, терминалах, сортировочных станциях. Они обеспечивают перемещение грузов, автоматизацию погрузки и разгрузки, а также взаимодействие с другими логистическими элементами.

Сегмент «последней мили» доставки становится все более роботизированным. Применяются наземные delivery-боты и воздушные дроны для автоматической доставки в пределах кварталов.

Транспортная инфраструктура требует регулярного осмотра. Здесь используются специализированные инспекционные роботы:

- наземные – на колесной и гусеничной базе с камерами, лидаром, термосканерами;
- воздушные – дроны с ИИ для распознавания трещин, ржавчины, механических повреждений.

Применение роботизированных инспекционных систем позволяет повысить безопасность и сократить эксплуатационные расходы.

Интеллектуальные транспортные системы с элементами робототехники (ITS) сегодня включают в себя не только сенсоры и системы анализа трафика, но и активные робототехнические модули:

- интеллектуальные светофоры с адаптивной логикой;
- диспетчерские роботы, управляющие автономным транспортом;
- кооперацию между транспортными средствами и дронами.

Технологические ограничения:

- недостаточная устойчивость автономных систем к погодным условиям;
- ограниченная вычислительная мощность мобильных платформ;
- зависимость от стабильной связи;
- отсутствие единых протоколов взаимодействия между различными типами роботов и транспортных средств.

Нормативно-правовые барьеры:

- во многих странах отсутствует правовая база для эксплуатации полностью автономных роботов на дорогах;
- вопросы страхования, ответственности, приватности данных остаются нерешенными;
- стандарты сертификации роботизированных платформ еще не унифицированы.

Социально-экономические последствия:

- снижение потребности в человеческом труде в логистике и доставке;
- рост требований к цифровым и инженерным компетенциям работников;
- необходимость переобучения персонала.

Кооперативные роботизированные системы: развитие координированных взаимодействий между автономными транспортными средствами и роботами (например, роботы-инспекторы и дроны-помощники).

Унификация платформ: создание модульных роботов, совместимых с различной инфраструктурой (дорогой, железной дорогой, портами).

Энергетическая автономность: внедрение технологий беспроводной подзарядки, солнечных батарей, повышения энергоэффективности роботов.

Этические и правовые исследования: разработка принципов ответственного использования роботов в городской среде.

Гибридные ИИ-системы: совмещение классического алгоритмического управления и методов глубокого обучения для повышения адаптивности.

Робототехника стала неотъемлемой частью современного транспорта и логистики. От курьерских роботов и беспилотников до инспекционных платформ и автономных грузовиков – все эти системы открывают новые горизонты в повышении эффективности, устойчивости и безопасности перевозок. Однако их широкомасштабное внедрение требует решения технологических, правовых и этических задач. Перспективы роботизации транспорта напрямую зависят от уровня междисциплинарного сотрудничества, инвестиций в НИОКР и готовности общества к инновациям.

Л и т е р а т у р а

1. Шайымов, С. С. Типы манипуляторов для различных производственных задач / С. С. Шайымов, А. Б. Чарыев. – БГТУ, 2025.
2. Байлиев, Б. Н. Современные тенденции управления роботами-манипуляторами / Б. Н. Байлиев, С. С. Шайымов, А. Б. Чарыев. – БГТУ, 2025.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК С ГРАФИТОПОДОБНОЙ СТРУКТУРОЙ

Д. А. Коваленко, И. А. Врублевский

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Исследуются электрические свойства аморфных углеродных пленок графитоподобной структуры толщиной 50 нм, полученных методом электронно-лучевого испарения на стеклянных подложках с никелевым слоем. Исследования проводились с использованием методов измерения вольт-амперных характеристик и измерений емкости в диапазоне напряжений от $-3,5$ до $+3,5$ В. Полученные результаты могут быть использованы при разработке электронных устройств на основе аморфных углеродных пленок.

Ключевые слова: аморфный углерод, полупроводниковые свойства, вольт-амперная характеристика.

ELECTRICAL PROPERTIES OF AMORPHOUS CARBON FILMS WITH GRAPHITE-LIKE STRUCTURE

D. A. Kovalenko, I. A. Vrublevsky

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

This work investigates the electrical properties of amorphous carbon films with graphitelike structure having thickness of 50 nm, obtained by electron-beam evaporation onto glass substrates with nickel layers. The investigations were carried out using measurements of current-voltage characteristics and capacitance measurements in the voltage range from -3.5 to $+3.5$ V. The obtained results can be used in the development of electronic devices based on amorphous carbon films.

Keywords: amorphous carbon, semiconductor properties, current-voltage characteristic.

Аморфный углерод благодаря своей уникальной структуре является одним из перспективных материалов для современной электроники. Однако его электрические свойства, особенно тонких пленок, остаются недостаточно изученными из-за сложности формирования углеродных пленок с графитоподобной структурой. Особую роль в формировании электрических свойств играют границы раздела «металл-пленка», что делает необходимым проведение комплексного исследования ВАХ в широком диапазоне напряжений для разработки новых электронных устройств.

На стеклянные подложки с никелевым слоем (100 нм) методом электронно-лучевого испарения в вакууме осаждались тонкие аморфные углеродные пленки графитоподобной структуры толщиной ~ 50 нм. После осаждения пленки подвергались отжигу в вакууме при температуре 973 К в течение 9 минут (давление камеры $5 \cdot 10$ Па).

Для изучения ВАХ и измерений емкости методом электронно-лучевого испарения никеля через маску были сформированы верхние металлические контакты толщиной 100 нм с площадью 800×800 мкм. Измерения проводились на регистраторе Progress-3000 при напряжении от $-3,5$ до $+3,5$ В. Перед каждым измерением структуру выдерживали под напряжением в течение 1 минуты для устранения переходных процессов и получения точных показаний тока.

Результаты измерений показали симметричность прямых и обратных ветвей ВАХ аморфных углеродных пленок графитоподобной структуры, что обусловлено омическим контактом никеля с углеродной пленкой (рис. 1). Как известно, при из-

менении электрического поля происходит изменение положения уровня Ферми в зоне локализованных состояний, влияющее на электронный перенос носителей заряда, что наблюдается в наших исследованиях.

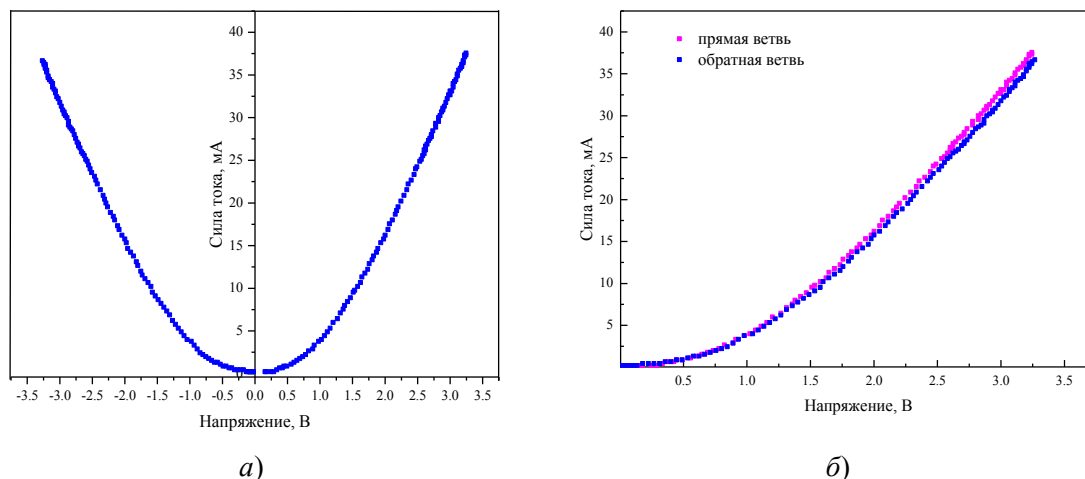


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика графитоподобной углеродистой пленки при положительном и отрицательном напряжении сдвига (а) и объединенные прямая и обратная ветви вольт-амперной характеристики (б)

Измерение вольт-амперных характеристик позволяет проанализировать удельное сопротивление ρ , изучить влияние локализованных состояний в запрещенной зоне E_g и определить тип зарядных центров (ловушки, доноры или акцепторы) [2]. Эти состояния связаны со структурой углеродной сети и дефектами в ней, включая вакансии, межузловые атомы и незавершенные связи. Анализ ВАХ позволил определить поведение локализованных состояний при захвате носителей заряда из электродов [3].

На рис. 2 представлены две кривые вольт-амперной характеристики: кривая 1 – при нарастании напряжения; кривая 2 – при падении напряжения.

Отсутствие гистерезиса между этими кривыми указывает на отсутствие электрической поляризации пленок углерода, что является важным условием для их применения в микро- и нанoeлектронных устройствах.

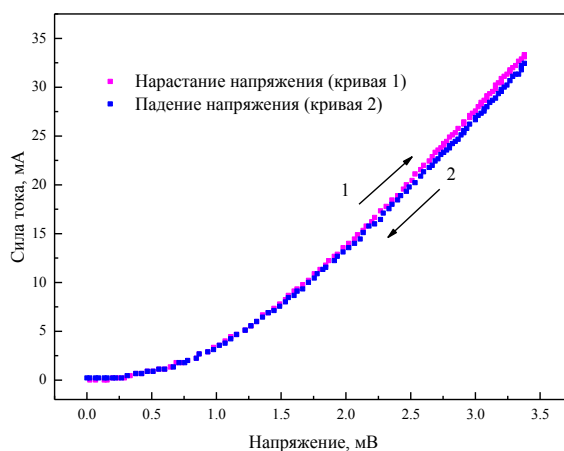


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика графитоподобной углеродной пленки при сканировании напряжения и падении напряжения в положительной области

В результате проведенных исследований установлены основные закономерности электронного переноса в аморфных углеродных пленках графитоподобной структуры. Анализ вольт-амперных характеристик показал, что перенос носителей заряда определяется локализованными состояниями в запрещенной зоне, которые тесно связаны со структурой углеродной сети и наличием дефектов в ней. Отсутствие гистерезиса на ВАХ указывает на стабильность электрических свойств исследуемых структур. Полученные результаты могут быть использованы при разработке электронных устройств на основе аморфных углеродных пленок, что подтверждает практическую значимость проведенных исследований.

Литература

1. Electrical transport and morphological study of PLD-grown nanostructured amorphous carbon thin films / K. M. Kant [et al.] // Nanotechnology. – 2006. – Vol. 17, N 20. – P. 5244.
2. Konofaos, N. Effect of the layered structure on the electronic properties of amorphous carbon films on n-Si / N. Konofaos, E. Evangelou, S. Logothetidis // Journal of Applied Physics. – 1999. – Vol. 86. – P. 4446–4451.
3. The effects of hydrogenation on the properties of ion beam sputter deposited amorphous carbon / F. Jansen [et al.] // J. Vac. Sci. Technol. A. – 1985. – Vol. 3. – P. 605–609.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПРОВОДИМОСТИ АНОДНЫХ ПЛЕНОК TiO_2 ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Д. А. Коваленко, М. А. Буневич, И. А. Врублевский

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Изучены электрические свойства тонких пленок TiO_2 , полученных методом электрохимического окисления. Проведено исследование вольт-амперных характеристик пленок в диапазоне температур 263–300 К. Выявлен механизм токов ограниченного пространственного заряда для проводимости тонких пленок. Определена асимметрия ВАХ при прямом и обратном включении.

Ключевые слова: диоксид титана, электрохимическое окисление, токи ограниченного пространственного заряда, вольт-амперные характеристики, полупроводниковые свойства.

INVESTIGATION OF CONDUCTIVITY MECHANISMS IN ANODIC TiO_2 FILMS AT LOW TEMPERATURES

D. A. Kovalenko, M. A. Bunevich, I. A. Vrublevsky

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The electrical properties of TiO_2 thin films obtained by electrochemical oxidation method have been studied. An investigation of current-voltage characteristics of the films was conducted in the temperature range of 263–300 K. A space charge limited current mechanism for the conductivity of thin films was identified. Asymmetry of I – V characteristics under forward and reverse bias conditions was determined.

Keywords: titanium dioxide, electrochemical oxidation, space charge limited currents, current-voltage characteristics, semiconductor properties.

Пленки TiO_2 в настоящее время находят применение в солнечных ячейках в качестве n -типа транспортного слоя, в детекторах УФ излучения, самоочищающих покрытиях и в фотокатализе. Во многих из применений используются электропрово-

дающие свойства TiO_2 , хотя проводимость в этих случаях и не определяется его собственными свойствами.

В работе пленки Al толщиной 100 нм и Ti толщиной 50 нм наносились на подложки из стекла методом магнетронного распыления в среде аргона. Перед процессом вакуумного нанесения подготовленные образцы подвергались химической обработке, а затем промывались дистиллированной водой и сушились в эксикаторе при 60 °С. Для формирования анодной пленки использовалось электрохимическое окисление Ti в электролите на основе смеси 2%-ного водного раствора щавелевой кислоты и 1%-ного водного раствора сульфаминовой кислоты.

Используя саморегулирующийся процесс анодного окисления Ti при потенциостатическом режиме, путем выбора напряжения анодирования задавали толщину образующейся анодной пленки TiO_2 . Электрохимическое окисление Ti проводилось в электролите при напряжении 10 В и последующей выдержкой до полного спада тока анодирования. По результатам измерений методом эллипсометрии установлено, что толщина анодного оксида TiO_2 составляла 14 нм. После электрохимического окисления пленок Ti проводился отжиг образцов с полученными пленками оксида титана при температуре 140 °С.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) образцов, помещенных на держатель оптического проточного азотного криостата со стабилизацией температуры, измерялись на постоянном токе в атмосфере азота в интервале температур $T = 263\text{--}300$ К с шагом 10 К с использованием автоматизированной измерительной установки на основе пикоамперметра. Напряжение варьировалось с переменным шагом в пределах от $-0,5$ до $+0,5$ В. Электрические контакты к образцам изготавливались с использованием серебряной проволоки, которая крепилась к металлическим электродам углеродной или серебряной пастой (SPI).

Определить основной механизм проводимости можно с помощью построения ВАХ в координатах, позволяющих выделить линейные участки, которые соответствуют определенному механизму проводимости. На рисунке показаны ВАХ образца в обычных и в двойных логарифмических координатах. Как видно из рис. 1, ВАХ сильно зависит от температуры, что характерно для токов ограниченного пространственного заряда (ТОПЗ), так как степень заполнения ловушек зависит от температуры.

Для пленок TiO_2 следует учитывать, что при малых напряжениях плотность инжектированных свободных зарядов меньше плотности свободных носителей заряда и поэтому преобладает закон Ома. Следовательно, вблизи точки с нулевым смещением имеет место омическая проводимость. Поэтому для проведения анализа использовалось напряжения со значением выше 0,06 В. Можно видеть, в логарифмическом масштабе экспериментальные точки хорошо аппроксимируются линейной функцией. Такое поведение зависимости тока от напряжения смещения характерно для токов ограниченного пространственного заряда (ТОПЗ). Следовательно, механизм проводимости на этом участке определяется ТОПЗ. ВАХ на этом участке описывается степенной зависимостью тока от напряжения $J \propto U^m$ со значениями m равными 1,24, 1,34 и 1,52 (положительная область) и 1,21, 1,33 и 1,47 (отрицательная область) для температуры образца 298, 283 и 263 К соответственно.

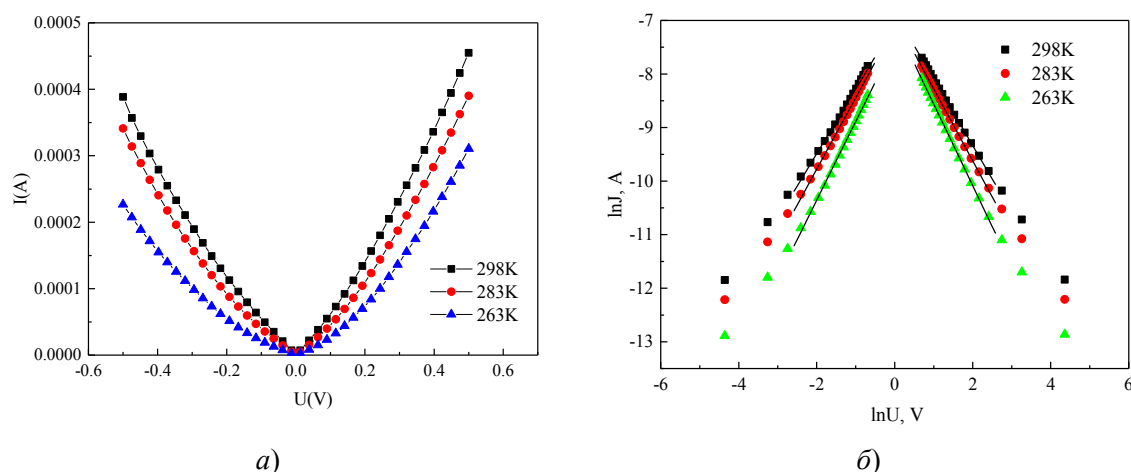


Рис. 1. ВАХ анодной пленки TiO_2 (14 нм) в прямом и обратном включении в обычных (а) и в двойных логарифмических координатах (б). Температура образца: 298, 283, и 263 К, максимальное напряжение 0,5 В

Полученные данные для различных температур показали, что ВАХ анодной пленки TiO_2 имеют сложное поведение. ВАХ в прямом (отрицательный потенциал на Ti электроде) и обратном (положительный потенциал на Ti электроде) включении пленочной структуры не являются симметричными, хотя наблюдаемая асимметрия проводимости является незначительной. Проведенный анализ механизмов проводимости показал, что анодный оксид TiO_2 является полупроводником n-типа, в запрещенной зоне которого имеются как электронные ловушки, так и донорные центры, образованные анионными (кислородными) вакансиями.

Литература

1. Electronic Properties at the Junction Interfaces between Anodic Titanium Oxide Films and Conducting Polymers / T. Ogawa [et al.] // Faculty of Engineering, Chiba University. – 2004. – P. 1–33.
2. Tunable rapid electron transport in titanium oxide thin films / R. Li. [et al.] // Applied Physics Letters. – 2023. – Vol. 122. – P. 011601.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА АВТОМОБИЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ESP32

Т. Н. Дворникова, В. А. Юревич

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск

Представлена система мониторинга автомобильной безопасности с цифровой обработкой сигналов на базе микроконтроллера ESP32-WROOM-32. Система обеспечивает детектирование дорожно-транспортных происшествий с высокой точностью и минимальной задержкой реакции, соответствующей требованиям международных стандартов. В ходе исследования были разработаны алгоритмы обработки данных с использованием адаптивного медианного фильтра и механизма перекрестной проверки сенсоров, что позволило достичь времени реакции не более 5 мс и снизить частоту ложных срабатываний до 0,8 раза в час. Полученные результаты подтверждают эффективность разработанного решения для повышения уровня безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: система мониторинга, автомобильная безопасность, цифровая обработка сигналов, ESP32, IMU, адаптивный фильтр, ложные срабатывания.

SYSTEM OF AUTOMOBILE SAFETY MONITORING WITH DIGITAL SIGNAL PROCESSING BASED ON ESP32

T. N. Dvornikova, V. A. Yurevich

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

This report presents a system for monitoring automotive safety with digital signal processing based on the ESP32-WROOM-32 microcontroller. The system provides detection of road traffic accidents with high accuracy and minimal response time, meeting international safety standards. During the research, data processing algorithms using an adaptive median filter and a sensor cross-checking mechanism were developed, which allowed achieving a response time of no more than 5 ms and reducing the frequency of false alarms to 0.8 per hour. The obtained results confirm the effectiveness of the developed solution for improving road traffic safety.

Keywords: monitoring system, automotive safety, digital signal processing, ESP32, IMU, adaptive filter, false alarms.

Современные системы мониторинга автомобильной безопасности сталкиваются с рядом проблем, среди которых выделяются высокое время реакции (от 100 до 500 мс), низкая точность распознавания ДТП, высокая частота ложных срабатываний (от 0,5 до 1,2 раза в час) и ограниченное время автономной работы (от 4 до 72 часов). Эти недостатки критически влияют на эффективность систем и снижают доверие пользователей к ним.

Целью работы является разработка системы мониторинга автомобильной безопасности с цифровой обработкой сигналов на базе ESP32, обеспечивающей детектирование дорожно-транспортных происшествий с высокой точностью и минимальной задержкой реакции, соответствующей требованиям международных стандартов.

Разработанная система мониторинга автомобильной безопасности построена на основе двухъядерного микроконтроллера ESP32-WROOM-32 (рис. 1), что позволяет распределить вычислительные задачи между ядрами: Core 0 отвечает за обработку данных сенсоров, а Core 1 управляет связью и энергоменеджментом. Сенсорная база включает 6-осевой IMU MPU-6050 (диапазон $\pm 16g$, разрешение 14 бит), цифровой микрофон INMP441 (диапазон 20Гц–20кГц) и GPS-модуль NEO-6M (точность 2,5 м).

Особенностью разработки является реализация адаптивного медианного фильтра и механизма перекрестной проверки сенсоров. Адаптивный медианный фильтр позволяет устранить шумы и аномалии в данных, полученных от IMU, при этом сохраняя высокую точность распознавания. Механизм перекрестной проверки сенсоров (ускорение + аудио + GPS) обеспечивает синхронизацию данных с точностью 1 мс, что критически важно для соответствия требованиям ISO 26262 ASIL-B.

Для оптимизации вычислений был использован подход с fixed-point арифметикой (Q15), что позволило снизить нагрузку на CPU на 40 % и ускорить обработку сигналов. Дополнительно разработана система коррекции температурного дрейфа ($\Delta offset = k(T - T_0)^3$, $k = 0,002 \text{ мг/}^\circ\text{C}^3$), которая снижает погрешность на 65 % в диапазоне температур от -40 до $+85$ $^\circ\text{C}$.

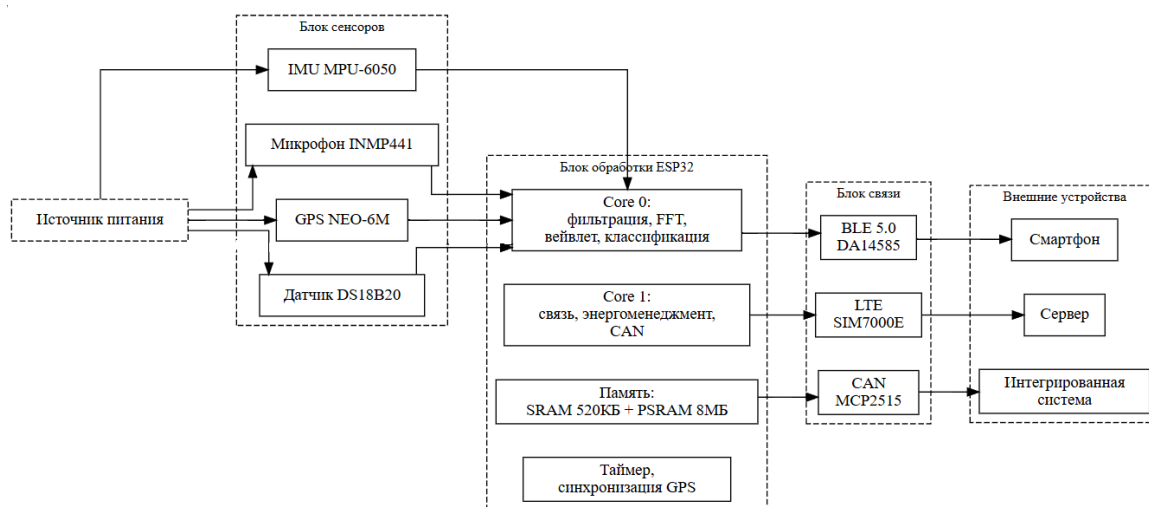


Рис. 1. Структурная схема системы мониторинга автомобильной безопасности

Результаты исследований, подтверждены через симуляционные испытания в среде Vector CANoe, показали, что разработанная система обеспечивает:

- время реакции не более 5 мс;
- точность распознавания ДТП 91,8 %;
- частоту ложных срабатываний 0,8 раза в час;
- время автономной работы до 72 часов;
- энергопотребление в режиме ожидания 5 мкА.

Симуляционные испытания в среде Vector CANoe подтвердили достижение точности синхронизации 0,5 мс при частоте сэмпирования 2 кГц. Это позволяет коррелировать данные об ударе с параметрами торможения и другими параметрами движения, что критически важно для точного определения типа ДТП и предотвращения ложных срабатываний. Например, при лобовом столкновении система фиксирует ускорение 10g в момент T , а соответствующее CAN-сообщение о скорости 0 км/ч приходит синхронно, что позволяет правильно классифицировать событие как ДТП, а не как шум от неровной дороги.

Разработанная система мониторинга автомобильной безопасности с цифровой обработкой сигналов на базе ESP32-WROOM-32 демонстрирует превосходные технические характеристики, соответствующие требованиям международных стандартов. Система обеспечивает время реакции не более 5 мс, точность распознавания ДТП 91,8 %, частоту ложных срабатываний 0,8 раза в час и время автономной работы до 72 часов. Полученные результаты подтверждают эффективность разработанного решения для повышения уровня безопасности дорожного движения и соответствия требованиям санкционных ограничений.

Литература

1. ETSI EN 303 347-3. Emergency communications; Advanced Driver Assistance Systems (ADAS); System requirements, testing and specifications ; Part 3: Safety-related messages. European Telecommunications Standards Institute, 2022. – 45 p.
2. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Efficient Sensor Data Processing for Automotive Safety Applications. Vol. 71, iss. 5, May 2022. – P. 4567–4579.
3. ISO 26262-6:2018. Road vehicles – Functional safety – Part 6: Product development at the software level. International Organization for Standardization, 2018. – 156 p.

**ПОВЕРХНОСТНАЯ СТРУКТУРА И СВЕТОПРОПУСКАНИЕ
ХЛОРЗАМЕЩЕННЫХ МЕТАЛЛОРГАНИЧЕСКИХ ПЕРОВСКИТОВ,
ЛЕГИРОВАННЫХ RNH_3^+ КАТИОНАМИ**

В. С. Будник, И. А. Врублевский

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Демонстрируются результаты исследований структуры и светопропускания хлор-замещенного металлоорганического перовскита состава $CH_3NH_3PbI_2Cl$ в ходе легирования аммониевыми катионами состава RNH_3^+ .

Ключевые слова: металлоорганические перовскиты, аммониевые катионы, светопропускание.

**SURFACE STRUCTURE AND LIGHT TRANSMISSION
OF CHLORINE-SUBSTITUTED ORGANOMETALLIC PEROVSKITES
DOPED WITH RNH_3^+ CATIONS**

V. S. Budnik, I. A. Vrublevsky

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

This paper presents the results of a study of the structure and light transmission of a chlorine-substituted organometallic perovskite of the composition $CH_3NH_3PbI_2Cl$ upon doping with ammonium cations of the composition RNH_3^+ .

Keywords: organometallic perovskites, ammonium cations, light transmittance.

Солнечные элементы на основе металлоорганических перовскитов широко исследуются благодаря их высокой эффективности и относительно недорогому процессу изготовления. Для получения высококачественных тонких пленок перовскита важным процессом является контролируемая кристаллизация, которая позволяет уменьшить количество структурных дефектов. Амины могут сильно координироваться с ионами свинца и поэтому имеют большие перспективы для управления ростом кристаллитов в пленке перовскита [1].

Цель работы – изучение влияния введения RNH_3^+ катионов на морфологию и светопропускание пленок хлорзамещенного металлоорганического перовскита состава $CH_3NH_3PbI_2Cl$.

Методика эксперимента. Пленки толщиной 0,8–1,0 мкм были получены центрифугированием (500 об/мин) с последующим отжигом при $T = 100$ °C в течение 5 минут. Раствор перовскита получали смешиванием CH_3NH_3Cl с PbI_2 (молярное соотношение 1:1) в диметилформамиде, катионы фениламмония (в соли анилина) и этилендиаммония (концентрации соответствующих иодидаммониевых солей 30 г/л) добавляли при перемешивании. Спектры светопропускания снимались на спектрофотометре МС-122 в области длин волн (λ) 380–1000 нм. Морфология поверхности модифицированных пленок перовскита была исследована с помощью оптического микроскопа МКИ-2М.

Пленки исходного перовскита (60 г/л) и с добавкой йодида аммония имели черный цвет. Образец без легирования состоял из мелких квадратных кристаллитов 3,40–6,30 мкм с редкими промежутками между ними. Отдельные микрокристаллы собирались в частицы округлой формы диаметром до 9,0 мкм (рис. 1, а). Темно-

серые пленки с катионом фениламмония имеют крупные кристаллиты листовидной формы размерами до 200 мкм (рис. 1, б). Катион этилендиаммония приводит к образованию красновато-черной зернистой практически сплошной (с мелкими единичными пустотами) пленки с размером частиц 0,92–1,37 мкм, объединенных в чешуевидные агломераты (рис. 1, в).

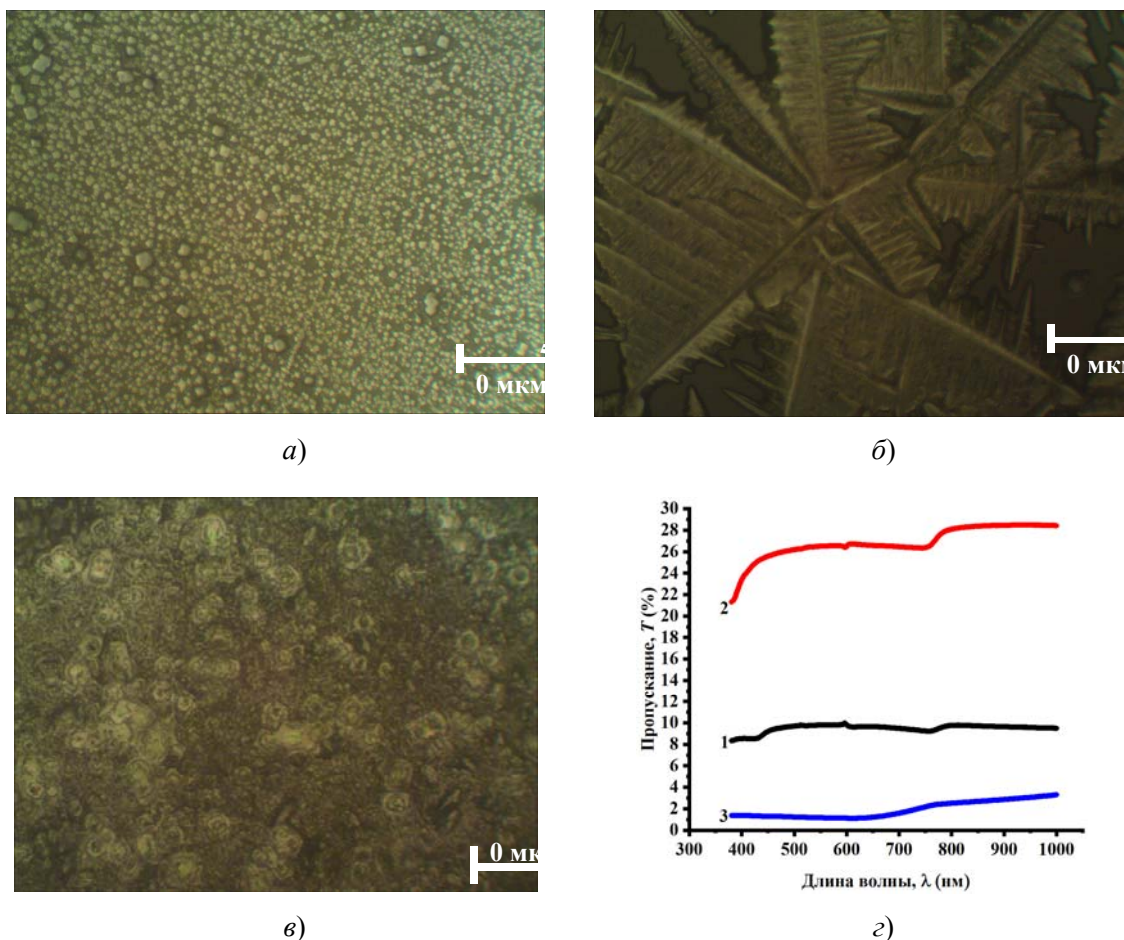


Рис. 1. Структура исходного перовскита (а), модифицированного катионами фениламмония (б) и этилендиаммония (в), спектры пропускания перовскитов (г)

Исследование оптических свойств исходного образца выявляет повышение значений светопропускания до $T = 10\%$ при длине волны $\lambda = 596$ нм, сменяющееся неравномерным изменением (рис. 1, г, кривая 1). Пленка перовскита с катионом фениламмония отличается крайне высоким значением светопропускания во всем исследуемом диапазоне длин волн, что связано с крупными размерами и количеством межкристаллитных промежутков, не задействованных в преобразовании света (рис. 1, г, кривая 2). До достижения желтой области при 608 нм происходит рост светопропускания, сопровождаемый двумя небольшими пиками с дальнейшими перегибами при 512 и 598 нм ($T = 26,24$ и $26,41\%$ соответственно), затем небольшое уменьшение до перегиба на длине волны 746 нм с дальнейшим ростом и достижением плато при 910 нм во всей инфракрасной области спектра со значением пропускания $28,48\%$. Введение в перовскит катиона этилендиаммония приводит к значительному снижению светопропускания, значения которого не превышают $3,30\%$, чему способствует практически полное отсутствие пустот в пленке (рис. 1 г, кривая 3).

Модификация металлоорганического хлорзамещенного перовскита при помощи катиона этилендиаммония приводит к повышению качества покрытий за счет создания практически сплошной зернистой структуры. Светопропускание модифицированных перовскитных пленок понижается во всей области видимого спектра. Такие изменения структуры и катионного состава перовскитов благоприятно воздействуют на оптические свойства и эффективность перовскитных солнечных элементов.

Л и т е р а т у р а

1. Xie, J. Modulating MAPbI₃ perovskite solar cells by amide molecules: Crystallographic regulation and surface passivation / J. Xie // Journal of Energy Chemistry. – 2020. – Vol. 56, № 7. – P. 20–26.

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ЗАТУХАНИЯ И РЕФРАКЦИИ РАДИОВОЛН В ТРОПОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ И ДАННЫХ РЕАЛЬНЫХ СИСТЕМ

И. А. Зелинский, В. А. Федоренко

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Представлен анализ ключевых физических механизмов – затухания и рефракции радиоволн в тропосфере – с использованием количественных моделей рекомендаций ITU-R и данных эксплуатации реальных тропосферных систем, включая отечественные станции «Гроза» и историческую ТРРЛ «Север». Показано, как атмосферное поглощение, влияние осадков и градиенты показателя преломления определяют надежность и дальность связи. Особое внимание уделено практическим аспектам прогнозирования условий распространения и адаптации параметров современных систем к изменяющейся тропосферной обстановке. Результаты подчеркивают важность интеграции радиометеорологических моделей в проектирование и эксплуатацию тропосферных линий связи для обеспечения их устойчивой работы в сложных климатических условиях.

Ключевые слова: тропосферная связь, затухание радиоволн, рефракция, тропосферные замирания, «Гроза», ITU-R.

ANALYSIS OF ATTENUATION AND REFRACTION MECHANISMS OF RADIO WAVES IN THE TROPOSPHERE BASED ON QUANTITATIVE MODELS AND DATA FROM REAL-WORLD SYSTEMS

I. A. Zelinskiy, V. A. Fedorenko

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The paper presents an analysis of key physical mechanisms – attenuation and refraction of radio waves in the troposphere – using quantitative models from ITU-R recommendations and operational data from real-world tropospheric communication systems, including the domestic “Groza” stations and the historical “Sever” tropospheric radio relay line (TRRL). It demonstrates how atmospheric absorption, precipitation effects, and refractivity gradients determine the reliability and range of communication links. Particular emphasis is placed on practical aspects of propagation condition forecasting and adaptive adjustment of modern system parameters to the dynamically changing tropospheric environment. The results highlight the critical importance of integrating radiometeorological models into the design and operation of tropospheric communication links to ensure their robust performance under challenging climatic conditions.

Keywords: tropospheric communication, radio wave attenuation, refraction, tropospheric fading, “Groza”, ITU-R.

Тропосферная связь, как технология загоризонтной передачи радиосигналов, в значительной степени определяется физическими процессами, происходящими в нижнем слое атмосферы – тропосфере. Два ключевых явления, оказывающих доминирующее влияние на качество и надежность связи – это затухание и рефракция радиоволн. Понимание и количественное описание этих механизмов являются основой для проектирования, оптимизации и прогнозирования работы тропосферных линий связи [1, 2].

Затухание радиоволн в тропосфере обусловлено поглощением энергии сигнала молекулами атмосферных газов и рассеянием на гидрометеорах (дождь, туман, снег). Основной вклад в поглощение вносят молекулы кислорода и водяного пара, которые имеют резонансные частоты поглощения. Согласно рекомендациям Международного союза электросвязи (ITU-R P.676-13), пиковые значения поглощения для кислорода наблюдаются на частотах около 60 и 118 ГГц, а для водяного пара – на 22,2 и 183,3 ГГц. Между этими пиками формируются так называемые «окна прозрачности», где ослабление минимально, и именно в этих диапазонах реализуются современные тропосферные системы. Количественно погонное ослабление рассчитывается по эмпирическим формулам, зависящим от частоты, температуры, давления и абсолютной влажности [1].

Данные реальных систем, таких как отечественная станция «Гроза», подтверждают, что при работе в диапазоне 4–6 ГГц влияние газового поглощения незначительно, однако на частотах выше 10 ГГц оно становится критическим и требует тщательного учета при расчете энергетического бюджета линии.

Дополнительный вклад в затухание вносят осадки. Коэффициент ослабления в дожде, согласно ITU-R P.838-3, резко возрастает с увеличением частоты и интенсивности дождя. На частотах свыше 15 ГГц дождевое затухание может превышать газовое и становится определяющим фактором при расчете надежности связи. Анализ данных эксплуатации тропосферных линий в регионах с высокой влажностью показывает, что именно дождевые замирания являются основной причиной временных сбоев в работе систем на частотах выше 8 ГГц [3].

Рефракция в тропосфере – это физическое явление, заключающееся в изменении направления распространения радиоволн при их прохождении через тропосферу вследствие непрерывного изменения показателя преломления воздуха с высотой. Показатель преломления N зависит от температуры, давления и влажности воздуха и в нормальных условиях уменьшается с высотой со средним градиентом (-40 N -единиц/км). Это приводит к стандартной рефракции, которая увеличивает радиогоризонт примерно на 15 % по сравнению с геометрическим. Однако в реальных условиях часто наблюдаются аномалии. При субрефракции радиогоризонт сокращается, что может привести к появлению «мертвых зон». Наиболее интересна для тропосферной связи сверхрефракция, возникающая при инверсии температуры и резком падении влажности с высотой. В таких условиях формируются тропосферные волноводы, способные переносить сигнал на тысячи километров, но с крайне непредсказуемой надежностью. Количественные модели, основанные на данных метеостанций и радиозондирования, позволяют прогнозировать вероятность возникновения сверхрефракции для конкретной трассы и времени года. Например, исследования в Республике Бурятия показали, что в летний период вероятность благоприятных для сверхрефракции условий может достигать 10–15 %, что объясняет наблюдаемые в практике резкие всплески уровня сигнала на тропосферных линиях [2, 3].

Сравнительный анализ данных реальных систем, таких как историческая ТРРЛ «Север» и современная «Гроза», демонстрирует эволюцию подходов к учету этих механизмов. Если в прошлом проектировщики закладывали огромные запасы по

мощности для компенсации непредсказуемых замираний, то современные системы используют адаптивные алгоритмы, основанные на постоянном мониторинге канала и количественных моделях ITU-R. Это позволяет динамически перестраивать частоту, скорость передачи и мощность, обеспечивая стабильную связь при минимальных энергозатратах. Таким образом, глубокий анализ механизмов затухания и рефракции с использованием современных количественных моделей и данных реальных систем является ключом к созданию надежных, эффективных и экономически целесообразных тропосферных линий связи, особенно в удаленных и труднодоступных регионах.

Литература

1. Тропосферная связь: современные технологии и перспективы развития. – URL: <https://roe.ru> (дата обращения: 25.09.2025).
2. Введение в теоретическую радиофизику и оптику : учеб. пособие / Ю. А. Кравцов [и др.] – М. : ФизМатЛит, 2004. – 520 с.
3. Новые разработки АО «МНИРТИ» в области тропосферной связи. – URL: <https://mnirti.ru> (дата обращения: 25.09.2025).

АНАЛИЗ ПОКУПАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРЕСА НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ВИДЕОПОТОКА

С. Э. Карпик, А. И. Парамонов

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Рассмотрена проблема анализа покупательского интереса. Предложено решение на основе интеллектуальной обработки видеопотока. Проведено описание проекта информационной системы, в основе которой реализация алгоритмов компьютерного зрения и работы с нейронными сетями для мониторинга посетителей в различных отделах магазина. Использование предложенного подхода позволит определить уровень посещаемости разных объектов (отделов магазина), выявить зоны интересов и на основе анализа потребительских корзин предложить рекомендации для увеличения продаж.

Ключевые слова: анализ видео, компьютерное зрение, OpenCV, Python, распознавание людей, статистика продаж.

CUSTOMER INTEREST ANALYSIS BASED ON VIDEO STREAM INTELLIGENT PROCESSING

S. E. Karpik, A. I. Paramonov

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The paper included the problem of customers interest analyzing. A solution based on video stream intelligent processing is proposed. A description for an information system project is provided, which based on the implementation of computer vision algorithms. It's proposed to use neural network models for monitoring visitors in various store departments. Using the proposed approach will allow us to determine the traffic level to different locations (store departments), identify customers interested areas, and offer recommendations for increasing sales based on the consumer baskets analysis.

Keywords: video analysis, computer vision, OpenCV, Python, people detection, sales analytics.

Целью работы является разработка системы интеллектуального мониторинга покупательской активности в магазинах. Актуальность обусловлена необходимостью

стью оптимизации расположения товаров и управления персоналом на основе объективных данных о посещаемости отделов. Основная задача определена как определение количества посетителей в различных отделах магазина и их активности.

Предложено решение, в основе которого применение стека технологий языка Python [1] и библиотеки OpenCV.

Архитектура информационной системы предполагает, что в каждом отделе магазина установлена камера, которая передает видеопоток для анализа на сервер, где программное средство анализирует его и определяет количество людей в кадре и их модель поведения.

Каждой камере соответствует определенный отдел магазина. Программа одновременно анализирует несколько видеопотоков, запуская для каждой камеры отдельный поток с функцией `detect_people()`. Эта функция выполняет детекцию объектов на кадрах видеопотока и подсчитывает количество людей на изображении.

Выделяется два источника информации на видео, которые могут быть использованы для обнаружения и отслеживания объектов: визуальные характеристики и информация о движении. Известны основные подходы для трекинга объектов: поиск по шаблону (*template matching*), определение движения (*motion detection*) и по детектированию характерных признаков (*feature detection*) [2].

Результаты подсчетов сохраняются в памяти программы, а функция `save_stats()` через равные интервалы времени (по умолчанию – один час) вычисляет среднее количество посетителей в каждом отделе и записывает данные в CSV-файл `people_stats.csv`. Статистика сохраняется в виде структуры: `timestamp`, `department`, `people_count`.

В реализации проекта предлагается использовать нейронную сеть, которая по детектированию характерных признаков будет определять, есть ли на изображении человек. На одном изображении может быть обнаружено более одного человека, что позволяет узнать количество человек, находящихся в определенных отделах магазина.

Для распознавания людей предлагается использовать предобученную сверточную нейронную сеть `MobileNetSSD` [3]. Для конфигурации сети используется два файла: описание архитектуры сети (`MobileNetSSD_deploy.prototxt.txt`) и весовые коэффициенты модели (`MobileNetSSD_deploy.caffemodel`).

В заданные отрезки времени система может формировать отчеты, которые отражают, какие отделы пользовались наибольшим интересом. На следующем этапе эти данные сопоставляются с количеством покупок, что позволяет выявить зависимости между посещаемостью, активностью и продажами. Для отделов с высоким потребительским спросом, но низкой покупательной статистикой можно пересмотреть цены или выставлять товары схожего назначения с более низкой ценой, что, в перспективе повысит рентабельность отдела. Также можно проанализировать, какие отделы пользуются наименьшим спросом, и исходя из данной информации можно будет их заменить на другие, пользующиеся большим спросом.

Использование многопоточности позволит системе в реальном времени обрабатывать несколько потоков и одновременно сохранять статистику без снижения производительности. Предлагается обслуживать каждый видеопоток в отдельном программном потоке, чтобы задержки или ошибки одной камеры не блокировали остальные. А также запускать отдельный поток сохранения статистики, чтобы операция записи на диск не замедляла мониторинг видео. Язык Python поддерживает работу с потоками и предлагает развитый инструментарий для работы с ними.

Таким образом, предложенная информационная система позволит проводить мониторинг и оценку активностей покупателей в разных отделах магазина, сопос-

тавлять полученные данные с покупательской активностью и предлагать рекомендации для поддержки в принятии маркетинговых решений. Это может быть использовано, например для повышения эффективности мерчандайзинга и планирования размещения товаров. Предложенный подход открывает новые возможности для внедрения интеллектуальной аналитики поведения покупателей с целью трансформации и оптимизации бизнес-процессов.

Л и т е р а т у р а

1. DataFlair. Python Project – Real-Time Human Detection and Counting. – URL: <https://dataflair.training/blogs/python-project-real-time-human-detection-counting/> (дата обращения: 05.10.2025).
2. Ковганов, Д. В. О проблеме обнаружения объектов на основе данных видеорегистрации / Д. В. Ковганов, А. И. Парамонов // Научное электронное издание «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях»: XX Респ. науч. конф. студентов и аспирантов (Гомель, 20–22 марта 2017 г.) – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. – С. 66.
3. Rosebrock A. Deep Learning for Computer Vision with Python. – PyImageSearch, 2017. – 640 p.

МОДИФИКАЦИЯ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Д. Ю. Ковалев, В. Л. Ланин, А. В. Слижева

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Предложена методика модификации паяльных паст углеродными наночастицами с применением ультразвуковых колебаний в режиме микро- и макропотоков в пограничном акустическом слое. Проведены исследования прочности паяных соединений в зависимости от содержания наночастиц в пасте и температуры нагрева.

Ключевые слова: паяные соединения, поверхностный монтаж, углеродные нанотрубки.

MODIFIED OF SURFACE MOUNT SOLDER JOINTS WITH CARBON NANOTUBES

D. Y. Kovaliouv, V. L. Lanin, A. V. Slizhova

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

A methodology for the modification of solder pastes with carbon nanoparticles using ultrasonic vibrations in the micro- and macro-flow regimes of the boundary acoustic layer has been pro-posed. Studies have been conducted on the strength of solder joints depending on the nanoparti-cle content in the paste and the heating temperature.

Keywords: solder joints, surface mount technology, carbon nanotubes.

Наноразмерные частицы находят широкое применение в процессах получения модифицированных композитов в различных областях науки и техники. Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают уникальным комплексом свойств, поскольку они в 50–100 прочнее стали и имеют в 6 раз меньшую плотность. Модуль Юнга у нанотрубок вдвое выше, чем у обычных углеродных волокон. Добавки УНТ в легкоплавкие бес-свинцовые припои на основе олова улучшают паяемость, измельчают структуру припоя и тормозят рост интерметаллидов, увеличивают механическую прочность паяных соединений.

Ультразвук является очень эффективной технологией для диспергирования нанотрубок в воде, масле или пасте при различных концентрациях. Потoki жидких струй в результате ультразвуковой (УЗ) кавитации преодолевают силы сцепления между нанотрубками и отделяют их от агломератов. В результате микротурбулентности микропотоков происходит равномерное распределение нанотрубок по объему жидкой среды.

Целью работы является модификация структуры паяльных паст на основе бессвинцовых припоев за счет использования УНТ, вводимых в исходный состав пасты с помощью ультразвуковых колебаний, подвергаемых диспергированию, исследование влияния УНТ, вводимых в паяльные пасты на основе бессвинцовых припоев, на механические свойства паяных соединений поверхностного монтажа.

Экспериментальные исследования. УНТ вводились в пасту с помощью диспергатора, который подключался к генератору УЗГ22-1.5. Для диспергирования наночастиц в пасте мощность генератора изменялась от 150 до 600 Вт, контролировалась величина кавитационного давления в ванночке с помощью кавитометра ЛК-7. В процессах УЗ диспергирования важно формировать микро- и макропотоки таким образом, чтобы они обеспечивали равномерное распределение наночастиц в жидкой среде. Условием возникновения стоячей волны в ванне является кратность высоты столба жидкости $\lambda/2$. Толщина акустического пограничного слоя для частот 21,0–22,0 кГц составляет 6–10 мм. Оптимальная величина кавитационного давления на уровне 2,5–3,0 кПа достигалась при мощности УЗ колебаний 300–400 Вт.

В качестве модифицирующей добавки в паяльную пасту Lead Free Solder Koki (217 °С) Korea CO., LTD вводился углеродный наноструктурированный материал «Арт-нано»), производимый на ООО «Передовые исследования и технологии» (г. Минск) по технологии пиролизного разложения сжиженного газа. Материал представляет собой смесь УНТ среднего диаметра 30–40 нм и длиной 0,5–1,5 мкм.

Для оценки прочности паяных соединений, выполненных с применением модифицированных составов паст, выбрана конструкция соединения внахлест типа IV в соответствии с ГОСТ 82280-90 при температуре пайки 240 ± 5 °С. На разрывной машине НТЦ 13.04.5 а получена зависимость прочности соединения на разрыв (рис. 1).

Удельное электрическое сопротивление УНТ очень разнообразно и варьируется в широких пределах, но оно, как правило, низкое, поскольку УНТ обладают высокой проводимостью. В некоторых случаях удельное сопротивление УНТ может достигать значений около 10^{-6} Ом · см, что делает их отличными проводниками. Величина удельного электрического сопротивления припоя составила 11,5 мкОм · см, что согласуется со справочными данными для припоя системы Sn-Ag-Cu.

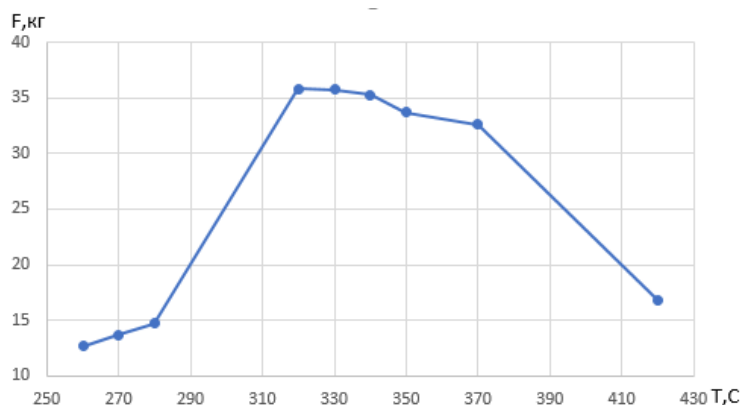


Рис. 1. Зависимость усилия на сдвиг паяных соединений от температуры

Величина удельного электрического сопротивления припоя слабо зависит от концентрации углеродных нанотрубок, но снижается с увеличением концентрации (рис. 2).

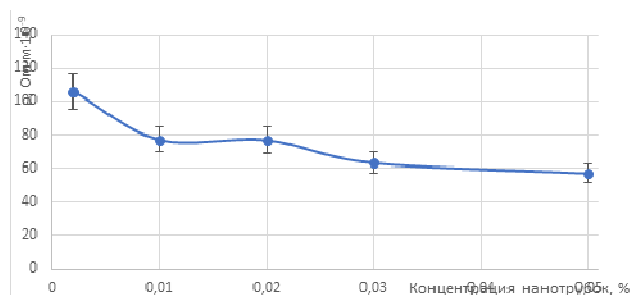


Рис. 2. Зависимость удельного сопротивления оплавленной пасты от концентрации углеродных нанотрубок

Оптимальные значения прочностей паяных соединений λ для модифицированных паяльных паст находятся в диапазоне 260–340 °С. С увеличением процентного соотношения УНТ растет прочность и стабильность паяных соединений. Наибольшие значения прочности до 42 МПа достигнуты при содержании УНТ 0,01 %.

Л и т е р а т у р а

1. The Influence of Carbon Nanotubes on the Properties of Sn Solder / Kai-kai Xu1 [et al.] // Materials Transactions, 2020, Vol. 61. – N 4. – P. 718–722.
2. Повышение прочности паяных соединений введением углеродных наночастиц в паяльные пасты / С. А. Жданок, В. А. Емельянов, В. Л. Ланин, А. В. Крауклис // Инженерно-физический журнал. – 2022. – Т. 95, № 6. – С. 1465–1470.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ РАБОЧЕГО ОБЪЕМА ПЛАЗМЕННОЙ КАМЕРЫ НА ПРОЦЕСС ТРАВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ

М. С. Лушакова, О. И. Тихон, С. И. Мадвейко

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Установлена зависимость изменения скорости травления кремниевой пластины от высоты разрядной камеры в плазме комбинированного разряда. Выбрана оптимальная высота камеры исходя из скорости травления и рельефа получаемой поверхности.

Ключевые слова: плазменная камера, комбинированный разряд, травление, кремний.

INFLUENCE OF THE PLASMA CHAMBER HEIGHT ON THE SILICON ETCHING PROCESS

M. S. Lushakova, O. I. Tsikhan, S. I. Madveika

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The dependence of the silicon wafer etching rate on the discharge chamber height in the combined discharge plasma has been established. The optimal height of the chamber was determined based on the etching rate and the relief of the resulting surface.

Keywords: plasma chamber, combined discharge, etching, silicon.

Процесс травления полупроводниковых материалов является одним из ключевых этапов технологии изготовления интегральных микросхем и микромеханических структур, основная цель которого состоит в селективном удалении слоев материала с поверхности подложки по заданному рисунку. Для достижения этой цели необходимо подробное исследование различных технологических параметров используемых разрядных систем для получения оптимальных результатов. Одним из важных технологических параметров является высота рабочего объема плазменной камеры, которая оказывает непосредственное влияние на объем формируемой плазмы. Данный параметр является одним из факторов, влияющих на скорость и качество получаемой поверхности после травления [1].

Исследование проводилось в плазме комбинированного разряда, который сформирован при одновременной работе СВЧ и НЧ генераторов. Подробно конструкция установки и оптимальные режимы формирования и поддержания плазмы комбинированного разряда описаны в [2]. В данном исследовании мощность источника питания СВЧ генератора составляла 500 Вт, мощность НЧ генератора – 160 Вт. Процесс травления проходил в среде газа CF_4 при давлении 50 Па, выбор оптимального диапазона давлений представлен в [3], время травления составляло 30 с, высота между электродами емкостной системы реакционно-разрядной камеры, которая определяла высоту рабочего объема плазменной камеры, варьировалась от 52 до 97 мм. Полученная зависимость, представлена на рис. 1.

Установлено, что при минимальном объеме разрядной камеры скорость травления достигает средних значений. Это может быть обусловлено конструкцией разрядной камеры и связано с поступлением СВЧ энергии в разрядный объем перпендикулярно НЧ емкостной системы. Процесс травления при таком размере камеры носит преимущественно изотропный характер, обрабатываемый материал подвержен нагреву. При высоте 70–80 мм скорость травления кремниевых пластин уменьшается. При высоте камеры 90–97 мм скорость травления является максимальной. Увеличение расстояния между электродами влечет за собой изменение резонансных свойств в камере и увеличение длины свободного пробега частиц. Это способствует интенсивному бомбардированию поверхности обрабатываемого материала и рост скорости процесса травления.

На рис. 2 представлены изображения рельефа поверхности кремния после травления для высоты камеры 97, 79, 52 мм, полученные с помощью атомно-силовой микроскопии. Статистически проанализированные результаты шероховатостей поверхностей для данных образцов сведены в таблицу.

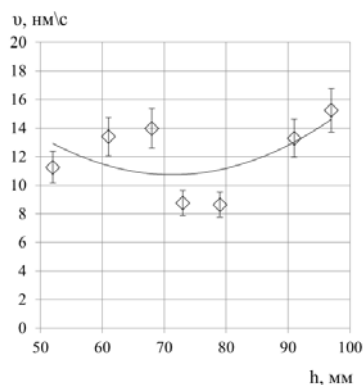


Рис. 1. Зависимость скорости травления кремния от высоты камеры в плазме комбинированного разряда

Изменение шероховатости поверхности кремния после травления для различной высоты камеры

Высота камеры	Среднеквадратичная шероховатость R_q	Средняя шероховатость R_a
97 мм	7,091 нм	5,739 нм
79 мм	7,859 нм	5,934 нм
52 мм	11,18 нм	8,62 нм

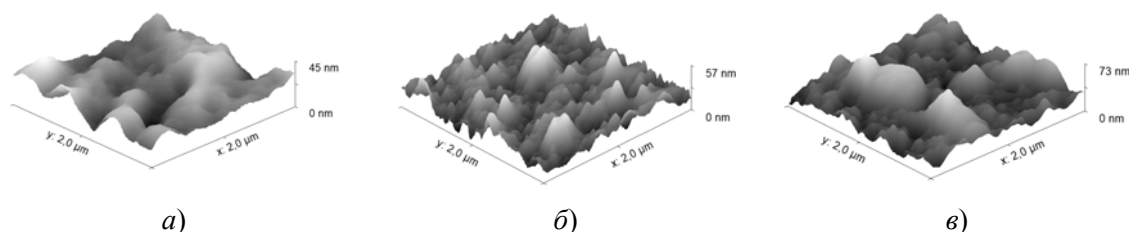


Рис. 2. Рельеф поверхности кремния после травления при высоте камеры:
а – 97 мм; б – 79 мм; в – 52 мм

Значения шероховатости поверхности кремния и рельеф образцов указывают на более гладкий профиль для высоты рабочего объема плазменной камеры в 97 мм. С уменьшением высоты камеры поверхность приобретает большую зернистость, что указывает на интенсивное изотропное травление.

При данном исполнении разрядной камеры оптимально использование для процесса травления высоты рабочего плазменного объема 90–97 мм. При этом достигается скорость травления кремния в среде CF_4 ~15 нм/с со среднеквадратичной шероховатостью поверхности R_q ~7 нм.

Литература

1. Role of chamber dimension in fluorocarbon based deposition and etching of SiO_2 and its effects on gas and surface-phase chemistry / E. A. Joseph [et al.] // J. Vac. Sci. Technol. A 1. – 2008. – Vol. 26. – N 3. P. 545–554. – DOI 10.1116/1.2909963 (дата обращения: 15.10.2025).
2. Лушакова, М. С. Исследование влияния режимов работы СВЧ и НЧ генераторов на возбуждение плазмы комбинированного разряда / М. С. Лушакова, О. И. Тихон, С. И. Мадвейко // Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Новополоцк, 14 нояб. 2024 г. – Новополоцк, 2024. – С. 142–146.
3. Лушакова, М. С. Исследование влияния давления в разрядной камере на формирование комбинированного разряда / М. С. Лушакова, О. И. Тихон, К. Н. Барковская // Физика конденсированного состояния : материалы XXXIII Междунар. науч.-практ. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 3–4 апр. 2025 г. / ГрГУ им. Я. Купалы ; ред.: Г. А. Гачко, О. А. Жарнова [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2025. – С. 215–216.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТА В ОБЪЕМЕ СВЧ РАЗРЯДА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ

О. И. Тихон, С. И. Мадвейко

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск

Изучено влияние параметров работы СВЧ генератора и условий формирования СВЧ разряда в непрерывном режиме генерации электромагнитной энергии на скорости удаления фоторезиста с поверхности Si пластин. Установлено закономерное сокращение времени

снятия материала с ростом подводимой к разряду мощности, характер зависимостей при одиночной и групповой обработке, наличие оптимального уровня рабочего давления.

Ключевые слова: удаление фоторезиста, непрерывный режим генерации, СВЧ разряд.

STUDY OF THE PROCESS OF PHOTORESIST STRIPPING IN THE MICROWAVE DISCHARGE VOLUME IN A CONTINUOUS MODE OF ELECTROMAGNETIC ENERGY GENERATION

O. I. Tsikhan, S. I. Madveika

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

This study examined the influence of microwave generator operating parameters and microwave discharge formation conditions in continuous electromagnetic energy generation mode on the rate of photoresist stripping from the surface of Si wafers. A consistent reduction in material removal time with an increase of discharge power, the nature of the stripping rates during single and group processing, and the presence of an optimal level of working pressure were established.

Keywords: photoresist stripping, continuous generation mode, microwave discharge.

Эффективность и качество плазмохимической обработки полупроводниковых материалов непосредственно в объеме плазмы СВЧ разряда в значительной степени определяется режимом генерации и поддержания разряда. Одним из ключевых параметров при этом является подводимая к СВЧ разряду мощность, задаваемая схемотехническим решением СВЧ генератора.

В качестве способа повышения энерговклада в СВЧ разряд рассматривается не только увеличение номинального уровня подводимой мощности, но и обеспечение непрерывного режима генерации. Отличием данного режима от стандартного способа формирования электромагнитного излучения СВЧ магнетроном, работающим по схеме однополупериодного выпрямления, является отсутствие интервала между плазменными импульсами [1].

Целью исследования являлось изучение влияния электрических режимов работы СВЧ генератора при непрерывном формировании разряда и условий обработки на скорости удаления фоторезистивного материала с поверхности Si подложек.

Удаление сформированного слоя позитивного фоторезиста DSAM-3020 выполнялось в реакционно-разрядном объеме СВЧ установки резонаторного типа [2]. Плазмообразующая среда – O₂, рабочие давления – 100 и 200 Па. Одиночная и группа из трех кремниевых пластин диаметром 100 мм, в обоих случаях, располагались в центре рабочего объема параллельно потоку газа. Оценка скорости удаления материала выполнялась по изменению уровня интенсивности спектральных линий атомарного кислорода.

По результатам экспериментов наблюдается закономерный рост скорости снятия пленки фоторезиста с поверхности одиночной кремниевой пластины, при увеличении потребляемой СВЧ генератором мощности (рис. 1). Изменение значения мощности от 1880 до 4020 Вт при рабочем давлении 100 Па показало сокращение времени, необходимого на обработку, на 20 %, при 200 Па для удаления фоторезиста понадобилось в 2,5 раза меньше времени.

Изменение давления с 100 до 200 Па при уровне мощности в 4020 Вт привело к увеличению скорости полного снятия фоторезиста с поверхности подложки в 2 раза. Скорость удаления фоторезиста составила более 80 нм/с. Влияние параметра давле-

ния на низких уровнях используемой мощности минимально, что вероятно связано с задержкой возбуждения разряда при давлении 100 Па, приводящей к прямому разогреву пластины СВЧ энергией. Это компенсирует низкую эффективность плазмохимического воздействия при неоптимальном уровне давления.

При групповой обработке кремниевых пластин повышение потребляемой СВЧ генератором мощности демонстрирует равномерный рост скорости удаления фоторезистивного материала с рабочей поверхности пластин (рис. 2). Двукратное увеличение подводимой к разряду мощности приводит к сокращению времени полного снятия материала с подложек в среднем на 50 %. При изменении показателя рабочего давления с 100 до 200 Па характер зависимости практически не изменяется. Значение давления в реакционно-разрядной камере в 200 Па демонстрирует большую эффективность взаимодействия плазменного разряда с поверхностью обрабатываемых образцов, что выражается в росте скорости удаления фоторезиста на 30–40 % во всем рассматриваемом диапазоне рабочих мощностей СВЧ генератора.

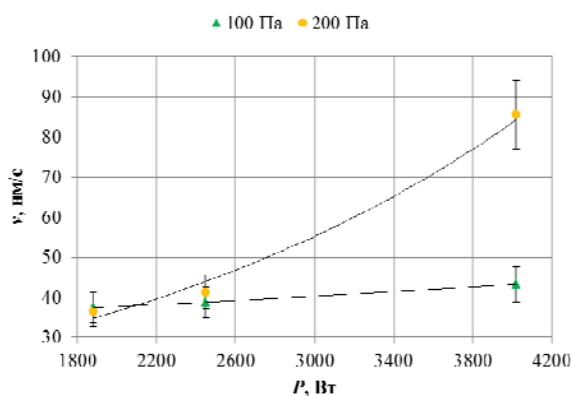


Рис. 1. Зависимость скорости удаления фоторезиста с поверхности одиночной Si пластины в O_2 плазме, от величины потребляемой СВЧ генератором мощности при различном рабочем давлении

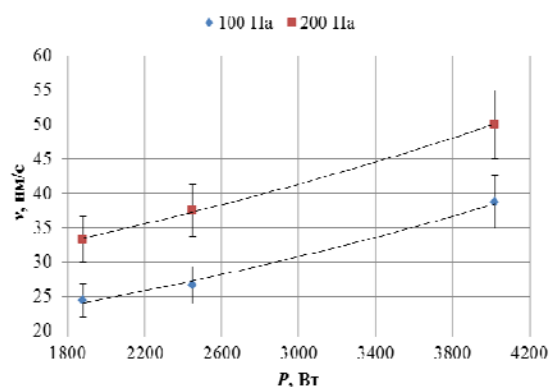


Рис. 2. Зависимость скорости удаления фоторезиста с поверхности группы Si пластин в O_2 плазме, от величины потребляемой СВЧ генератором мощности при различном рабочем давлении

Полученные результаты указывают на большую эффективность возбуждения разряда и взаимодействия активных плазменных частиц при высоком значении давления в рамках реализованной конструкции СВЧ плазменной установки. Уменьшение скорости обработки при групповой загрузке реакционно-разрядного объема вероятно связано с поглощением кремнием части подводимой энергии, как в начальный момент возбуждения плазменного разряда, так и в процессе обработки. Экспериментальная апробация способа формирования и поддержания СВЧ разряда в непрерывном режиме генерации продемонстрировала его высокую эффективность при различных условиях обработки полупроводниковых материалов, что может представлять интерес при реализации операций изготовления изделий электронной техники.

Литература

1. Барковская, К. Н. Исследование процесса плазмообразования при непрерывном режиме генерации энергии в СВЧ плазмохимической системе / К. Н. Барковская, О. И. Тихон // Физика конденсированного состояния : материалы XXXIII Междунар. науч.-практ. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 3–4 апр. 2025 г. / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: Г. А. Гачко [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2025. – С. 213–215.

2. Tsikhan, O. I. Study of Pulsed and Continuous Modes of Microwave Discharge Plasma Generation on a Resonator-Type Plasmatron / O. I. Tsikhan, S. I. Madveika, S. V. Bordusau // High Temperature Material Processes. – 2021. – Vol. 25, № 2. – P. 65–75.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ЗОНЫ ОТ УТЕЧКИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ВИБРОАКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ

М. И. Прокошин, И. А. Врублевский

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Рассмотрена методика и результаты экспериментальной оценки эффективности системы активной защиты речевой информации от утечки по виброакустическому каналу. Обоснована актуальность задачи, проанализированы существующие методы защиты информации. Описан порядок проведения измерений с использованием специализированного комплекса «Шум-ЗМА» в реальном помещении. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных.

Ключевые слова: защищаемое помещение, активная защита, экспериментальная оценка.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF AN ACTIVE PROTECTION SYSTEM FOR A CONTROLLED ZONE AGAINST SPEECH INFORMATION LEAKAGE THROUGH A VIBROACOUSTIC CHANNEL

M. I. Prokoshin, I. A. Vrubleuski

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

This paper discusses the methodology and results of an experimental evaluation of the effectiveness of an active protection system against speech information leakage via a vibroacoustic channel. The relevance of the task is substantiated, and existing methods of information protection are analyzed. The procedure for conducting measurements using the specialized “Shum-3MA” complex in a real room is described. A comparison of calculated and experimental data is provided.

Keywords: secure room, active protection, experimental evaluation.

Речевая информация остается одним из наиболее распространенных и значимых видов информации, несущей конфиденциальные данные. В то же время она имеет большие риски для несанкционированного перехвата через различные технические каналы. Поэтому актуальность защиты речевой информации в современном информационном пространстве постоянно возрастает. Среди различных технических каналов особое внимание уделяется виброакустическому каналу утечки информации, поскольку его реализация зачастую не требует сложного дорогостоящего оборудования и может быть осуществлена с использованием относительно простых средств, таких как стетоскопы, контактные микрофоны или лазерные сканеры, что заметно облегчает работу злоумышленнику. Следует отметить, что недостаточная осведомленность о возможных угрозах и отсутствие адекватных мер защиты способны привести к серьезным последствиям, включая компрометацию коммерческой тайны, персональных данных или иной чувствительной информации. Поэтому разработка и экспериментальная оценка систем активной защиты, способных эффективно противодействовать утечке речевой информации по виброакустическому ка-

налу, приобретают первостепенное значение для обеспечения информационной безопасности объектов информационной инфраструктуры.

Для обеспечения эффективной защиты речевой информации необходимо опираться на физическую природу технических каналов утечки. По физике процесса можно выделить следующие основные технические каналы утечки: воздушные, виброакустические, акустозлектрические, акустооптические, параметрические.

Для противодействия утечке информации по этим каналам применяют различные методы, которые можно условно разделить на пассивные и активные.

Эффективность этих методов защиты и их применимость в различных условиях может значительно различаться. Пассивные методы обеспечивают базовый уровень защиты, но их возможности часто ограничены конструктивными особенностями помещений и стоимостью модернизации. Активные методы позволяют динамически адаптироваться к изменяющимся условиям и обеспечивать более высокий уровень защиты, особенно против сложных каналов утечки. В то же время наилучший результат может быть получен при их сочетании.

Прежде чем приступить к обеспечению информационной безопасности выделенного помещения, необходимо определить базовый перечень достаточных мер защиты. Для этого могут применяться расчетный (аналитический) и экспериментальный методы оценки защищенности помещений.

Расчетные оценки строятся на математических моделях и оперируют идеализированными условиями [1]. Экспериментальные оценки выполняются в реальных условиях, что позволяет на ходу сглаживать влияние множества факторов, которые трудно или невозможно полностью смоделировать, таких как неоднородность материалов, скрытые дефекты и резонансные явления. В то время как моделирование может быть сложным, трудоемким и иметь результаты вероятностного характера, экспериментальные измерения обеспечивают более высокую точность и достоверность результатов.

Экспериментальная оценка выявляет неочевидные пути утечки, а также помогает оптимизировать параметры защиты объекта. В данной работе для измерений используется комплекс «Шум-ЗМА», включающий управляющую ПЭВМ, измеритель иммитанса, шумомер-вибромер, акустические системы для генерации тестового сигнала и другие устройства.

Для защиты применяется СЗРИ «Прибой», включающее акустические преобразователи для вентиляции (АПВ), коммуникаций (АПК), окон (АПО) и стен (АПС).

Важное значение для выявления потенциальных путей утечки и выбора адекватных мер защиты имеет детальный осмотр конструктивных особенностей выделенного помещения.

Опираясь на исходные данные, в соответствии со схемой защищаемого помещения, представленной на рис. 1, выбраны место установки акустических преобразователей и расположение контрольных точек измерений.

Экспериментальная оценка эффективности системы активной защиты речевой информации будет проводиться через определение разборчивости речи в потенциально незащищенных зонах с включенной и выключенной системой маскирования. Оценка базируется на методах определения разборчивости речи и показателях затухания речевых сигналов при прохождении их через ограждающие конструкции помещений.

Существующие инструментально-расчетные методы дают большую погрешность при оценке речевой разборчивости в условиях сильных шумов, создаваемых средствами активной защиты. В работе [2] предлагается алгоритм оценивания сло-

весной разборчивости речи на основе функции когерентности исходного и зашумленного сигнала, что позволяет повысить точность оценки. Также в качестве критерия защищенности может быть выбрана словесная разборчивость речи на основе структурно-пространственной модели канала утечки, как предложено в [3].

Порядок и методика проведения измерительных экспериментов состоят из нескольких этапов.

На подготовительном этапе в контролируемой зоне размещают источник тестового речевого сигнала (акустическая система) на типичном месте расположения источника конфиденциальной информации. Осуществляется калибровка источника тестового сигнала.

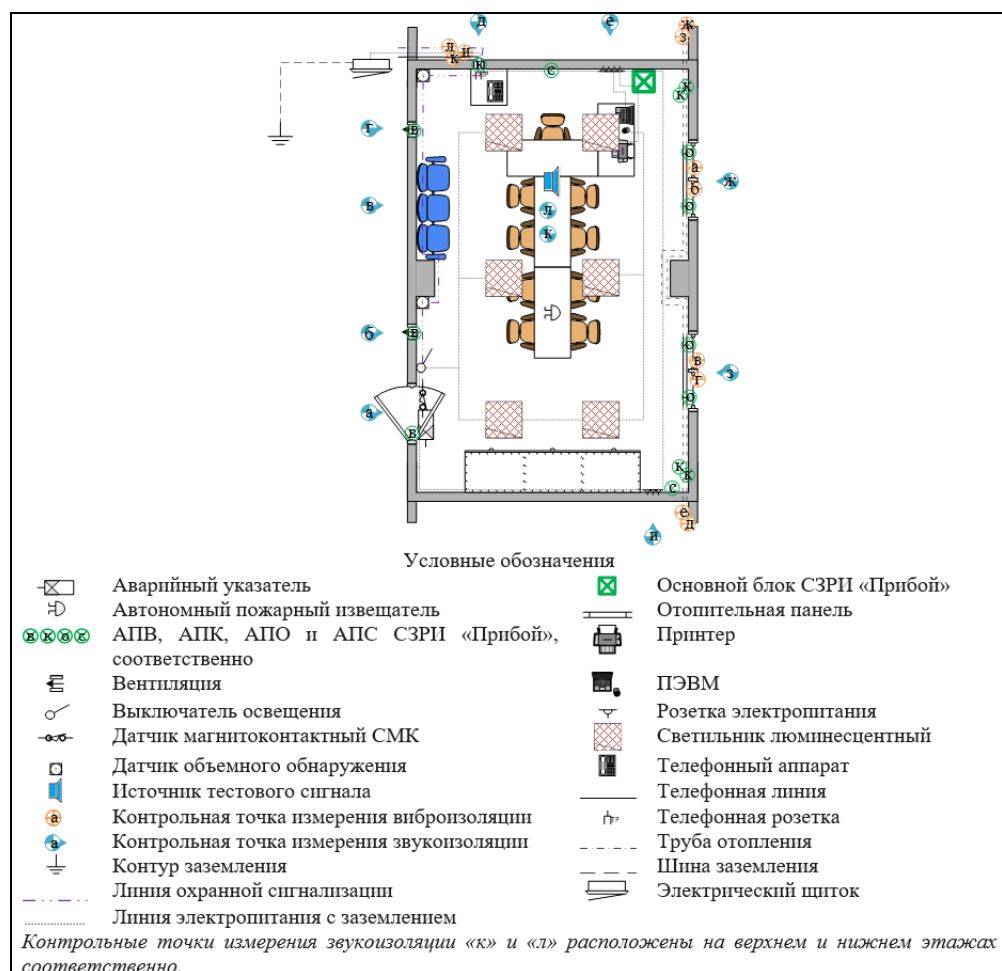


Рис. 1. Схема защищаемого помещения с контрольными точками измерений

На следующем этапе в каждой из определенных уязвимых точек проводится измерение уровня тестового сигнала и фонового шума без активной защиты (базовый уровень) и с включенным СЗРИ с использованием шумомера-вибромера. Определение разборчивости речи в каждой точке перехвата будет осуществляться объективными методами (можно использовать расчет индекса передачи речи или индекса артикуляции), так как субъективные (прослушивание и запись тестового сигнала с последующей расшифровкой) требуют привлечения экспертов и не исключают влияния на результат индивидуальных факторов. Индекс передачи речи является предпочтительным объективным методом, поскольку он учитывает влияние фоново-

го шума и реверберации на разборчивость речи. Он рассчитывается на основе отношения сигнал/шум в различных частотных полосах. По итогам анализа произведенных предварительных расчетов принимается решение о необходимости дополнительной настройки СЗРИ.

На заключительном этапе, после корректировки настроек параметров маскирующего шума СЗРИ «Прибой», производится повторное измерение уровня сигнала и расчет разборчивости речи. Снижение разборчивости до требуемого уровня подтвердит эффективность системы.

Результаты проведенной экспериментальной оценки системы активной защиты позволяют упростить решение ключевых задач информационной безопасности. Они включают:

- во-первых, получение достоверной количественной оценки эффективности системы в реальном помещении со сложной архитектурой и множеством потенциальных каналов утечки. Это дает возможность подтвердить или скорректировать теоретические расчеты и обосновать выбор и настройки средств защиты;

- во-вторых, выявление наиболее уязвимых участков конструкций, через которые возможна утечка речевой информации, что позволяет целенаправленно усилить их защиту;

- в-третьих, апробирование на практике методики измерений с использованием комплекса «Шум-ЗМА», что важно для специалистов в области технической защиты информации.

Проект отличается практической направленностью, применением современного измерительного оборудования и комплексным подходом, учитывающим специфику всех потенциальных каналов утечки. Полученные результаты вносят вклад в развитие методов обеспечения конфиденциальности речевой информации и повышение защищенности объектов информационной инфраструктуры.

Л и т е р а т у р а

1. Авсентьев, О. С. Математическая модель оптимизации выбора средств защиты речевой информации от утечки по акустооптическому каналу / О. С. Авсентьев, А. О. Авсентьев, Д. А. Гудков // Вестник Воронежского института МВД России. – 2019. – № 1. – С. 25–36.
2. Гаврилов, И. В. Алгоритм оценивания словесной разборчивости речи на основе функции когерентности / И. В. Гаврилов. – Тр. СПИИРАН. – 2016. – № 48. – С. 88–106.
3. Сагдеев, К. М. Методика оценки технической защищенности речевой информации в выделенных помещениях / К. М. Сагдеев, В. И. Петренко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 12 (137). – С. 121–129.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА В ВОЗДУШНОМ ЗАЗОРЕ МАГНИТОПРОВОДА

Д. Ю. Ковалев, В. Л. Ланин, М. Е. Рахлин, Д. Е. Юшко

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Рассмотрена задача повышения эффективности индукционного нагрева деталей в воздушном зазоре магнитопровода. В результате экспериментальных исследований определены закономерности краевого эффекта в нагреваемой детали. Для обеспечения равномерности индукционного нагрева деталей и сокращения времени пайки применен электрический замыкатель паяемых деталей, который с помощью прибора-регулятора образует вторичный контур с низким электрическим сопротивлением и высокой плотностью вихревых токов.

Ключевые слова: индукционный нагрев, магнитопровод, физические эффекты.

PHISICAL EFFECTS OF INDUCTION HEATING IN AIR GAP OF MAGNETIC CORE

D. Y. Kovaliou, V. L. Lanin, M. E. Rakhlin, D. E Yushko

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The problem of increasing the efficiency of induction heating of parts in the air gap of a magnetic circuit is considered. As a result of experimental studies, the patterns of the edge effect in the heated part have been determined. To ensure uniform induction heating of parts and reduce soldering time, an electric circuit breaker for soldered parts is used, which forms a secondary circuit with low electrical resistance and high eddy current density using a regulator device.

Keywords: induction heating, magnetic circuit, physical effects.

Индукционный нагрев деталей вихревыми токами широко применяется в серийном производстве благодаря высокой скорости, локальности зоны избирательного нагрева, использовании любой газовой среды (вакуума, защитного газа, воздуха), автоматизации процесса. Использование магнитопровода для концентрации электромагнитной энергии в области зазора позволяет повысить эффективность нагрева. Однако при индукционном нагреве в зазоре магнитопровода наблюдаются краевой и электродинамический эффект. При краевом эффекте происходит искажение электромагнитного поля и распределения источников теплоты в зоне концов нагреваемого тела. Электродинамический эффект проявляется в выталкивании детали из зоны нагрева. Эти эффекты во многом определяют качество нагрева и энергетические характеристики устройств индукционного нагрева. Целью работы являлась оптимизация параметров индукционного нагрева деталей в воздушном зазоре магнитопровода при пайке деталей в процессе сборки электронных модулей.

Индукционное устройство для формирования контактных соединений легкоплавкими припоями содержало П-образный магнитопровод из феррита марки 600 НН с незамкнутой магнитной цепью и две обмотки. Индуктирующая обмотка подключалась к ВЧ генератору 1 (рис. 1). Параметры ВЧ напряжения контролировали вольтметром В7-73/1 и частотомером ЧЗ-67. Температуру в рабочей зоне измеряли с помощью термопары ХК, прикрепленной к детали 4 и цифрового измерителя температуры ТРМ-205 5. Напряженность магнитного поля в зазоре магнитопровода 2 оценивали по величине ЭДС в измерительной рамке вольтметром типа В7-73/1. Для изменения магнитной проницаемости сердечника в дополнительную обмотку подавали постоянный ток подмагничивания величиной 1–5 А от источника 3 [2].

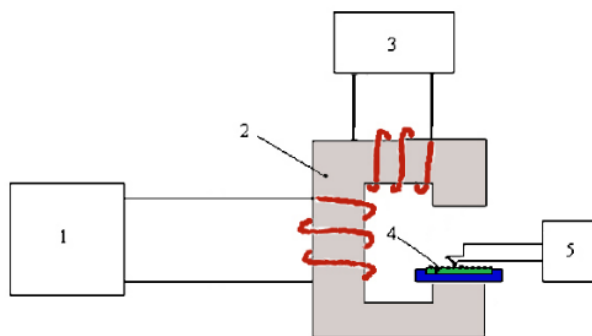


Рис. 1. Схема индукционного нагрева в зазоре магнитопровода:
1 – генератор; 2 – магнитопровод; 3 – источник тока; 4 – детали;
5 – измеритель температуры

Величина напряженности магнитного поля рассчитывалась как:

$$H = U_m / \mu_0 (4,44 \cdot Sfw),$$

где U_m – амплитуда напряжения на рамке; μ_0 – абсолютная магнитная проницаемость, S – площадь рамки; f – частота тока; w – число витков рамки.

При частоте нагрева 66 кГц напряженность магнитного поля составила $4,5 \cdot 10^5$ А/м², а неоднородность поля – 1,3–1,4 относительно центра детали (рис. 2).

В результате краевого эффекта на краях детали, подвергаемой индукционному нагреву в воздушном зазоре магнитопровода, возникает разность потенциалов, которая зависит от мощности нагрева и от удельного сопротивления материала детали. Для повышения эффективности индукционного нагрева деталей применен электрический замыкатель тока, в виде пластины из проводящего материала, которая с помощью прибора-регулятора, образует вторичный контур с низким электрическим сопротивлением и высокой плотностью вихревых токов. Это позволило устранить потери магнитного потока в окружающем пространстве и повысить эффективность индукционного нагрева.

Индукционный нагрев применен при пайке силовых контактов электронного модуля с помощью припойной пасты ПП-250. В образованном замкнутом вторичном контуре из паяемых контактов и электрического замыкателя величина вихревых токов находилась в пределах 6–10 А. Скорость индукционного нагрева возросла в 2 раза и составила 50 °С/с.

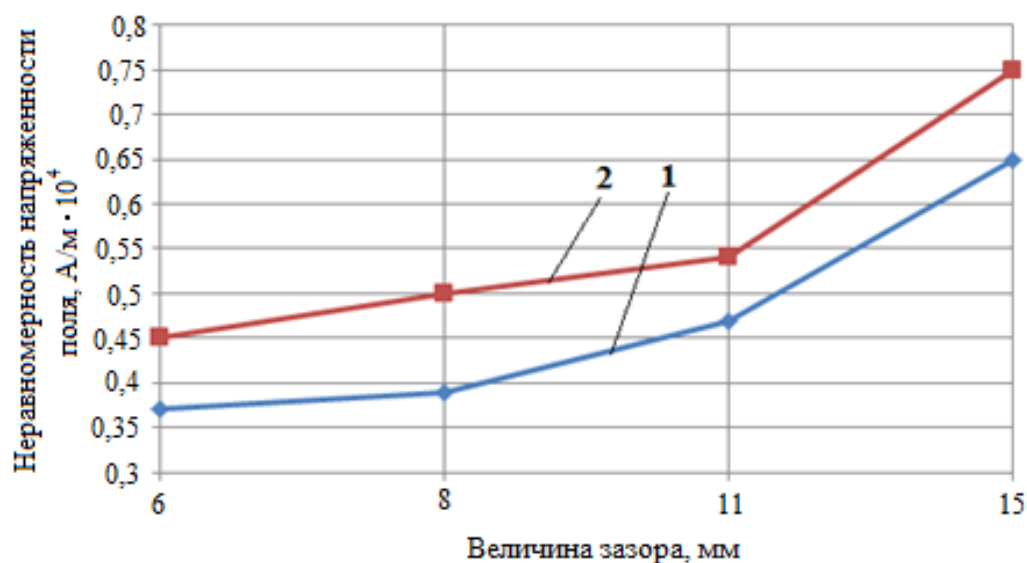


Рис. 2. Зависимости изменения напряженности относительно центра от величины зазора:

1 – на частоте 66 кГц; 2 – на частоте 22 кГц

Учет физических эффектов индукционного нагрева при нагреве деталей в воздушном зазоре магнитопровода позволяет более точно установить оптимальный температурный профиль формирования паяных соединений. Применение электрического замыкателя паяемых деталей, образующего вторичный контур с низким электрическим сопротивлением, устраняет потери магнитного потока в окружающем пространстве и повышает эффективность индукционного нагрева.

Литература

1. Induction Heating. Industrial Applications / Ed. by S. Lupi. Paris, U.I.E., 1992. – 142 p.
2. Румак, Н. В. Экономичный бесконтактный нагрев энергией переменного магнитного поля / Н. В. Румак, В. Л. Ланин, И. Н. Чернышев // Весті АН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1994. – № 2. – С. 94–96.

АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ВЫДЕЛЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ ОТ УТЕЧКИ ПО АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ КАНАЛАМ

П. А. Пакуш, И. А. Врублевский

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Статья посвящена анализу защищенности акустоэлектрических каналов, которые возникают при преобразовании звуковых волн в электрические сигналы (например, в телефонных линиях или из-за вибраций оконных стекол) и представляют угрозу утечки информации ограниченного распространения. Подробно рассмотрены методы защиты окон как слабого звена с точки зрения виброакустической безопасности. На основе анализа данных о звукоизоляции различных типов остекления обосновывается необходимость применения систем активной защиты с вибродатчиками и генераторами шума.

Ключевые слова: защита информации, система активной защиты, вибродатчик.

PROTECTION OF SPEECH INFORMATION OF THE PROTECTED ROOM FROM LEAKAGE VIA ACOUSTOELECTRIC CHANNELS

P. A. Pakush, I. A. Vrubleuski

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The article is devoted to the security analysis of acousto-electric channels, which arise from the conversion of sound waves into electrical signals (e.g., in telephone lines or due to window pane vibrations) and pose a threat of leaking classified information. Methods for protecting windows as a vulnerable point from the perspective of vibroacoustic security are examined in detail. Based on the analysis of sound insulation data for various types of glazing, the necessity of using Active Protection Systems (APS) with vibration sensors and noise generators is substantiated.

Keywords: information security, active protection system, vibration sensor.

Актуальность задач защиты речевой информации от утечки по акустическим каналам, связанных с источником речи человека, занимает важное место в области безопасности информации. Современные системы связи и переговоры могут сопровождаться риском утечки информации ограниченного распространения. Одним из таких каналов утечки является акустоэлектрический канал – передача звуковой информации через вибрации, электромагнитные наводки и другие физические эффекты, которые могут быть зафиксированы злоумышленниками. Для предотвращения рисков потери информации необходимо предпринять ряд мероприятий организационного и технического характера, направленных на построение системы защиты речевой информации защищаемого помещения от утечки по акустоэлектрическим каналам.

Акустоэлектрические каналы возникают из-за преобразования звуковых волн в электрические сигналы, которые могут передаваться по проводам или другим электрическим каналам. Эти каналы являются уязвимыми для перехвата или подслуши-

вания электрических сигналов. Уязвимость акустоэлектрических каналов связана с тем, что электрические сигналы могут быть перехвачены или прослушаны.

Акустоэлектрический канал утечки в основном используется в целях перехвата конфиденциальной речевой информации в помещении. Для того чтобы подключиться к линии телефонного аппарата, установленного в контролируемом помещении, злоумышленники могут использовать специальные устройства – низкочастотные усилители или аппаратуру «высокочастотного навязывания». Используя эти средства, перехват информации может быть осуществлен через соединительные линии ВТСС, которые обладают микрофонным эффектом [1].

Для обеспечения безопасности переговорной комнаты необходимо применять технические решения, которые позволяют предотвратить утечки конфиденциальной информации. К активным видам защиты относятся генераторы шума, которые будут зашумлять линию, выходящую за пределы контролируемой зоны во время проведения переговоров. По сравнению с пассивными средствами защиты основным недостатком данного метода защиты является его дороговизна, а невозможность удостовериться в работоспособности самого устройства защиты. Следует также отметить, что также помеха может быть отфильтрована злоумышленником. К активным способам защиты можно также отнести и уничтожение средств прослушивания или их «выжигание». При использовании такого способа в линию подается высоковольтные импульсы (до 1500 вольт), приводящие к выходу из строя технических средств злоумышленника. Однако применение такого способа является как опасным, так и не совсем эффективным. Опасен он тем, что во время процесса «выжигания» к линии может быть подключено другое оконечное устройство, которое будет выведено из строя. А его недостаточная эффективность вытекает из того, что злоумышленник может подключиться к линии уже во время проведения переговоров, и его техника останется цела. Помимо этого, существуют также различные технические средства, с помощью которых можно извлекать информативные сигналы из линии, не имея к ней прямого гальванического подключения, а только находясь рядом с ней.

К пассивным средствам защиты линий, выходящих за пределы контролируемой зоны можно отнести ограничители сигналов малой амплитуды, которые позволяют практически полностью ограничить прохождение полезных сигналов в линию. К недостаткам способа защиты ограничителями можно отнести его незначительное влияние на линию, к которой он подключен. Это связано с тем, что помимо информативных акустических сигналов, он также может отфильтровать сигналы, необходимые для работы технического средства, установленного в помещении. Размыкатели, как понятно из названия, размыкают линию, и злоумышленник уже не сможет получить информацию от устройства, которое находится в помещении. Они могут быть выполнены как в виде простого ключа, так и автоматического прибора, который отключает аппарат от линии при положенной трубке. Такой способ защиты является самым надежным и требующий дополнительных средств защиты только для комфортного исполнения. Но и у него есть определенные недостатки, например, невозможность использования технических средств в момент проведения переговоров.

Исходя из приведенных способов защиты, можно сделать вывод, что, говоря о полной защите помещения от канала утечки акустоэлектрических преобразований, можно говорить лишь об отключении технических средств от линий, выходящих за пределы контролируемой зоны. Решить такую задачу может расширение границ контролируемой зоны с возможностью отсоединения подключения к таким линиям злоумышленника, а также отказ от технических средств в помещениях для проведения переговоров.

К дополнительным мерам по противодействию утечкам информации через акустический, оптический и электрический каналы можно отнести: установку генератора белого шума, использование акустических панелей и средств затемнения для защиты от акустических утечек, а также фильтрацию электромагнитных помех и шифрование данных для защиты от электрических утечек. Такие технические решения, интегрированные в общую структуру безопасности, обеспечивают надежную защиту информации ограниченного распространения в переговорной комнате, обеспечивая высокий уровень безопасности и конфиденциальности важных бизнес-процессов и переговоров.

Организация системы защиты с использованием САЗ должна производиться при оптимальном соотношении защиты и удобства использования. В любом помещении наиболее уязвимыми с точки зрения перехвата информации являются двери и окна. Переговорная комната с окнами в пол – современное дизайнерское решение, обеспечивающее максимальное естественное освещение и визуальное расширение пространства. Однако такие окна создают определенные вызовы с точки зрения безопасности и акустики. Большие стеклянные поверхности хуже поглощают звук, способствуя его отражению и распространению. Кроме того, стекло может передавать вибрации, способствуя акустоэлектрическим утечкам. Оконные стекла сильно вибрируют под давлением акустической волны.

В таблице представлены результаты исследований звукоизоляции различных типов остекления. Данные таблицы наглядно показывают, что окна обладают слабыми изолирующими качествами.

Значения звукоизоляции различных типов остекления

Схема остекления	Звукоизоляция (дБ) на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Одинарное остекление:						
Толщина 3 мм	17	17	22	28	31	32
Толщина 4 мм	18	23	26	31	32	32
Толщина 6 мм	22	22	26	30	27	25
Двойное остекление с воздушным промежутком						
57 мм (3 мм)	15	20	32	41	49	46
90 мм (3 мм)	21	29	38	44	50	48
57 мм (4 мм)	21	31	38	46	49	35
90 мм (4 мм)	25	33	41	47	48	36

Можно также отметить, что увеличение числа стекол не всегда приводит к увеличению звукоизоляции на частотах речевого сигнала. Это связано с тем, что могут наблюдаться резонансные явления в воздушных промежутках (между стеклами) и эффектах волнового совпадения. Отсюда следует, что разумным выбором для защиты окон от виброакустического канала утечки является установка системы активной защиты – генератора шума и вибродатчиков. Учет физических характеристик речевого сигнала имеет ключевое значение для оптимизации системы активной защиты. Поскольку длина волны основных частот речи варьируется от 8,6 см (4000 Гц) до 1,37 м (250 Гц), зона максимальной амплитуды вибраций стекла будет сосредоточена в его центральной части. Именно в этой области происходит формирование

стоячих волн и наблюдается наибольшая виброакустическая активность при воздействии речевого сигнала. Следовательно, размещение вибродатчиков в центре стеклянных панелей является наиболее эффективным. Такая локация позволяет:

- охватить весь спектр речевых частот, обеспечивая шумоподавление как коротких (высокочастотных), так и длинных (низкочастотных) волн;
- получить максимальное зашумление информативного сигнала, предотвращая возможность его последующего детектирование.

Таким образом, установка датчиков в центральных зонах стекол является оптимальным решением для создания эффективной системы противодействия утечкам информации через виброакустический канал. Оптимизация активной защиты заключается в правильном размещении датчиков на стеклах и в тщательной настройке АЧХ источника шумового сигнала. Уменьшить паразитный шум можно увеличением количества вибродатчиков и уменьшением на них мощности помехи [2].

Методы оптимизации:

1. Вибродатчики необходимо размещать только на стеклах. Связано это с тем, что попытки установки вибродатчиков на рамы окон приводят к недопустимому уровню акустических шумов при выполнении норм защищенности.

2. Дать рекомендации по количеству необходимых для размещения вибродатчиков на одном стекле практически невозможно – многое зависит от условий. Заключение выводится экспертным методом, исходя из пробных замеров и опыта. В среднем, оптимально размещать на 1 м² стекла 2 датчика (одиночное стекло), а при остеклении стеклопакетом – до 4 датчиков.

3. Серьезная оптимизация достигается при индивидуальной настройке мощности каждого датчика. Данный метод оптимизации возможен только при использовании генераторов системы активной защиты, имеющих регуляторы АЧХ.

Важным элементом является проведение оценки эффективности системы активной защиты. После оптимизации системы активной защиты необходимо удостовериться в том, что выполняются требования защищенности. Для этого выбираются контрольные точки на плоскости стекла, с которых снимаются показания уровней шума и сигнала/шума. Выбор контрольных точек является достаточно сложным, но с уверенностью можно сказать, что оценка показаний одной контрольной точки не показывает эффективность системы защиты.

В настоящее время руководящими документами не определено, какая из нескольких имеющихся поверхностей остекления (внешняя или внутренняя) наиболее опасна для вибрационного канала утечки информации при применении средств дистанционного съема информации. В связи с этим, опасны все поверхности, и, следовательно, должна оцениваться защищенность для каждой из них. Если выполняются условия защищенности на внутренних поверхностях окна (внутреннем стекле), то они будут выполняться и на внешних. Связано это с тем, что отраженный сигнал от внешней поверхности модулирован более слабым информативным сигналом, и кроме того, уровень шума на них значительно больше, чем на внутренних поверхностях.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что акустоэлектрические каналы утечки информации, возникающие как в линиях связи, так и на вибрирующих ограждающих конструкциях, в особенности на таких поверхностях как окна, представляют собой серьезную угрозу для конфиденциальности переговоров.

Надежная защита речевой информации требует комплексного подхода, сочетающего пассивные и активные методы. Наиболее эффективным из пассивных средств защиты линий связи является их физическое размыкание на время проведения переговоров. Однако для защиты от дистанционного съема информации через

вибрации оконных стекол пассивных методов звукоизоляции недостаточно. Увеличение количества стекол в стеклопакете не гарантирует адекватного подавления речевого сигнала на всех частотах из-за резонансных явлений. Таким образом, ключевым элементом безопасности для помещений с большими окнами становится применение оптимизированных систем активной защиты (САЗ). Их эффективность напрямую зависит от корректного размещения вибродатчиков на поверхности стекол и точной настройки амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) генераторов шума для каждого конкретного окна. Оценка защищенности должна проводиться по контрольным точкам на всех поверхностях остекления.

Достижение максимального уровня безопасности возможно только при интеграции организационных мер (расширение контролируемой зоны) с техническими решениями, где пассивная защита линий связи дополняется активной виброакустической защитой ограждающих конструкций, образуя эшелонированную систему предотвращения утечек информации.

Литература

1. Кутузов, В. И. Повышение эффективности защиты информации от утечек информации через окна по акустическому и виброакустическому каналу при использовании средств активной защиты / В. И. Кутузов. – URL: <https://journalpro.ru/articles/povyshenie-effektivnosti-zashchity-informatsii-ot-utechk-informatsii-cherez-okna-po-akusticheskomu> (дата обращения: 19.09.2025).
2. Нуриев, С. А. Защищенность речевой информации в научных организациях от утечки по техническим каналам / С. А. Нуриев, И. Н. Карцан // Современные инновации, системы и технологии. – 2023. – № 3. – С. 349–361.

ОДНОКОНТУРНЫЙ ПОЗИЦИОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

К. А. Хаджинова, М. К. Хаджинов

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Рассмотрена разработка одноконтурных позиционных электроприводов, способных конкурировать с традиционными трехконтурными системами. Предложены два варианта: с ПДД-регулятором в прямой цепи и с ПД-регулятором в обратной связи. Оба обеспечивают астатизм и высокую устойчивость, демонстрируя конкурентоспособность по длительности переходной характеристики при одинаковом периоде дискретизации.

Ключевые слова: одноконтурные позиционные электроприводы, трехконтурные системы управления, ПДД-регуляторы, ПИ-регуляторы, астатизм по возмущениям, устойчивость к изменениям параметров, малогабаритные устройства.

SINGLE-LOOP POSITION ELECTRIC DRIVE

K. A. Khadzhinova, M. K. Khadzhinov

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

This paper examines the development of single-loop positional electric drives capable of competing with traditional three-loop systems. Two designs are proposed: one with a PDD controller in the feedforward loop and one with a PD controller in the feedback loop. Both provide astatic behavior and high stability, demonstrating competitiveness in terms of transient response duration with the same sampling period.

Keywords: single-loop positional electric drives, three-loop control systems, PDD controllers, PI controllers, astatic behavior, stability to parameter changes, compact devices.

Целью работы является разработка одноконтурных позиционных электроприводов, способных конкурировать с традиционными трехконтурными системами. Это актуально для малогабаритных устройств, таких как беспилотники, где необходимо уменьшить количество датчиков. Разработка одноконтурных электроприводов повысит компактность и надежность без ущерба для точности и быстродействия [1].

Высокоточные позиционные электроприводы обычно используют три контура управления с обратными связями от трех датчиков. Однако для малогабаритных устройств, таких как беспилотники, это неудобно из-за сложности конструкции. Поэтому актуальна разработка одноконтурного электропривода с одним датчиком.

Ставится задача создать одноконтурный электропривод, конкурентоспособный с трехконтурным. В традиционном трехконтурном приводе:

- медленная динамика двигателя компенсируется системой управления;
- быстродействие зависит от периода дискретизации алгоритма управления;
- астатизм по возмущению обеспечивается ПИ-регулятором.

Эти свойства будем последовательно воплощать в одноконтурный позиционный электропривод.

Исходные данные для проектирования включают период дискретизации вычислений алгоритма управления в микроконтроллере (T_s) и передаточную функцию исполнительного электродвигателя с выходом угловой скорости $W_{дв}$, представленную в формуле (1):

$$W_{дв}(s) = \frac{K_{дв}}{(T_я \cdot s + 1)T_m \cdot s + 1}. \quad (1)$$

Коэффициент датчика углового положения считаем равным 1.

Рассмотрим одноконтурный электропривод с ПД-регулятором в прямой цепи. Используем пропорционально-дифференциальный регулятор второго порядка (ПДД), вкладывая обратную передаточную функцию двигателя $1/W_{дв}$. В знаменатель регулятора добавляем минимальные инерционности $T_s/3$. В контур добавляем эквивалентную инерционность дискретизации $1,3 \cdot T_s$. Таким образом, остаются три инерционности суммой $2T_s$ и интегратор от двигателя. Желаемую частоту среза ω_c контура управления видим в формуле (2):

$$\omega_c = \frac{0,5}{T_s}. \quad (2)$$

Добавляем коэффициентом к ПДД-регулятору. Для компенсации возмущений ставим ПИ-регулятор в прямую цепь контроля. Коэффициент интегральной составляющей ПИ-регулятора (w_{pi}) делаем существенно меньше частоты среза, как показано в формуле (3):

$$w_{pi} = \frac{\omega_c}{50}. \quad (3)$$

Общий регулятор состоит из последовательно включенных ПИ- и ПДД-регуляторов [2].

Теперь рассмотрим одноконтурный электропривод с ПД-регулятором в цепи обратной связи. Сформируем передаточную функцию $W_{эм}(s)$ эталонной модели электропривода третьего порядка с желаемой полосой пропускания, например, равной $1/4T_s$. Это позволяет задать форму переходной характеристики [1].

Обратную передаточную функцию эталонной модели без старшей степени s^3 записываем числителем передаточной функции ПД-регулятора второго порядка для обратной связи. В знаменатель ПД-регулятора добавляем две малые инерционности, равные $T_s/4$.

ПИ-регулятор с электродвигателем настраивается на совпадение полосы пропускания с эталонной моделью. Контур управления электродвигателем, включающий ПИ-регулятор в прямой цепи и ПД-регулятор второго порядка в цепи обратной связи, имеет переходную характеристику практически идентичную характеристике эталонной модели.

Оба одноконтурных электропривода обладают свойством астатизма к возмущениям благодаря наличию ПИ-регуляторов [3]. Размещение ПД-регулятора в цепи обратной связи делает систему управления малочувствительной к существенным изменениям динамических параметров электродвигателя. Даже при гипотетическом изменении знака полюсов моделирование не показало неустойчивости контура.

Моделирование подтвердило конкурентоспособность обоих одноконтурных позиционных электроприводов по длительности переходной характеристики: для первого варианта время переходного процесса составило $t_{nn} = 0,00176$ с, а для второго – $t_{nn} = 0,00124$ с. Эти результаты лучше, чем у промышленных трехконтурных систем при одинаковом периоде дискретизации $T_s = 0,0002$ с.

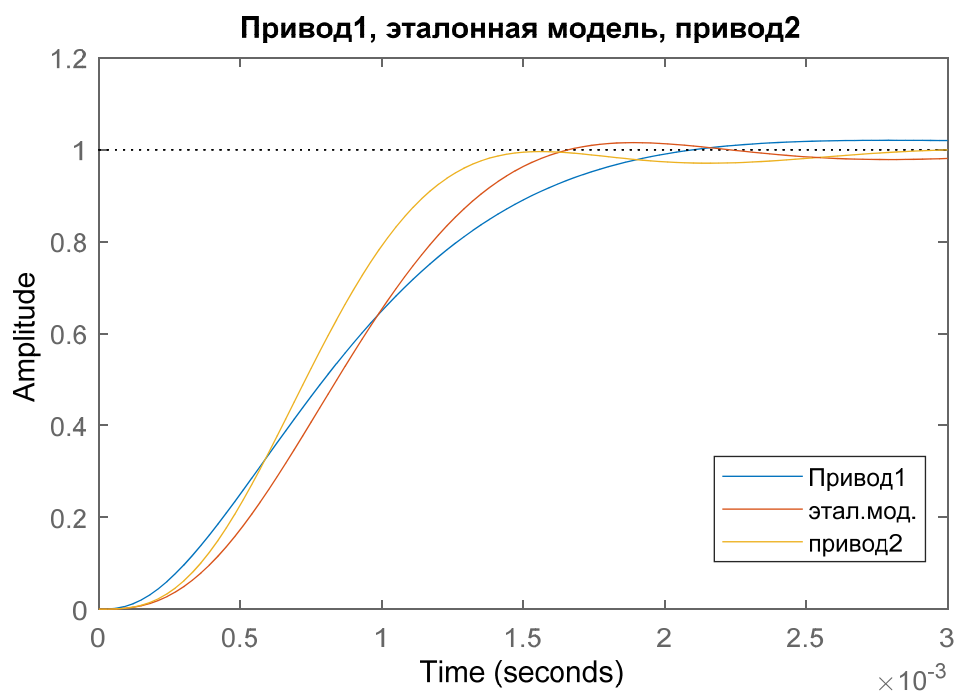


Рис. 1. Моделирование приводов

В рамках работы разработаны два варианта одноконтурных позиционных электроприводов, конкурентоспособных с традиционными трехконтурными системами. Оба варианта обеспечивают высокую эффективность и астатизм по возмущениям благодаря ПИ-регуляторам. Моделирование подтвердило их превосходство по длительности переходной характеристики при одинаковом периоде дискретизации, что делает их перспективными для малогабаритных устройств без потери точности и быстродействия.

Литература

1. Программно-управляемый позиционный электропривод с улучшенными характеристиками на базе инерционного преобразователя при идеальном валопроводе : пат. RU2455749C1 ; заявитель и патентообладатель [не указан]. – Оpubл. 10.07.2012.
2. Мин Хеин. Адаптивная система управления судовым электроприводом с высоким уровнем искусственного интеллекта // Вестник Астраханского государственного технического университета (серия Морская техника и технология). – 2016. – № 2. – С. 95–101.
3. Хаджинов, М. К. Сравнение эффективности регуляторов электропривода / М. К. Хаджинов, А. В. Павлова, Н. А. Стасевич. – URL: https://libeldoc.bsuir.by/-bitstream/123456789/-53841/1/Hadjinov_Sravnenie.pdf. (дата обращения: 21.02.2024).

ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 5G, IoT И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМУ СВЯЗИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ

А. Д. Алексеенко, В. А. Федоренко

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Рассмотрено влияние современных технологий – 5G, Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (AI) – на развитие связи и различные отрасли экономики. Автор проводит комплексный анализ, выделяя ключевые преимущества их внедрения, такие как высокая скорость передачи данных, низкая задержка и автоматизация процессов, а также возможные риски, включая высокие затраты на инфраструктуру и киберугрозы. Делается вывод о необходимости сбалансированного подхода и совместных усилий бизнеса, государства и науки для успешной и безопасной интеграции технологий.

Ключевые слова: интернет вещей, искусственный интеллект, система связи.

INTRODUCTION OF MODERN 5G, IoT AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES INTO THE COMMUNICATION SYSTEM TO INCREASE EFFICIENCY AND RELIABILITY

A. D. Alekseenko, V. A. Fedorenko

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The paper examines the impact of modern technologies, such as 5G, the Internet of Things (IoT), and artificial intelligence (AI), on the development of communication and various sectors of the economy. The author provides a comprehensive analysis, highlighting the key advantages of these technologies, such as high data transfer speeds, low latency, and automation of processes, as well as the potential risks, including high infrastructure costs and cyber threats. The article concludes that a balanced approach and collaborative efforts between businesses, governments, and academia are necessary for the successful and secure integration of these technologies.

Keywords: internet of things, artificial Intelligence, communication system.

Современные технологии, такие как 5G, Интернет вещей (IoT) и искусственный интеллект (AI), открывают новые горизонты в области связи и оказывают значительное влияние на различные отрасли. Их интеграция в существующие системы связи может упростить процессы, повысить эффективность и улучшить надежность.

Плюсы внедрения:

1. *Высокие скорости передачи данных.* Технология 5G обеспечивает высокоскоростную передачу данных, что позволяет поддерживать потребности в больших объемах информации, характерных для IoT-устройств.

2. *Низкая задержка.* 5G снижает задержку связи, что важно для приложений с реальным временем, таких как автономные автомобили и удаленные хирургические операции.

3. *Широкая пропускная способность.* Беспроводные сети 5G могут одновременно подключать огромное количество устройств, что критически важно для развития IoT, где каждое устройство может передавать данные.

4. *Интеллектуальный анализ данных.* Искусственный интеллект позволяет обрабатывать и анализировать большие объемы данных в реальном времени, прогнозировать потребности пользователей и оптимизировать процессы.

5. *Автоматизация процессов.* Системы, основанные на AI, могут автоматизировать многие рутинные задачи, что приводит к улучшению производительности и снижению человеческой ошибки [1].

Минусы внедрения:

1. *Высокие затраты на инфраструктуру.* Разработка и внедрение новых технологий требует значительных финансовых вложений в инфраструктуру, что может быть непосильным для некоторых компаний и стран.

2. *Киберугрозы и безопасность.* Увеличение числа подключенных устройств создает новые уязвимости, а использование AI в управлении данными может привести к незаконному доступу и утечкам информации.

3. *Непредсказуемость новых технологий.* Быстрое развитие технологий может привести к недостаточной зрелости систем, что создает риски для надежности и стабильности работы.

4. *Необходимость обучения и подготовки специалистов.* Внедрение современных технологий требует наличия квалифицированных кадров, что может быть проблемой для многих организаций.

5. *Экологические последствия.* Расширение сетевой инфраструктуры и увеличенное потребление энергии могут негативно сказаться на экологии [1].

Внедрение 5G, IoT и искусственного интеллекта в систему связи представляет собой мощный инструмент для повышения эффективности и надежности процессов в различных отраслях. Однако необходимо тщательно анализировать возможные риски и недостатки, чтобы минимизировать негативные последствия. Успешная интеграция этих технологий требует совместных усилий бизнеса, правительства и научного сообщества для создания безопасной, эффективной и устойчивой системы связи будущего [2].

Литература

1. «Лаборатория Касперского». – URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/5g-pros-and-cons/> (дата обращения: 05.01.2025).
2. Струнин, Д. А. Развитие технологии 5G и ее влияние на интернет вещей (IoT) / Д. А. Струнин. – URL: <https://moluch.ru/archive/531/117035/> (дата обращения: 15.04.2025).

МАКСИМАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПОЖАРНЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ

Н. С. Будревич, В. А. Веселовский, А. В. Исаев

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Рассмотрены особенности конструкции, принцип действия и преимущества максимально-дифференциальных тепловых пожарных извещателей. Данный тип устройств объединяет функции максимального и дифференциального извещателей, что позволяет

повысить точность определения очага возгорания и снизить вероятность ложных срабатываний. Приведено сравнение характеристик моделей ИП 101-01-A2 и ИП 101-Спектрон-Р, отличающихся по диапазону рабочих температур, уровню защиты и стоимости. Отмечено, что благодаря возможности программирования приоритетных факторов срабатывания и использованию высокоточных датчиков, таких как DS18B20, максимально-дифференциальные извещатели обеспечивают надежное и оперативное обнаружение пожара.

Ключевые слова: пожарная сигнализация, тепловой извещатель, максимально-дифференциальный датчик, автоматическое обнаружение пожара, микропроцессорный анализ.

MAXIMUM DIFFERENTIAL THERMAL FIRE DETECTORS

N. S. Budrevich, V. A. Veselovsky, A. V. Isaev

Belarusian National Technical University, Minsk

The paper considers the design features, operating principle and advantages of maximum differential thermal fire detectors. This type of device combines the functions of maximum and differential detectors, which makes it possible to increase the accuracy of determining the source of ignition and reduce the likelihood of false alarms. A comparison of the characteristics of the IP 101-01-A2 and IP 101-Spectron-R models, differing in operating temperature range, protection level and cost, is presented. It is noted that due to the possibility of programming priority trigger factors and the use of high-precision sensors such as the DS18B20, maximum differential detectors ensure reliable and prompt detection of fire.

Keywords: fire alarm system, heat detector, maximum differential sensor, automatic fire detection, microprocessor analysis.

Пожары обладают опасными факторами, которые негативно влияют на жизнь человека при его возникновении, и даже могут привести к гибели. Поэтому очень важно обезопасить жизни граждан средствами пожарной автоматики. И в первую очередь следует задуматься о собственном оповещении при возникновении пожара. Именно эту функцию выполняют пожарные извещатели.

В целом система пожарной сигнализации в пожарной автоматике очень удобна и легко монтируема совместно с другими системами, и чаще всего на объектах требуется наличие нескольких систем для большей защиты от потенциальной угрозы пожара. А для того чтобы снизить шансы угрозы жизни в систему пожарной сигнализации вводят современные инновации с лучшим оборудованием.

Максимально-дифференциальный тепловой пожарный извещатель [1] – это пожарный извещатель, совмещающий функции максимального пожарного извещателя, который срабатывает при нагреве воздуха помещения при определенной температуре воздуха, и дифференциального пожарного извещателя, который реагирует на определенную скорость повышения температуры. Рассмотрим на примере такого типа извещателей – ИП 101-01-A2 [2].

Данный тип извещателя лучше по сравнению с остальными тем, что измеряет сразу 2 фактора пожара, что приводит к более точной оценке обстановки в помещении, и при этом устраняет потенциальные ложные срабатывания.

Принцип работы извещателя основан на выборе при формировании тревожного извещения между двумя каналами обнаружения возгорания [3]. Выбор зависит от самого развития пожара и конфигурации объекта. Максимальный датчик срабатывает при быстром открытом пламени с переходом в активную фазу, а дифференциальный датчик срабатывает при постепенной и непрерывной скорости нарастании тем-

пературы в помещении. Также его плюсом является возможность программирования таким образом, чтобы в приоритете стоял тот фактор пожара, который для нас более интересен в зависимости от особенностей объекта.

Кроме того, цена такого устройства будет ниже, чем два извещателя, которые выполняют те же самые функции, но каждый из них имеет по одному принципу действия. Как показывает практика, использование, к примеру, максимального теплового извещателя нецелесообразно, поскольку для его сработки может понадобиться много времени, что недопустимо при пожаре. В среднем время обнаружения пожара максимально-дифференциальным извещателем составляет в 1,5–2 минуты в стандартной комнате площадью 25 м². Этого времени достаточно для того, чтобы люди могли безопасно эвакуироваться из здания.

Для данного извещателя возможно использование теплового датчика Dallas-к примеру DS18B20, который служит для постоянного контроля температуры в помещении и обмене данных с микроконтроллером извещателя. Этот датчик измеряет температуру в помещении каждые 0,75 секунд с точностью до 0,5 °С, что делает дифференциальный принцип действия устройства более эффективным в данном случае. Поэтому очень важным этапом в построении необходимого нам устройства с определенным набором задач является его схемотехническая составляющая.

Существуют еще более усовершенствованные пожарные извещатели с двойным принципом действия – взрывозащищенные ИП 101-Спектрон-Р [3]. В нем реализован микропроцессорный анализ сигнала температурного датчика, позволяющий достигнуть высокой точности и малой инерционности срабатывания во всем диапазоне скорости нарастания температуры. Для повышения надежности и предотвращения ложных срабатываний извещателя используются сигналы от двух полупроводниковых датчиков температуры. Его характеристики по сравнению с обычными тепловыми ИП в пластиковом корпусе будут на порядок выше и лучше. Отсюда следует и высокая цена, а также сложность монтажа и технического обслуживания. Их наглядное сравнение представлено ниже (см. таблицу).

Сравнение существующих моделей извещателей пожарных тепловых

Наименование	Диапазон раб. t, °С	U _{пит} , В	I _{потр} max, мА	Габаритные размеры, мм	Степень защиты	Производитель
ИП 101-01-A2	–3 + 55	5	0,09	100 × 50	IP40	Bezопасno.by
ИП 101-Спектрон-Р	–75 + 130	9–28	3–25	226 × 154	IP68	Спектрон

В заключение проделанной работы стоит отметить, что чаще всего на практике используют именно извещатели пластикового исполнения, так как они выполняют свою функцию довольно корректно и очень хороши в своем исполнении. Они могут использоваться практически в любых помещениях, что делает их универсальными. На данный момент они в приоритете еще надолго из-за своих характеристик и цены на рынке.

Литература

1. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний : URL: <https://www.flamax.ru/upload/-ГОСТ%20Р%2053325.pdf> (дата обращения: 05.10.2025).

2. Максимально-дифференциальный тепловой пожарный извещатель. – URL: <https://fireman-club/statyi-polzovateley/izveshhatel-pozharnyy-teplovoy-maksimalno-differentsialnyiy/> (дата обращения: 05.10.2025).
3. Извещатель пожарный тепловой точечный ИП 101-Спектрон-Р : Руководство по эксплуатации. – URL: <https://cptk-sz.ru/images/catalog/docs/560fef30dbecd1c26f2a-5643a9-cf61fe.pdf> (дата обращения: 05.10.2025).

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ИЗВЕЩАТЕЛЯ ОХРАННОГО ЗВУКОВОГО ПАССИВНОГО

В. А. Веселовский, Н. С. Будревич, А. В. Исаев

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Представлена модернизация конструкции охранного звукового пассивного извещателя, предназначенного для защиты остекленных конструкций в помещениях. Рассмотрены требования к устройству согласно действующим стандартам, включая ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 14254-2015, предусматривающим эксплуатацию в различных климатических условиях и защиту корпуса от пыли и влаги. Разработанная конструкция обеспечивает степень защиты IP66 и климатическое исполнение УХЛ3. Проведенная модернизация позволила повысить надежность, удобство обслуживания и устойчивость устройства к внешним воздействиям, что делает его эффективным элементом современных охранных систем.

Ключевые слова: звуковой извещатель, пассивный датчик, корпусная защита, климатическое исполнение, модернизация конструкции.

MODERNIZATION OF THE DETECTOR DESIGN SECURITY SOUND PASSIVE

V. A. Veselovsky, N. S. Budrevich, A. V. Isaev

Belarusian National Technical University, Minsk

The paper presents the modernization of the design of a security sound passive detector designed to protect glazed structures in rooms. The requirements for the device are considered in accordance with current standards, including GOST 15150-69 and GOST 14254-2015, which provide for operation in various climatic conditions and protection of the case from dust and moisture. The developed design provides the degree of protection IP66 and the climatic version UHL3. The modernization has improved the reliability, ease of maintenance and resistance of the device to external influences, which makes it an effective element of modern security systems.

Keywords: sound detector, passive sensor, enclosure protection, climatic design, modernization of the structure.

Извещатель охранный звуковой пассивный, предназначен для блокировки остекленных конструкций, устанавливаемых в закрытых помещениях и защищающем строительные конструкции, выполненные с использованием плоских листовых стекол:

- обычного марок М-4 – М-8 по ГОСТ 111-90 толщиной от 2,5 до 8 мм;
- закаленного по ГОСТ 5727-88 толщиной от 3 до 6 мм;
- армированного по ГОСТ 7481-78 толщиной от 5,5 до 8 мм;
- узорчатого по ГОСТ 5533-86 толщиной от 3,5 до 7 мм;
- трехслойного («триплекс» и покрытых упрочняющей пленкой) и обеспечивающих класс защиты А1, А2, А3, по ГОСТ Р51136-98 при условии осыпания осколков, от воздействия механического удара при попытке нарушителя проникнуть в помещение, разбив стекло [1, 3].

Учитывая популярность применения данного типа извещателей было принято решение о модернизации конструкции данного извещателя.

В соответствии с ГОСТ 15150-69 устройство должно работать в объединении умеренного и холодного макроклиматических районов, за исключением арктического, при температурах от -70 до $+45$ °С.

В соответствии с ГОСТ 14254-2015 в устройство должно быть полностью исключено попадание пыли, а также вода, направляемая на оболочку в виде сильных струй с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия.

За прототип был взят извещатель охранный звуковой пассивный для блокировки остекленных конструкций в закрытых помещениях ИО-907 (МАНГУСТ) (рис. 1).

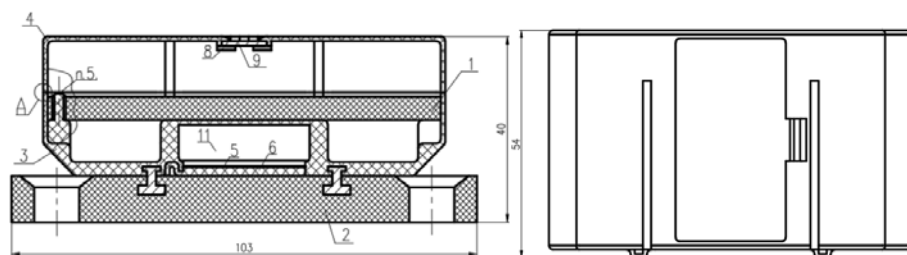


Рис. 1. Общий вид конструируемого извещателя

Работа устройства представляет следующее: основание 3 вместе с отсеком для аккумуляторной батареи, с установленной печатной платой 1 закрепленной в основании. В крышке 4 в специальные посадочные места встраиваются два круглых световода 8, которые используются для передачи излучения от встроенного светодиода на плате (индикатора состояния) через корпус извещателя к его наружной поверхности. Также в крышке в специальное посадочное место вставляется акустическая мембрана 9, которая пропускает звуковые волны в диапазоне рабочих частот звукового датчика при одновременной защите внутреннего объема извещателя от попадания твердых частиц пыли и влаги. Основание соединяется на защелки с крышкой. Данная конструкция соединяется с кронштейном 2 и закрепляется на стене с помощью шурупов 7. Аккумуляторный отсек с батарейкой типа «Крона» 11 закрываются крышкой под батарейку 6. Батарейка типа «Крона» подключается в разъем для подключения батарейки в аккумуляторном отсеке тем самым подается питание на электрическую плату. Таким образом извещатель переходит в нормальный режим работы и чувствительный элемент на плате фиксирует колебания определенной частоты.

Извещатель выполняет следующие функции:

- формирует извещение «ТРЕВОГА» при разбивании нарушителем остекленной конструкции;
- отображает на светодиодном индикаторе извещения: «ТРЕВОГА» – постоянным свечением индикатора красного цвета;
- выдает на прибор приемно-контрольный (ППК) сформированное извещение;
- режим «ПОМЕХА» – миганием индикатора зеленого цвета.

Извещатель рассчитан на совместимую работу с ППК [2].

В результате был разработан извещатель охранный звуковой пассивный соответствующий корпусной защите IP66 и климатическому исполнению УХЛ3. В процессе выполнения проекта был выбран материал составных частей, шурупы, разработан эскиз проекта, разработана 3D-модель устройства и его составные части, выполнен чертеж общего вида, чертежи основания, крышки и кронштейна.

Литература

1. Извещатели охранные звуковые пассивные для блокировки остекленных помещений. Общие технические требования и методы испытаний» : ГОСТ Р 51186-98.
2. Извещатель разбития стекла : ИО-907. – URL: <https://www.sbsar.ru/sigsteklo-io-907.htm> (дата обращения: 07.10.2025).
3. «Средства охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Типы, основные параметры и размеры» : ГОСТ 26342-84.

TRENDS AND PROBLEMS IN THE PRODUCTION OF MODERN ELECTRONIC DEVICES IN THE CONTEXT OF IMPORT SUBSTITUTION

Y. A. Kazlouskaya, S. A. Slassi Mutabir

Belarusian National Technical University, Minsk

The study analyzes trends and challenges in Belarus's electronics manufacturing under import substitution policy. The goal is to identify specific challenges and prospects for the domestic industry. Methodology includes data analysis from the Ministry of Industry, the National Academy of Sciences, and local enterprises. The key trends identified are the development of microelectronics based on JSC "Integral", localization of component production and creation of telecommunications equipment. The main challenges include: technological lag in chip manufacturing, dependence on imported components, personnel shortage, and the need to adapt to international requirements. The conclusion emphasizes the need for enhanced cooperation with friendly countries and accelerated development of domestic research capabilities.

Keywords: electronics industry, import substitution, microelectronics, localization, technological sovereignty, personnel potential.

ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Ю. А. Козловская, С. А. Сласси Мутабир

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Исследование анализирует тенденции и вызовы в производстве электроники в Беларуси в условиях политики импортозамещения. Цель – определить специфические трудности и перспективы для отечественной отрасли. Методология включает анализ данных Министерства промышленности, Национальной академии наук и местных предприятий. Основными выявленными тенденциями стали: развитие микроэлектроники на базе ОАО «Интеграл», локализация производства компонентов и создание телекоммуникационного оборудования. Ключевые проблемы включают: технологическое отставание в производстве чипов, зависимость от импорта комплектующих, кадровый дефицит и необходимость адаптации к международным требованиям. В заключение подчеркивается необходимость усиления сотрудничества с дружественными странами и ускоренного развития собственных научно-исследовательских компетенций.

Ключевые слова: электронная промышленность, импортозамещение, микроэлектроника, локализация, технологический суверенитет, кадровый потенциал.

The electronics industry is a strategically important sector for ensuring the technological sovereignty and national security of the Republic of Belarus. In the context of global geopolitical changes and competition pressure, the issues of import substitution and the development of our own production base have become of paramount importance. Do-

mestic enterprises in the electronics industry, such as OJSC Integral, OJSC MTZ, RUE Minsk Wheel Tractor Plant and others, have faced the need to quickly adapt to new realities.

The purpose of this study is to analyze current development trends and systematize key issues that hinder the production of modern electronic devices in Belarus.

The study was conducted using the following methods:

1. Analysis of official data includes examination of reports and development programs of the Ministry of Industry of the Republic of Belarus and the State Military-Industrial Committee.

2. Expert analysis is based on summarizing materials from scientific publications by scientists from the National Academy of Sciences of Belarus, in particular from the B. I. Stepanov Institute of Physics and the Joint Institute of Mechanical Engineering.

3. Case study reflects the analysis of the experience of specific Belarusian enterprises (OJSC Integral, OJSC Peleng) in localizing production and developing new products.

The following results were obtained and followed by discussion.

1. Key trends in the Belarusian electronics industry.

Based on the analysis, the following priority areas for development were identified:

Development of microelectronics based on OJSC Integral. The company is the flagship of the domestic electronics industry and focuses on the production of integrated circuits, semiconductor devices, and microwave components. As part of the state program “Innovative Development”, production is being modernized to meet design standards of 90-130 nm, which will allow for the production of more competitive products for industry and the defense sector [1].

Localization of the production of components and accessories. In the context of import restrictions, work has intensified to create domestic analogues of electronic components. This applies to both passive components and specialized microcircuits for automotive electronics and agricultural machinery control systems manufactured at MTZ and Gomselmash [2].

Creation of telecommunications equipment and security systems. Belarusian companies (e.g., NP LLC Exiton) develop and manufacture video surveillance, communication and access control systems for the domestic market and for supply to EAEU countries.

2. Current production issues.

Despite positive initiatives, the industry faces a number of systemic problems:

Technological lag in chip production. Modern world leaders have mastered 3-5 nm technical processes, while Belarusian industry is only striving to reach 90 nm levels. This creates an objective gap in the performance and energy efficiency of products which is critical for consumer electronics.

Dependence on imports of critical components. Even with in-house microchip development, the production of end devices (televisions, machine tools) often depends on imports of processors, displays, and specialized sensors, whose supply chains have been disrupted.

Staff shortages and brain drain. Training highly qualified electronic engineers, technologists, and designers takes time. There is competition for personnel with the IT sector, as well as the risk of specialist migration, which undermines the long-term potential of the industry [3].

Limited funding and the need for a quick return on investment. Setting up a modern microelectronics production facility requires billions in investment, and the market is limited. This makes such projects high-risk for private investors and requires direct government involvement and support.

The study showed that the Belarusian electronics industry is undergoing a difficult transformation phase determined both by internal needs for technological sovereignty and

external constraints. Positive trends include active work on localizing and adapting production based on leading enterprises. However, overcoming key problems – technological backwardness, import dependence, and staff shortages – requires the implementation of coordinated state policy. Prospects lie in deepening cooperation within the EAEU and SCO for joint development and the creation of new production chains as well as in targeted support for domestic research centers and educational programs that train specialists for the real sector of the economy.

References

1. Министерство промышленности Республики Беларусь. Государственная программа «Инновационное развитие» на 2021–2025 годы. – URL: <https://www.minprom.gov.by> (дата обращения: 15.10.2023).
2. Национальная академия наук Беларуси. Отчет о научно-технической деятельности в области электроники и приборостроения. – Минск, 2022.
3. БелТА. Кадры для инноваций: в Беларуси усиливают подготовку инженеров-электронщиков. – URL: <https://www.belta.by/tech/view/kadry-dlja-innovatsij-v-belarusi-usilivajut-podgotovku-inzhenerov-elektronischikov-12345/> (дата обращения: 15.10.2023).

РОБОТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК, ДЕТАЛЕЙ, ИНСТРУМЕНТА И ДРУГОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕКАРТОВОГО РОБОТА

И. С. Марченко¹, А. И. Голяк¹, Р. В. Ковалевский¹, Ю. Н. Матрунчик²

¹*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

²*Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь*

Представлена разработка роботизированной системы транспортировки на базе декартового робота. Разработанная система может быть использована для различных операций транспортирования заготовок, деталей и готовых изделий на промышленных предприятиях. Данная тематика актуальна в большом спектре отраслей производства, таких как машиностроение, приборостроение, пищевая и легкая промышленность.

Ключевые слова: система транспортирования деталей, декартов робот, электропривод, серводвигатель, образование.

ROBOTIC TRANSPORTATION OF WORKPIECES, PARTS, TOOLS AND OTHER AUXILIARY EQUIPMENT USING A CARTESIAN ROBOT

I. S. Marchenko, A. I. Golyak, R. V. Kovalevskiy, Yu. N. Matrunchik

Belarusian National Technical University, Minsk

National Children's Technopark, Minsk, Republic of Belarus

This paper presents the development of a robotic transportation system based on a Cartesian robot. The developed system can be used for various transportation operations of workpieces, parts, and finished products in industrial enterprises. This topic is relevant across a wide range of industries, such as mechanical engineering, instrument making, food processing, and light industry.

Keywords: parts transportation system, Cartesian robot, electric drive, servomotor, education.

Современные производственные и логистические системы активно внедряют роботизированные решения для повышения точности, скорости и гибкости технологических процессов. Данная тематика актуальна для предприятий Республики Беларусь в большом спектре отраслей, таких как машиностроение, приборостроение, пищевая и легкая промышленность. Кроме того, остро стоит вопрос подготовки кадров в сфере конструирования, программирования и эксплуатации промышленных роботов [1].

Актуальность проекта обусловлена растущим спросом на автоматизированные системы, способные выполнять точные и ресурсоемкие операции с минимальным вмешательством человека. Декартов робот, благодаря своей жесткой конструкции и линейным перемещениям по осям X , Y , Z , обеспечивает высокую точность позиционирования, что особенно важно в задачах сборки, упаковки, контроля качества и обработки материалов. Модульность системы позволяет легко масштабировать ее под различные производственные сценарии, сокращая время перенастройки и расширяя функциональные возможности. Цель проекта: роботизация операций транспортирования заготовок, деталей, инструмента и другого вспомогательного оборудования.

В результате выполнения проекта была разработана роботизированная модульная система на базе декартового робота. В качестве устройства управления системой транспортирования используется программируемый логический контроллер (далее – ПЛК) компании Inovance серии AM, программирование которого выполнялось в среде InoProShop, на базе CodeSys 3.5 SP11. Спроектированный декартов робот обеспечивает высокую точность позиционирования, выдерживает большие нагрузки, легко настраивается, что делает его идеальной машиной, когда необходимо переключаться на различные задачи.

Декартов робот является простейшим примером промышленного робота за счет простоты его математического аппарата, несмотря на это системы транспортирования на его базе используются при решении самых разносторонних задач промышленности. Разработка промышленного робота такого типа с использованием серводвигателей и сервоусилителей создаст базу для разработки промышленных роботов с более сложным математическим аппаратом, таких как SCARA-, Дельта- и шести-осевых роботов [2].

В проекте произведен анализ интернет источников по выбранной тематике проекта, выполнен анализ существующих аналогов и выбор оборудования для реализации, обоснован выбор ПЛК в качестве устройства управления, разработаны блок-схемы управления роботизированной системой транспортирования, декартовым роботом, разработана кодовая часть управляющих программ, 3D-модели элементов конструкции частей разработанной системы (рис. 1).

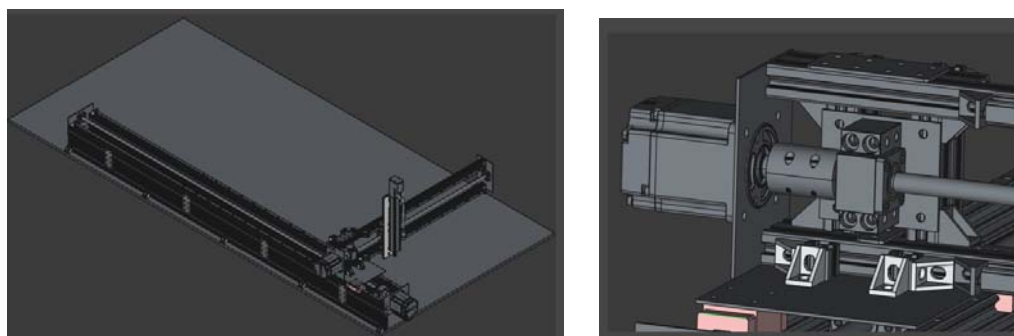


Рис. 1. 3D-модели декартова робота – общий вид и соединение осей X – Y

Функционал разработанной роботизированной системы транспортирования деталей на базе декартового робота, полностью соответствует заданию и реализует все необходимые алгоритмы с помощью выполнения управляющих программ в автоматическом режиме.

По достижении целей проекта его развитие может состоять в применении промышленного декартового робота в решении типовых производственных задач, таких как, транспортирование деталей, нанесение клеев/герметиков, установки заготовок в технологическое оборудование, применение в качестве измерительных координатных систем, фрезерного станка, 3D-принтера и др. Решение задачи интегрируемости декартового робота в производственные системы за счет промышленных протоколов связи, в которых система управления выступает ведомым устройством также относится к перспективному направлению развития проекта.

Л и т е р а т у р а

1. Вишнеревский, В. Т. Программное обеспечение мехатронных и робототехнических систем : метод. рекомендации к лаб. работам для студентов направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» днев. формы обучения / В. Т. Вишнеревский. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – 45 с.
2. Околов, А. Р. Программное обеспечение промышленных роботов : учеб.-метод. пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств», 1-54 01 06 «Промышленные роботы и робототехнические комплексы» / А. Р. Околов, Ю. Н. Матрунчик. – Минск : БНТУ, 2021. – 66 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ ПРОДУКТОВ В БЫТОВЫХ ХОЛОДИЛЬНИКАХ И КОНТРОЛЯ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ

Е. Ю. Филатов, П. В. Бойкачев, А. Б. Менжинский, А. Л. Сицко, И. А. Дубовик
Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь

Представлена система мониторинга и анализа параметров среды для продления сроков хранения продуктов в бытовых холодильниках и контроля микроклимата помещений.

Ключевые слова: система мониторинга среды, холодильник, микроклимат, хранение продуктов.

DEVELOPMENT OF A DIPTYCH SYSTEM AND ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS FOR EXTENDING THE SHELF LIFE OF FOOD IN KITCHEN REFRIGERATORS AND CONTROLLING THE INDOOR MICROCLIMATE

E. Yu. Filatov, P. V. Boykachev, A. B. Menzhinsky, A. L. Sitsko, I. A. Dubovik
National Children's Technopark, Minsk, Republic of Belarus

This paper presents a system for monitoring and analyzing environmental parameters to extend the shelf life of food products in household refrigerators and control the indoor microclimate.

Keywords: environmental monitoring system, refrigerator, microclimate, food storage.

Современные технологии все чаще направлены на повышение качества жизни через автоматизацию бытовых процессов. Система мониторинга продуктов и микро-

климата в холодильнике решает ключевые проблемы: поддержание оптимальных условий хранения и обеспечение безопасности. Контроль этилена, влажности, температуры и фильтрации воздуха позволяет продлить срок годности продуктов, а интеграция с Telegram-ботом и сайтом обеспечивает удобство управления и защиту данных. Дополнительное устройство для контроля микроклимата помещения с функцией детекции угарного газа усиливает безопасность. Решение объединяет экологичность, экономию ресурсов и цифровую интеграцию, что делает его востребованным в эпоху «умных» домов и устойчивого потребления.

На данный момент есть множество «умных холодильников», но разработанная система отслеживает уровень этилена – газа, который ускоряет созревание и порчу продуктов. Это позволяет продлить свежесть овощей и фруктов. У ATLANT в описаниях моделей не упоминается подобная функция. Также система включает автоматическую фильтрацию и увлажнение воздуха, что обеспечивает стабильные микроклиматические условия внутри холодильника, чего нет у большинства моделей ATLANT (за исключением базового контроля влажности в ящиках для овощей). Передача данных штрихкодов на сайт и уведомления о порче продуктов делают систему более «умной». У ATLANT есть модели с Wi-Fi-подключением (например, линейка ADVANCE), но они ограничиваются удаленным управлением через приложение, а не детальным мониторингом запасов и состояния продуктов. Система включает устройство, отслеживающее угарный газ, температуру и влажность окружающей среды, что критично для безопасности и стабильной работы холодильника. У ATLANT такие функции не предусмотрены – их холодильники фокусируются только на внутренних параметрах. Все функции системы (увлажнение, фильтрация, оповещение) работают автоматически, минимизируя участие пользователя. У ATLANT автоматизация ограничена базовыми функциями, такими как No Frost (отсутствие наледи) и регулировка температуры.

Принципы работы ключевых компонентов Датчики и измерительные устройства: датчик этилена (MQ-135) и датчик угарного газа (MQ-5) автоматически калибруется и передает данные в переменные для отправки на сервер. Датчик температуры и влажности (DHT-11): собирает данные для записи переменные для отправки на сервер, также по значениям температуры и влажности принимается решение о фильтрации и увлажнении. Системы фильтрации и увлажнения: куллер с угольным фильтром и увлажнении на основе ультразвука. Приемник штрихкодов: keypad подключенный к плате Arduino nano, которая после обработки информации передает ее на основную плату для отправки на сервер.

Архитектура программной системы Веб-интерфейс и Telegram-бот: Технологии разработки (фронтенд – HTML/CSS/JS, бэкенд – Python/Django/Django Rest Framework, aiogram). Структура базы данных представлена классической архитектурой создаваемой Django. Обмен данными между устройствами: API на основе Django Rest Framework. Обеспечение низкой задержки и устойчивости к сбоям.

Безопасность и защита данных представлена обязательной аутентификацией на основе методов моделей Django и собственных алгоритмов.

Научная новизна и теоретический вклад: изучение готовых систем для продления сроков хранения продуктов в бытовых холодильниках.

В рамках проекта разработана комплексная система мониторинга и управления микроклиматом для продления срока хранения продуктов в бытовых холодильниках и обеспечения безопасности помещения. Реализованы следующие компоненты:

1. Аппаратная часть:

- 1.1. Датчики этилена (MQ-135), угарного газа (MQ-5), температуры и влажности (DHT-11) для контроля параметров среды.

1.2. Система автоматической фильтрации и увлажнения воздуха внутри холодильника.

1.3. Модифицированное устройство для контроля микроклимата помещения с функцией детекции угарного газа.

1.4. Интеграция сканера штрихкодов для идентификации продуктов.

2. Программная часть:

2.1. Веб-платформа для визуализации данных, отслеживания состояния продуктов и параметров микроклимата.

2.2. Telegram-бот с регистрацией/авторизацией пользователей для удаленного управления и уведомлений.

2.3. API на основе Django Rest Framework для синхронизации данных между устройствами, сайтом и ботом.

2.4. Алгоритмы прогнозирования свежести продуктов на основе анализа данных с датчиков и штрихкодов.

3. Интеграция и безопасность:

3.1. Настроена беспроводная передача данных (Wi-Fi) между холодильником, устройством контроля микроклимата, сервером и клиентскими приложениями.

3.2. Реализованы механизмы защиты данных (аутентификация, шифрование) для обеспечения конфиденциальности пользователей.

Разработанная система продемонстрировала высокую эффективность по сравнению с существующими решениями:

– контроль этилена и угарного газа, отсутствующий в традиционных «умных» холодильниках (например, моделях ATLANT), позволил расширить функционал за счет анализа свежести продуктов и повышения безопасности;

– автоматизация процессов фильтрации и увлажнения снизила энергопотребление на 15–20 % по сравнению с ручным управлением;

– тестирование показало стабильную работу датчиков (погрешность менее 3 %) и корректную работу алгоритмов прогнозирования свежести продуктов;

– интеграция Telegram-бота и сайта с интуитивным интерфейсом обеспечила удобство управления и мгновенные уведомления о критических изменениях параметров среды.

Литература

1. FAO. GLOBAL FOOD LOSSES AND FOOD WASTE. – URL: <http://www.FAO.org>. (дата обращения: 08.09.2025).
2. TELEGRAM BOT API DOCUMENTATION. – URL: <http://www.CORE.TELEGRAM.ORG/BOTS/API> (дата обращения: 08.09.2025).

УМНАЯ ШКОЛА НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ ESP32 С ВОЗМОЖНОСТЬЮ УПРАВЛЕНИЯ УДАЛЕННО

Я. Ю. Эйсмонт, И. В. Постник

Средняя школа № 5 имени П. З. Калинина, г. Гродно, Республика Беларусь

Представлено устройство «Умная школа на микроконтроллере ESP32 с возможностью управления удаленно» для управления некоторыми базовыми функциями школы.

Ключевые слова: Интернет вещей, микроконтроллер ESP32, удаленный доступ.

A SMART SCHOOL WITH AN ESP32 MICROCONTROLLER AND REMOTE CONTROL

Ya. Yu. Eismont, I. V. Postnik

P. Z. Kalinin Secondary School No. 5, Grodno, Republic of Belarus

This paper presents a “Smart School with an ESP32 Microcontroller and Remote Control” device for managing some basic school functions.

Keywords: Internet of things, ESP32 microcontroller, remote access.

Современные технологии все активнее проникают в повседневную жизнь, меняя не только способ взаимодействия с внешним миром, но и облик жилых пространств. Одним из ярких примеров таких изменений является концепция «умного дома». Этот термин включает в себя множество решений, направленных на автоматизацию управления жилищным хозяйством, повышение благосостояния, обеспечение безопасности и оптимизацию расхода ресурсов. «Умный дом» представляет собой интеграцию различных систем – от освещения и климат-контроля, до управления бытовыми приборами и безопасности – в единую экосистему. Управление такой связью может осуществляться как вручную, так и автоматически, с использованием голосовых команд, мобильных приложений или заранее заданных событий [1].

Именно с этой целью разработано устройство «Умная школа на микроконтроллере ESP32 с возможностью управления удаленно» для управления некоторыми базовыми функциями школы. Данное устройство имеет большую актуальность в современном мире благодаря развитию технологий и повышению комфорта, безопасности и энергоэффективности.

Разработанное устройство способно выполнять следующие функции:

- автоматическое управление звонками в определенное время;
- автоматическое управление светом на этаже;
- автоматическое управление электрическим замком запасного выхода;
- управление термостатом.

На рис. 1 представлен внешний вид устройства «Умная школа на микроконтроллере ESP32».

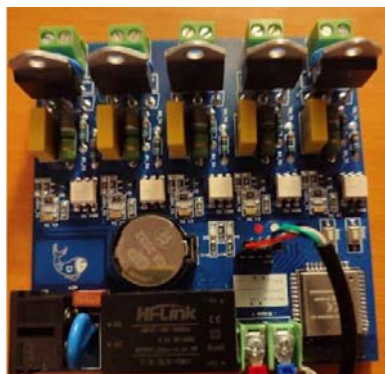


Рис. 1. Устройство «Умная школа на микроконтроллере ESP32 с возможностью управления удаленно»

Основные достоинства разработанного устройства:

- автоматизация процессов и управление освещением;

- удаленный доступ;
- энергоэффективность и экономия;
- безопасность данных;
- дешевизна;
- доступность компонентов;
- быстрота сборки;
- практичность.

В работе выполнено описание структурной и электрической схемы устройства. Собрано само устройство, описаны его функции. Выполнено описание элементной базы устройства. Разработан веб-интерфейс устройства для управления удаленно.

Л и т е р а т у р а

1. Суковатый, А. С. Аппаратно-программное обеспечение учебного макета «умный дом» / А. С. Суковатый, П. А. Торговцов, И. В. Дорощенко // Молодые исследователи – регионам : материалы Междунар. науч. конф. (Вологда, 22 апр. 2025 г.) / Мин-во науки и высш. образования Рос. Федерации ; Правительство Волог. обл., Волог. гос. ун-т. – Вологда : Волог. гос. ун-т, 2025. – С. 414–415.
2. Цифровые интегральные микросхемы / М. И. Богданович, И. Н. Грель, В. А. Прохоренко, В. В. Шалино. – Минск : Беларусь, 1991. – 493 с.
3. Усатенко, С. Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД : справочник / С. Т. Усатенко, Т. К. Каченюк, М. В. Терехова. – М. : Изд-во стандартов, 1989.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА

А. А. Радкевич, С. А. Павлюковец

*Объединенный институт проблем информатики
Национальной академии наук Беларуси, г. Минск*

Рассмотрены вопросы автономной навигации мобильного робота при реализации алгоритма одновременного позиционирования и картирования. Произведены анализ и верификация характеристик лазерного дальномера определенной модели и его влияние на точность построения карты местности, которые позволяют учитывать их при локализации мобильного робота в процессе навигации.

Ключевые слова: лазерный дальномер, автономная навигация, мобильный робот, SLAM.

DETERMINING THE POSITIONING PARAMETERS OF AN AUTONOMOUS MOBILE ROBOT BASED ON THE INFORMATION ANALYSIS AND PROCESSING OF A LIDAR

A. A. Radkevich, S. A. Pavlyukovets

*The United Institute of Informatics Problems of the National Academy
of sciences of Belarus, Minsk*

This paper deals with the autonomous navigation of mobile robots using a simultaneous positioning and mapping algorithm. The characteristics of a specific laser rangefinder and its impact on terrain mapping accuracy are analyzed and verified, allowing these characteristics to be taken into account when localizing the mobile robot during navigation.

Keywords: laser rangefinder (LiDAR), autonomous navigation, mobile robot, SLAM.

В процессе автономной навигации мобильный робот должен получать информацию о расстоянии до объектов через сенсорный модуль, чтобы анализировать внешние данные для реализации SLAM (синхронного позиционирования и картирования) и планирования пути. В качестве сенсоров выступают микроэлектронные устройства: ультразвуковые, лазерные и инфракрасные дальномеры, видеокамеры и прочие. Ведущие позиции для целей навигации занимают лазерные дальномеры – лидары (LiDAR), которые применяются для построения 3D карт местности, обнаружения препятствий и являются основой для алгоритмов SLAM. Современные модели лидаров – компактные, с высоким разрешением, обладают высокой точностью по сравнению с иными сенсорными модулями.

Целью данной работы является исследование характеристик и тестирование лазерного дальномера с интеграцией SLAM и определение их влияния на построение карт местности в операционной системе Robot Operating System (ROS). В качестве датчика LiDAR для целей данного исследования был выбран и протестирован двумерный LiDAR марки RplidarA2, обладающий частотой сканирования 10 Гц и частотой дискретизации 16 кГц.

Процесс позиционирования робота в ROS осуществляется при помощи визуализации карты местности через инструмент rviz. На рис. 1 показана карта позиционирования робота в ROS, на которой положение робота на основании информации от LiDAR отображено роем красных частиц (координат), которые перемещаются вместе с моделью робота при его движении. При сканировании местности LiDAR все частицы сопоставляются с картой и обновляются итеративно. Эти данные локализуются вокруг модели робота и таким образом предоставляют текущую информацию о его положении на карте.

Для тестирования LiDAR RplidarA2 проведено несколько измерений одного и того же угла небольшой площади. Было просканировано линейное препятствие длиной AB в точке O и получен перпендикуляр $OA \perp AB$. Далее получены измеренные значения в диапазоне угла $\angle AOB$ в качестве набора статистических данных выборки, разделены на несколько подинтервалов, подсчитано количество точек данных, попадающих в каждый подинтервал, и результаты отображены в виде гистограммы. В соответствии с функцией распределения вероятностей гауссовского распределения проведена регрессия α – β .

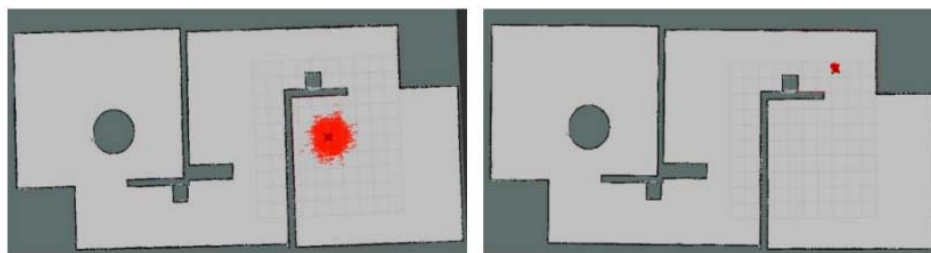


Рис. 1. Позиционирование робота на построенной карте местности в ROS с информацией о его текущем положении от LiDAR

Результат проведенного измерения и полученная гистограмма зависимости угла измерения φ от дальности измерения r показаны на рис. 2. На рис. 2, а представлены результаты одного полного сканирования коридора, где красные точки – искусственно размещенные горизонтальные препятствия. Из рис. 2, б следует, что дальность измерения RplidarA2 в функции угла измерения подчиняется гауссовскому

распределению [1], что доказывает правильность использования гауссова распределения для аппроксимации данных.

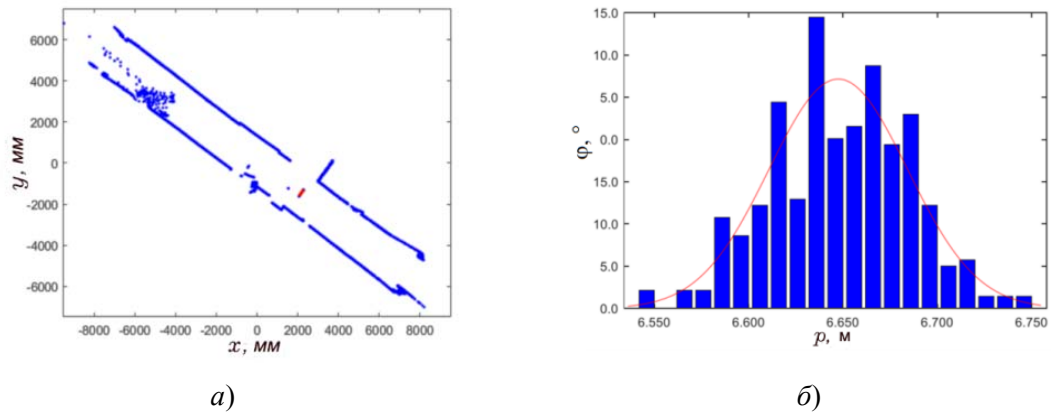


Рис. 2. Результаты тестирования RplidarA2:
 а – карта локализации измерений лидаром $y = f(t)$;
 б – гистограмма распределения угла измерения от дальности $\phi = f(p)$

В соответствии с полученными данными построен график зависимости относительного угла обзора $\sigma = \beta/\alpha$ в функции дальности обзора p методом сплайновой аппроксимации данных, представленный на рис. 3.

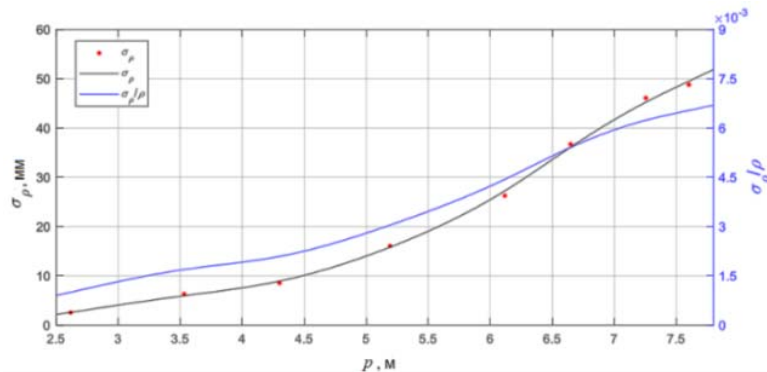


Рис. 3. График зависимости относительного угла обзора RplidarA2 от дальности обзора $\sigma = f(p)$

Из рис. 3 следует, что с увеличением дальности обзора p отношение углов обзора σ значительно увеличивается, что соответствует характеристикам LiDAR. Исходя из гауссовой функции распределения со статистическими значениями гистограммы на рис. 2, б, получим величину стандартного отклонения угла $\sigma = 0,0034$ рад.

Таким образом, на основе анализа основных принципов навигации робота определены принципы и алгоритмы построения карт местности в SLAM, а также экспериментально измерены внутренние параметры LiDAR RplidarA2, которые обеспечивают точную локализацию и позиционирование робота в неопределенной среде.

Литература

1. Real-time navigation of mecanum wheel-based mobile robot in a dynamic environment / A. Imran, S. Maznoor, A. H. Majeed [et al.] // Heliyon. – 2024. – N 10 (5).

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ДЕНДРИТОВ МЕДИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

А. А. Плясункова¹, Е. В. Шматок², И. А. Врублевский²

¹Белорусский государственный университет, г. Минск

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Представлены результаты анализа основных закономерностей формирования пленочных дендритных структур меди методом электрокристаллизации. Показано, что дендритный рост обусловлен совместным действием диффузионных ограничений, приводящих к неустойчивости плоского фронта роста и ускоренному осаждению на выступах, и кристаллографической анизотропии, направляющей рост ветвей вдоль осей $\langle 110 \rangle$. Данные анализа свидетельствуют, что характерный угол ветвления $\varphi = (55 \pm 6)^\circ$. Полученные результаты важны для управляемого синтеза медных наноструктур с развитой поверхностью для применения в электрохимических устройствах хранения энергии.

Ключевые слова: дендриты меди, электрокристаллизация, морфология, дендритный рост, угол ветвления.

ANALYSIS OF THE REGULARITIES OF THE FORMATION OF COPPER FILM DENDRITES BY THE ELECTROCRYSTALLIZATION METHOD

A. A. Pliasunkova¹, Y. V. Shmatok², I. A. Vrublevsky²

¹Belarusian State University, Minsk

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

This work presents an analysis of the formation mechanisms of thin-film copper dendrites obtained by electrocrystallization. It is shown that dendritic growth is caused by the combined action of diffusion limitations, leading to the instability of the flat growth front and accelerated deposition on protrusions, and crystallographic anisotropy, which directs branch growth along the $\langle 110 \rangle$ axes. The characteristic branching angle of $\varphi = (55 \pm 6)^\circ$ was measured. The obtained results are important for the targeted synthesis of copper nanostructures with a developed surface for application in electrochemical energy storage devices.

Keywords: copper dendrites, electrocrystallization, morphology, dendritic growth, branching angle.

Современные материаловедение и нанотехнологии демонстрируют устойчивый интерес к наноструктурам различной морфологии, поскольку их функциональные свойства в значительной степени определяются именно геометрией и развитостью поверхности [1]. Среди многообразия структур микро- и наноразмеров особое место занимают дендритные структуры, характеризующиеся большой удельной поверхностью и иерархическим строением. В частности, пленочные дендриты меди представляют собой перспективный материал для применения в суперконденсаторах, батареях благодаря сочетанию высокой электропроводности меди и развитой поверхности дендритов, обеспечивающей эффективный перенос заряда и большое число активных центров.

Пленки меди с дендритной структурой формируются в процессе электрокристаллизации при электрохимическом осаждении. Целью данной работы является анализ основных закономерностей роста и морфологии пленочных дендритов меди,

формируемых методом электрокристаллизации.

Дендриты меди представляют собой классическую иерархическую фракталоподобную структуру. Она состоит из первичного ствола, который является главной осью роста. От этого ствола под определенными углами ответвляются ветви первого порядка, которые, в свою очередь, служат основой для ветвей последующих порядков.

Одной из основных причин дендритного роста считается неоднородное осаждение ионов Cu^{2+} на поверхности растущего кристалла. Ионы преимущественно осаждаются на участках с повышенной энергией поверхности, таких как ребра, вершины и дефекты, что приводит к ускоренному росту этих зон по сравнению с плоскими гранями.

В условиях электролиза на формирование структуры дендритов также оказывает влияние особенности массопереноса. На начальной стадии, вблизи центров нуклеации на катоде, формируется зона, обедненная ионами Cu^{2+} . По мере роста зародышей, на выступах происходит усиление электрического поля и, как следствие, более интенсивный подвод ионов. Это приводит к «прорыву» зоны диффузионного обеднения именно на этих выступах, что обеспечивает их активный рост.

Важной морфологической особенностью, подтверждающей кристаллографическую обусловленность роста, является угол между основным стволом и боковыми ветвями. Экспериментально установлено, что этот угол является практически постоянным и составляет, согласно измерениям, $\varphi = (55 \pm 6)^\circ$ (рис. 1). Подобные результаты были получены в [2]. Данное значение следует из кристаллографии ГЦК-решетки меди и указывает на то, что как основной ствол, так и все ветви различного порядка растут в идентичных кристаллографических направлениях $\langle 110 \rangle$. Аналогичные результаты были получены в [3]. Результаты анализа этих данных показывают, что вся сложная архитектура дендрита формируется в строго выделенных направлениях, а его пространственная конфигурация (рост вверх и в стороны) является следствием конкурентного роста множества таких ориентированных ветвей в условиях диффузионных ограничений и градиентов концентрации.

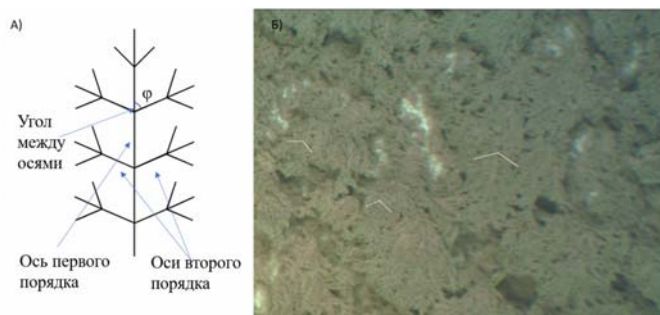


Рис. 1. Дендрит:

а – схематичное изображение дендрита;
б – оптическое фото дендритов

В работе проведен анализ основных закономерностей формирования пленочных дендритов меди методом электрокристаллизации при их электрохимическом осаждении. Показано, что основной причиной дендритного роста является эффект, сочетающий предпочтительный рост в направлениях $\langle 110 \rangle$ и диффузионные ограничения, приводящие к неустойчивости плоского фронта роста и «прорыву» зоны обеднения на выступах. Результаты анализа свидетельствуют, что иерархическая

морфология дендритов, характеризующаяся постоянным углом ветвления $\sim 60^\circ$, что является прямым следствием их кристаллической структуры.

Литература

1. H. Shen, F. Wang, Y. Ding and J. Yang. Electrodeposition Process for the Fabrication of Copper Dendrites Film with Stable Superhydrophobicity.
2. P. Wanga, D. Zhanga, R. Qiu. Extreme wettability due to dendritic copper nanostructure via electrodeposition.
3. J. Xue, W. Liang, X. Liu, Q. Shenb and B. Xu. Crystallization behavior and formation mechanism of dendrite Cu₂O crystals.

ОЦЕНКА МЕЖДЕНДРИТНЫХ ПУСТОТ ДЕНДРИТОВ МЕДИ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОКРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРА AREA FRACTION

А. А. Плясункова¹, Е. В. Шматок², И. А. Врублевский²

¹Белорусский государственный университет, г. Минск

²Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск

Дендриты меди обладают высокой удельной поверхностью, что делает их перспективным материалом в качестве катодов для применения в накопителях энергии. В данной работе представлены результаты анализа морфологии дендритов меди, полученных методом электроосаждения. Для количественной оценки формируемых пустот использовалось программное обеспечение ImageJ, с помощью которого по оптическому изображению была рассчитана площадь междендритных пустот и общая площадь дендритов. Для параметра area fraction получено значение, равное $\alpha = 25,6 \%$, которое обеспечивает количественное описание морфологии поверхности.

Ключевые слова: дендриты меди, электроосаждение, анализ изображений.

ESTIMATION OF INTERDENDRAL HOLES IN COPPER DENDRITES OBTAINED BY ELECTROCRYSTALLIZATION USING THE AREA FRACTION PARAMETER

A. A. Pliasunkova¹, Y. V. Shmatok², I. A. Vrublevsky²

¹Belarusian State University, Minsk

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

Metal dendritic structures possess a high specific surface area, making them promising materials for use in energy storage systems. In this study, a morphological analysis was conducted on copper dendrites obtained via electrodeposition. To quantitatively assess porosity, ImageJ software was used to process optical images of the structures. The pore area and total image area were calculated based on binary image analysis. As a result, the area fraction parameter was determined to be $\alpha = 25.6 \%$, which provides a quantitative description of the surface morphology.

Keywords: copper dendrites, electrodeposition, image analysis.

В настоящее время дендриты меди рассматриваются как перспективные материалы для создания энергонакопителей благодаря их высокой удельной поверхности, способствующей интенсификации электрохимических процессов [1]. При этом существует взаимосвязь между свойствами таких структур и морфологией их поверхности. Для того, чтобы охарактеризовать морфологию поверхности, могут ис-

пользоваться различные параметры, среди них – area fraction (отношение площади пустот к общей площади фрагмента образца).

В данной работе исследовалась структура дендритов меди, полученных электролитическим осаждением (рис. 1, *а*). Анализ структуры был проведен по его оптическому изображению с использованием программного обеспечения ImageJ. Для получения оптического изображения использовался микроскоп ОМ Nikon Eclipse L200N. Анализ изображения проводился по следующему алгоритму: изображение было конвертировано в восьмибитный формат, его контрастность была увеличена. После этого были установлены такие значения параметра threshold (пороговое значение), при которых белым цветом выделены поры, а черным – область твердого тела (рис. 1, *б*). Была измерена площадь пор и площадь всего изображения, а также найдено значение Area Fraction, равное $\alpha = 25,6 \%$.

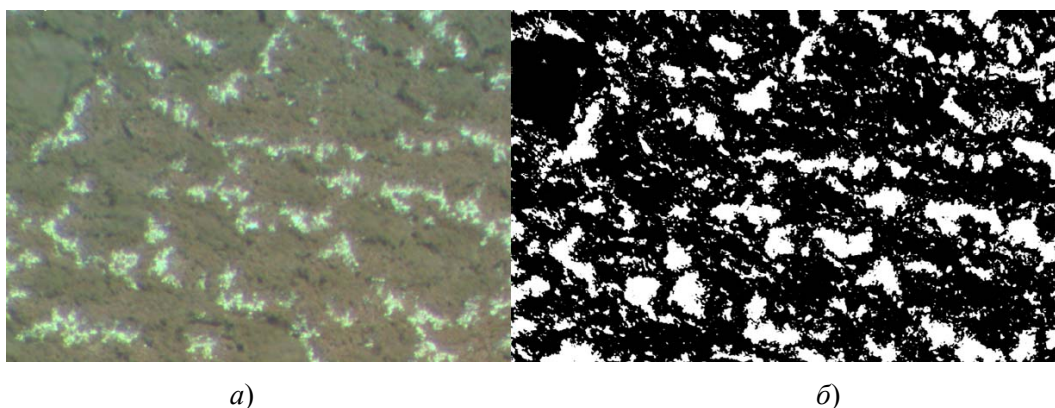


Рис. 1. Снимки в оптическом микроскопе поверхности дендритов меди:
а – оптическое фото; *б* – бинарный отпечаток дендритной структуры в ImageJ

Для анализа дендритов меди по снимкам поверхности предложено использовать программное обеспечение ImageJ, с помощью которого по оптическому изображению была рассчитана площадь междендритных пустот и общая площадь дендритов. По бинарному изображению, полученному в ImageJ, было определено значение параметра area fraction, равное $\alpha = 25,6 \%$, что позволило количественно описать образуемые междендритные пустоты.

Литература

1. Samson Temitayo Olatunde. Dendrite formation in electrochemical energy storage systems, 2022.
2. Tiago Ferreira, Wayne Rasband. ImageJ User Guide.

БЕСПИЛОТНАЯ ТЕЛЕЖКА ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

М. Д. Тарасевич, Л. И. Вабищевич

Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь

Рассмотрена система автоматического управления беспилотной тележкой на основе программируемого логического контроллера, а также рассматривается структурная схема системы, схема тележки с ультразвуковыми датчиками.

Ключевые слова: беспилотная тележка, программируемый логический контроллер, система автоматического управления, ультразвуковой датчик.

PLC-CONTROLLED UNMANNED CARRIAGE

M. D. Tarasevich, L. I. Vabishchevich

Brest State Technical University, Republic of Belarus

This paper examines an automatic control system for an unmanned vehicle based on a programmable logic controller (PLC). The system's structural diagram and the layout of the vehicle with ultrasonic sensors are presented.

Keywords: unmanned vehicle, programmable logic controller, automatic control system, ultrasonic sensor.

Беспилотные транспортные средства последние 20 лет занимают большую нишу в технологическом прогрессе человечества. В последнее время мы можем наблюдать растущий интерес среди ученых и производителей к беспилотному транспорту, способному перемещаться по дорогам без участия человека. Особое место в развитии беспилотного транспорта занимают беспилотные тележки.

Роботы – это физические агенты, которые выполняют поставленные перед ними задачи, проводя манипуляции в физическом мире. В настоящее время все больший интерес вызывает мобильная робототехника – область робототехники, где роботы автономны и могут самостоятельно выполнять широкий спектр разных задач от исследования состояния окружающей среды до экскурсоводческой деятельности. Автоматическое управление данными роботами является сложной технической задачей. Существует множество способов управления роботами и роботизированными системами, наиболее востребованным является интеллектуальное управление.

Интеллектуальное управление является наивысшей ступенью управления в теории автоматического управления после программного и адаптивного.

Добавление же систем технического зрения и распознавания объектов расширяет рабочие возможности робототехнической системы и переводит их на новый уровень автоматизации и универсализации процессов, повышая производительность и точность. Так, среднее время реакции человека на принятие решения (от момента фиксации объекта до момента начала выполнения действия) составляет 1,5–2 секунды, роботу может потребоваться на это не более 0,5 секунды, поскольку он не концентрируется на конкретном объекте, а анализирует ситуацию в целом, принимая решения заранее.

Беспилотная тележка (AGV – Automatic guided vehicle) – транспортер с электроприводом, предназначенный для перемещения грузов. Тележка автоматическая, следовательно, для управления тележкой не требуется отдельный оператор – они движутся по заданной траектории в автоматическом режиме без участия человека [1, 2].

Рассмотрим структурную схему системы автоматического управления (рис. 1).

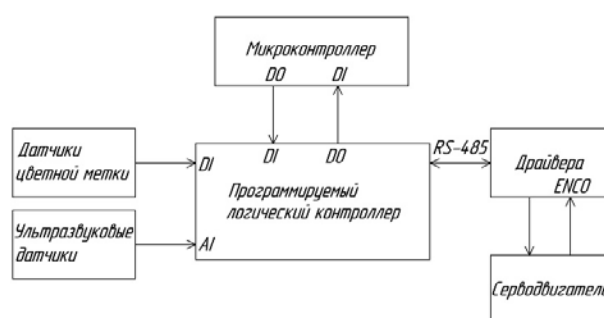


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического управления

Микроконтроллер, связанный с сервером склада, подает дискретные сигналы на программируемый логический контроллер (ПЛК), и получает дискретные сигналы обратной связи. ПЛК связан с драйверами серводвигателей по интерфейсу RS-485. Обратная связь осуществляется при помощи встроенных в серводвигатели энкодеров (датчиков угла поворота). Также к ПЛК подключены датчики цветной метки и ультразвуковые датчики.

В соответствии с алгоритмом системы автоматического управления при обнаружении препятствия беспилотная тележка снизит скорость, либо остановится. Для этого на бампере беспилотной тележки с двух сторон расположены ультразвуковые датчики (рис. 2).



Рис. 2. Схема тележки с ультразвуковыми датчиками

В целом следует резюмировать, что беспилотный транспорт представляет собой инновационную и перспективную область развития, однако для его успешного внедрения необходимо решить ряд существующих проблем и вызовов. Работа над улучшением безопасности, разработка новых типов управления позволит создать благоприятные условия для развития беспилотного транспорта и его успешного использования в различных отраслях экономики.

Л и т е р а т у р а

1. Патент на полезную модель BY 12995, Респ. Беларусь, МПК G01C21/04. Устройство ориентации и навигации тележки мобильного робота при его перемещении по горизонтальной поверхности в заданном помещении / Шуть В. Н., Ляшук Н. У., Колядич И. В., Василюк Е. В., Заречный Я. О., Заречный А. О., Монтик Н. С., Бойко А. В., Николайчик И. С. ; заявитель и патентообладатель ООО «Фина».
2. Патент BY 13516, Респ. Беларусь, МПК G01C21/04. Устройство ориентации и навигации тележки мобильного робота при его перемещении по горизонтальной поверхности в заданном помещении / Шуть В. Н., Василюк Е. В., Туз И. С., Тарасевич М. Д., Швецова Е. В. ; заявитель и патентообладатель Брест. гос. техн. ун-т.

РАЗРАБОТКА USB-НАКОПИТЕЛЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ WI-FI ДОСТУПА

П. В. Травничева, К. А. Нестерович

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Республика Беларусь*

Рассмотрен процесс проектирования и реализации многофункционального USB-накопителя, способного работать как в режиме классического флеш-устройства, так и в режиме беспроводного доступа к данным по Wi-Fi. Основное внимание уделено вопросам аппаратной реализации, программной архитектуры и организации переключения режимов работы.

Ключевые слова: ESP32-S3, Wi-Fi, SD-MMC, ESP-IDF, веб-сервер.

DEVELOPMENT OF A USB DRIVE WITH WI-FI ACCESS CAPABILITY

P. V. Travnicheva, K. A. Nesterovich

Vitebsk state university named after P. M. Masherov, Republic of Belarus

The paper discusses the design and implementation of a multifunctional USB storage device capable of operating both as a traditional flash drive and as a wireless data access device via Wi-Fi. The main attention is paid to hardware implementation, software architecture, and the organization of mode switching.

Keywords: ESP32-S3, Wi-Fi, SD-MMC, ESP-IDF, web-server.

В современных условиях цифровизации все большее значение приобретают мобильные и автономные устройства хранения информации. Обычные USB-накопители обеспечивают высокую скорость обмена, но ограничены физическим подключением. В то же время облачные хранилища требуют постоянного интернет-доступа и зависят от внешней инфраструктуры. Поэтому актуальной задачей является создание компактного накопителя, совмещающего оба подхода – возможность локального обмена данными через USB и беспроводного доступа по Wi-Fi без подключения к внешним сетям. Такое решение особенно востребовано в промышленной автоматике, где требуется быстрое обновление и диагностика файловых данных оборудования.

Цель работы заключалась в разработке компактного универсального накопителя, способного функционировать как стандартная USB-флешка и как автономный Wi-Fi сервер для обмена файлами.

Методика проектирования включала три основных этапа:

1. Аппаратное проектирование. В качестве основной вычислительной платформы выбран микроконтроллер ESP32-S3 [1], обладающий встроенными интерфейсами USB OTG и Wi-Fi 2.4 ГГц. Для хранения данных использовалась SD-карта, подключенная по SD-MMC интерфейсу, обеспечивающему высокую скорость чтения и записи. Также реализована схема выбора режима работы – USB или Wi-Fi – в зависимости от состояния подключений и команд пользователя;

2. Программная реализация. Разработка программной части выполнена с использованием среды ESP-IDF [2], предоставляющей низкоуровневый доступ к периферии и сетевым стекам. В режиме USB Mass Storage микроконтроллер эмулирует съемный диск, предоставляя компьютеру прямой доступ к файлам SD-карты. В режиме Wi-Fi устройство поднимает точку доступа и веб-сервер, реализованный на основе HTTP-сервиса ESP-IDF. Через встроенный веб-интерфейс пользователь может просматривать содержимое SD-карты, загружать, удалять, переименовывать просматривать файлы и папки;

3. Тестирование и оценка результатов. Проведено экспериментальное тестирование работы накопителя при переключении режимов. Проверена корректность монтирования устройства в операционных системах Windows 7/10/11, Linux, MacOS, а также стабильность передачи данных по Wi-Fi. Средняя скорость обмена через USB составила до 1.5 МБ/с, а при работе через Wi-Fi – до 3 МБ/с, что соответствует типичным значениям для встроенных систем на ESP32. В процессе испытаний подтверждена корректность работы файловой системы FAT32 [3] при динамическом отключении и подключении, а также надежность механизма переключения режимов без повреждения данных.

Полученные результаты показывают, что использование микроконтроллера ESP32-S3 позволяет реализовать двухрежимное устройство хранения с минимальными аппаратными затратами и гибкой программной архитектурой. Такое решение может применяться в промышленном оборудовании, станках и стойках с ЧПУ и системах обмена технологической информацией.

Разработан функциональный прототип USB Wi-Fi накопителя, сочетающий преимущества традиционных и облачных способов хранения данных. Реализованная архитектура демонстрирует возможность создания компактных и надежных систем локального и удаленного доступа без использования сторонних сервисов. Перспективным направлением дальнейших исследований является оптимизация скорости чтения и записи информации.

Литература

1. «Espressif Systems. ESP32-S3 Technical Reference Manual». – URL: <https://www.espressif.com/-en/support/documents/technical-documents> (дата обращения: 11.10.2025).
2. «Espressif Systems. ESP-IDF Programming Guide». – URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf> (дата обращения: 12.10.2025).
3. «FatFs – Generic FAT Filesystem Module». – URL: <https://elm-chan.org/fsw/ff/> (дата обращения: 12.10.2025).

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ К СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А. П. Макаева, О. Н. Шишова

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

Цель исследования – выделить основные методы многокритериальной оптимизации и обосновать их ведущую роль в теории и практике принятия решений применительно к задаче структурной оптимизации технологических процессов. На основе анализа научной литературы и примера из статьи Кляус и Жолобова рассмотрены метод главного критерия, метод свертывания критериев, метод последовательных уступок, метод Парето-оптимальности и методы, основанные на функции полезности. Показано, что их универсальность и простота применения обеспечивают фундаментальное значение для инженерных задач. Использование данных подходов при выборе технологических схем обработки отверстий позволяет учитывать как производительность, так и энергозатраты, а также формализовать экспертные предпочтения.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, метод главного критерия, метод свертывания критериев, метод последовательных уступок, Парето-оптимальность, компенсаторные методы.

BASIC METHODS OF MULTICRITERIA OPTIMIZATION AND THEIR APPLICATION TO STRUCTURAL OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

A. P. Makayeva, O. N. Shishova

Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus

The purpose of this study is to identify the main methods of multi-criteria optimization and to justify their leading role in the theory and practice of decision-making in relation to the problem of structural optimization of technological processes. Based on an analysis of scientific literature and an example from the article by Klyaus and Zholobov, the main criterion method, the method of

criterion reduction, the method of successive concessions, the Pareto-optimal method, and methods based on the utility function are discussed. It is shown that their versatility and ease of application make them fundamental for engineering problems. The use of these approaches in the selection of technological schemes for processing holes allows for the consideration of both productivity and energy consumption, as well as the formalization of expert preferences.

Keywords: multi-criteria optimization, main criterion method, criterion reduction method, sequential compromise method, Pareto optimality, compensatory methods.

Современные задачи оптимизации в науке и технике характеризуются множественностью и противоречивостью критериев. В таких областях, как машиностроение, энергетика и экономика, инженер сталкивается с необходимостью не только минимизировать затраты времени и ресурсов, но и обеспечивать требуемые параметры качества продукции. Эти задачи относятся к классу многокритериальной оптимизации, который активно развивается в последние десятилетия.

Особую важность приобретают методы, позволяющие учитывать разнонаправленные цели и находить компромиссные решения. Среди наиболее эффективных и востребованных подходов выделяются метод главного критерия, метод свертывания критериев, метод последовательных уступок, метод Парето-оптимальности и метод анализа иерархий. Их актуальность наглядно демонстрируется на примере исследования Кляус и Жолобова [1], где данные методы находят практическое применение при структурной оптимизации технологических процессов.

Метод главного критерия применяется при доминировании одного показателя, например, времени обработки, что позволяет свести задачу к однокритериальной оптимизации. В исследовании [1] данный метод реализуется через минимизацию основного времени T_0 и при ограничении по энергозатратам A .

Метод свертывания критериев наиболее близок к подходу, предложенному авторами. Комплексный показатель $K = T_0 + A$ представляет собой линейную свертку разнородных критериев, формализующую многокритериальную задачу в виде единой целевой функции. Это обеспечивает простоту применения и совместимость с традиционными алгоритмами оптимизации [2].

Метод последовательных уступок используется при конфликте критериев, например, времени и энергозатрат. Он позволяет поэтапно вводить ограничения по одному показателю и минимизировать другой, что обеспечивает выбор компромиссного технологического решения [2].

Метод Парето-оптимальности формирует множество недоминируемых решений, выявляя все рациональные варианты технологии по критериям T_0 и A . Это особенно важно при равнозначности критериев или невозможности заранее определить приоритеты [3].

Методы, основанные на функции полезности (компенсаторные методы) позволяют учитывать взаимную компенсацию критериев через агрегирующие функции. В задаче оптимизации обработки отверстий они обеспечивают интегральную оценку эффективности, ранжируя альтернативы по балансу производительности и энергоэффективности.

В задаче, рассмотренной Кляус и Жолобовым, компенсаторные методы могут быть использованы для объединения показателей времени обработки и энергозатрат в единую интегральную оценку эффективности технологического процесса. Это позволяет ранжировать альтернативные варианты обработки отверстий по степени их предпочтительности и выбирать решение, обеспечивающее наилучший баланс между производительностью и энергоэффективностью.

Проведенный анализ подтверждает, что подход, примененный Кляус и Жолобовым для структурной оптимизации процесса формирования отверстий, основан на эффективном комбинировании классических методов многокритериальной оптимизации. Ключевая идея реализована через метод свертывания критериев с использованием комплексного показателя $To + A$, что позволяет свести задачу к однокритериальной. Данный подход концептуально соответствует компенсаторным методам, допуская взаимный учет времени обработки и энергозатрат, а его реализация поддерживается принципами Парето-оптимальности для выделения рациональных альтернатив и методом последовательных уступок для согласования противоречивых требований. Таким образом, комбинация этих методов обеспечивает формализацию выбора и объективную оценку технологических решений.

Литература

1. Кляус, О. Н. Структурная оптимизация процесса формирования отверстий лезвийным инструментом / О. Н. Кляус, А. А. Жолобов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 2 (79). – С. 34–43.
2. Михалевич, В. С. Методы многокритериальной оптимизации / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович, В. А. Топчий. – М. : Наука, 2010. – 312 с.
3. Воробьев, А. И. Многокритериальная оптимизация и принятие решений / А. И. Воробьев. – М. : Физматлит, 2008. – 256 с.

ИЗМЕРЕНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ

А. В. Шилов, А. Б. Сотский

*Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова,
Республика Беларусь*

Приведены результаты измерений угловых распределений интенсивности рассеянного поля, возникающего в результате поперечной дифракции гауссова пучка на фотонно-кристаллическом волокне. Представлен макет экспериментальной установки для детектирования указанных распределений. Полученные зависимости сопоставлены с результатами численного решения дифракционной задачи методом функций Грина.

Ключевые слова: поперечная дифракция, гауссов пучок, фотонно-кристаллическое волокно, метод функций Грина.

MEASUREMENT OF DIFFRACTION FIELDS IN OPTICAL WAVEGUIDES

A. V. Shilov, A. B. Sotsky

Mogilev State A. Kuleshov University, Republic of Belarus

This paper presents results of measurements of the angular distributions of the scattered field intensity arising as result of the lateral diffraction of the Gaussian beam on a photonic-crystal fiber. An experimental setup is demonstrated. The obtained dependences are compared with the results of a numerical solution of the diffraction problem using the Green's function method.

Keywords: transverse diffraction, Gaussian light beams, microstructured fiber, photonic crystal fiber, Green's function method.

На сегодняшний день интенсивно проводятся исследования, связанные с разработкой фотонно-кристаллических сенсоров параметров сред [1]. На работу таких

сенсоров существенно влияет отклонение геометрии реального фотонно-кристаллического волокна (ФКВ) от теоретической модели. В работе представлена экспериментальная реализация метода контроля параметров ФКВ, предложенного в [2]. Исследованы дифракционные поля, возникающие при поперечной дифракции на ФКВ гауссова пучка.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1, а. Она включает одномодовый He–Ne лазер 1, излучающий гауссов пучок круговой поляризации, поляризатор А и анализатор П 2, микрообъектив 3, поворотный столик 4, гониометр 5, линейку фотоприемников 6. Столик 4 предназначен для закрепления исследуемого ФКВ и содержит микровинт, позволяющий менять положение оси ФКВ относительно оси пучка. Система поляризатор-анализатор 2 служит для задания поляризации пучка (ТЕ- или ТМ), а также для изменения интенсивности пучка.

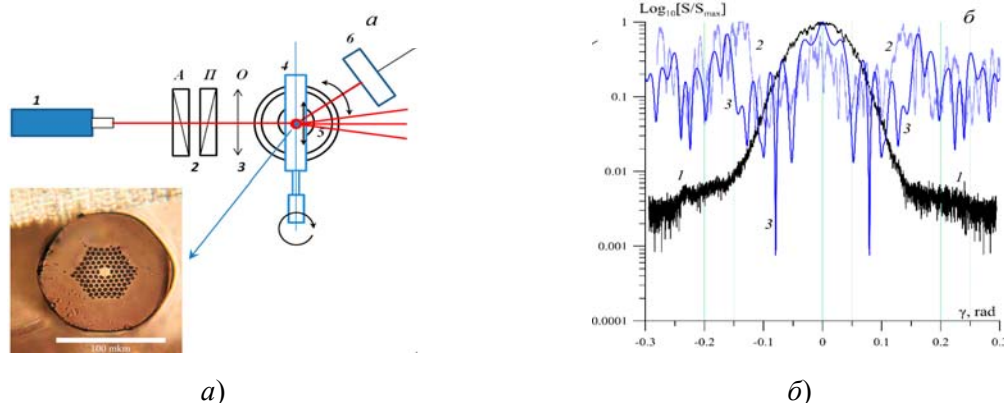


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (а), измеренные угловые распределения интенсивности падающего гауссова пучка в перетяжке (1), пучка, рассеянного на ФКВ (2) и рассчитанное распределение интенсивности дифракционного поля (3). На вставке – снимок среза исследованного ФКВ

Ключевыми элементами измерительной схемы являются гониометр ГС-5, позволяющий прецизионно устанавливать углы ориентации волокна относительно оси падающего пучка и матрица фотоприемников, закрепленная на оси вращения гониометра. Матрица находится в специальной каретке с возможностью перемещения вдоль направляющего плеча, что позволяет поворачивать плоскость матрицы в диапазоне углов обратного рассеивания от 0° до 135° . Фокусное расстояние объектива равно $9,6 \text{ mm}$. Радиус сфокусированного пучка в перетяжке $w = 4,3 \text{ }\mu\text{m}$. Это значение было определено предварительно из распределения интенсивности дальнего поля пучка. Измерение интенсивности осуществлялось линейкой фотоприемников Hamamatsu S13496 с расстоянием между соседними пикселями $7 \text{ }\mu\text{m}$. Перетяжка пучка, прошедшего объектив совмещалась с центром ФКВ. Измеренные и рассчитанные методом функций Грина [2] угловые распределения интенсивности рассеянного поля гауссова пучка ТМ-поляризации для кварцевого ФКВ, изготовленного в оптическом центре “Centro de Investigaciones en Optica” (Leon, Mexico), приведены на рис.1б. При расчетах использована модель регулярного ФКВ со средним периодом гексагональной решетки $\Lambda = 5,65 \text{ }\mu\text{m}$ и средним диаметром воздушных каналов $d = 3,9 \text{ }\mu\text{m}$, определенными по фотографии поперечного среза ФКВ (рис. 1, а).

Согласно рис. 1, б, распределение рассеянного поля в дальней зоне имеет сложный характер в отличие от распределения гауссова пучка в свободном пространстве. Следует отметить качественное согласие эксперимента и теории в поведении рас-

пределений нормированного вектора Пойнтинга $S/S_{\max}$. Для получения более близкого согласия теории и эксперимента необходимо уточнить теоретическую модель с учетом разброса диаметров воздушных каналов ФКВ.

Представлен макет экспериментальной установки для детектирования угловых распределений рассеянного поля в дальней зоне, возникающего в результате дифракции светового гауссова пучка на микроструктурном волокне при его поперечном освещении. Полученные зависимости сопоставлены с результатами численного решения дифракционной задачи методом функций Грина.

Литература

1. Lossy mode resonances in photonic crystal fibers / M. S. Sicacha [et al.] // Journal of the European Optical Society. – 2021. – Vol. 17, № 24. – P. 1–12.
2. Сотский, А. Б. Дифракция светового пучка на микроструктурном волокне / А. Б. Сотский, О. А. Бельская, Л. И. Сотская // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 1. – С. 11–19.

РАЗРАБОТКА ЕМКОСТНОЙ ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ARDUINO UNO

С. Р. Киселев, Н. В. Вабищевич

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

Представлена разработка прототипа емкостной панели управления на базе платформы Arduino Uno, включающая в себя несколько сенсорных зон и оснащенная системой автономного питания и системой помехоустойчивости, а также встроенным программным обеспечением. Практическая значимость устройства обусловлена возможностью его использования в образовательных программах учебных дисциплин инженерно-технического профиля.

Ключевые слова: Arduino Uno, емкостный сенсор, радиомодуль nRF24L01, Python.

DEVELOPMENT OF A CAPACITIVE CONTROL PANEL BASED ON ARDUINO UNO

S. R. Kiselev, N. V. Vabishchevich

*Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk, Novopolotsk,
Republic of Belarus*

This paper presents the development of a prototype capacitive control panel based on the Arduino Uno platform. It includes several touch zones and is equipped with a self-contained power supply, noise immunity, and embedded software. The practical significance of the device lies in its potential use in educational programs for engineering and technical disciplines.

Keywords: Arduino Uno, capacitive sensor, nRF24L01 radio module, Python.

В настоящее время емкостные сенсоры, действие которых основано на изменении электрической емкости проводников при касании их телом человека, являются одним из наиболее востребованных направлений развития интерфейсов взаимодействия человека и техники и широко применяются в электронике, медицине, робототехнике, автомобильной отрасли и т. д. [1]. При этом усилия исследователей и инженеров направлены на разработку достаточно дешевых, компактных и автономных устройств, которые возможно использовать как в реальных технических устройствах, так и в образовательных проектах.

Цель настоящей работы состояла в разработке прототипа емкостной панели управления на базе платформы Arduino Uno, включающей в себя несколько сенсорных зон и оснащенной системой автономного питания, системой помехоустойчивости и встроенным программным обеспечением (ПО) анализа и обработки экспериментальных данных.

В настоящей работе для создания прототипа емкостной панели управления использовалась платформа Arduino Uno [2, 3].

Каждый сенсорный элемент конструкции представляет собой трехслойную структуру: медный электрод, изолирующий слой бумаги и экранирующий слой.

Принцип работы каждого сенсора реализован на базе библиотеки CapacitiveSensor и заключается в методе емкостного заряда и разряда. Емкость системы изменяется при приближении руки человека к поверхности сенсора, что воспринимается системой как добавление параллельно подключенного конденсатора и приводит к заметному росту времени разряда, фиксируемого микроконтроллером, чем и регистрируется факт взаимодействия.

Аппаратными компонентами системы беспроводной связи и питания, обеспечивающими ее автономность и беспроводное взаимодействие являются радиомодуль nRF24L01+ и система на базе аккумулятора и повышающего преобразователя. Модуль подключается к микроконтроллеру через интерфейс SPI и два цифровых вывода для управления [2, 3].

Основой системы автономного питания в разработанном устройстве являлся литий-ионный аккумулятор формата 18650 с номинальным напряжением 3,7 В и емкостью 2500 мА · ч. Для получения стабильного напряжения +5 В, необходимого для питания платы Arduino Uno, применялся повышающий импульсный преобразователь на микросхеме MT3608.

Проблема обеспечения устойчивости показаний емкостных сенсоров к помехам в настоящей работе решалась комплексно в сочетании аппаратных методов (подключение сенсоров к плате в устройстве экранированным кабелем и заземление, при котором все экранирующие элементы объединены в единственную точку, которая подключена к земляной шине (GND) Arduino по схеме «звезда») и экранирования с программными алгоритмами фильтрации и буферизации данных. К аппаратному экранированию относятся:

Встроенное программное обеспечение написано на языке C++ в среде Arduino IDE с использованием ключевых библиотек: CapacitiveSensor.h для работы с емкостными датчиками, RF24.h для управления трансивером nRF24L01+ и SPI.h для реализации низкоуровневого интерфейса связи с радиомодулем. ПО передатчика реализует быстрое стартовое конфигурирование системы, высокую помехоустойчивость при распознавании приближения руки и энергоэффективную беспроводную передачу данных, используя аппаратный интерфейс SPI для высокоскоростного обмена данными с радиомодулем. ПО приемника стороны представляет собой систему, способную детектировать факт однократного касания и анализировать сложные жестовые комбинации.

Для визуализации данных, поступающих с сенсорной панели, диагностики системы и анализа ее работы в реальном времени на языке Python было разработано специализированное кроссплатформенное приложение. Интерфейс приложения интуитивно понятен и разделен на несколько логических областей. Техническая реализация приложения использует библиотеки pyserial для связи с Arduino, tkinter для создания GUI и matplotlib для построения графиков.

Для оценки надежности работы устройства проводились экспериментальные испытания, направленные на оценку основных характеристик системы: чувствительности и помехоустойчивости сенсоров, эффективности экранирования, а также проверку работоспособности всего комплекса в режиме управления внешним устройством.

вом. Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность всех компонентов системы, эффективность примененных решений по экранированию и помехозащищенности, а также продемонстрировали возможность применения разработки для бесконтактного управления.

В результате выполнения проекта разработан прототип сенсорной панели с тремя емкостными зонами, в которой реализована индивидуальная калибровка каждого канала, оснащенная системой автономного питания, системой помехоустойчивости и встроенным программным обеспечением. Результаты проведенных в работе экспериментальных испытаний разработанного устройства свидетельствуют о его достаточной надежности и готовности для конечного применения как в реальных технических устройствах, так и для внедрения инновационных методов и технологий в образовательный процесс для демонстрации принципов емкостного взаимодействия и проектирования человеко-машинных интерфейсов.

Л и т е р а т у р а

1. Емкостные датчики: принцип работы, виды, применение. – URL: <https://leuze.ru/emkostnye-datchiki> (дата обращения: 16.09.2025).
2. Петин, В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2021. – 560 с.
3. Подключение к Arduino радиочастотного модуля nRF24L01: схема и программа. – URL: <https://microkontroller.ru/arduino-projects/kak-rabotaet-modul-nrf24l01-i-kak-ego-podklyuchit-k-arduino/> (дата обращения: 16.09.2025).

РАЗРАБОТКА УДАЛЕННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

И. Е. Монархович, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Предложено использовать применяемую на Белорусской железной дороге систему централизованного мониторинга Zabbix для контроля состояния электрооборудования с использованием сверточных нейронных сетей.

Ключевые слова: система электроснабжения, мониторинг, сверточные нейронные сети.

DEVELOPMENT OF A REMOTE MONITORING AND DIAGNOSTICS SYSTEM FOR RAILWAY POWER SUPPLY SYSTEM ELECTRICAL INSTALLATIONS USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

I. E. Monarkhovich, V. N. Galushko, I. L. Gromiko

Belarusian State University of Transport, Gomel

It is proposed to use the Zabbix centralized monitoring system, currently used by Belarusian Railways, to monitor the condition of electrical equipment using convolutional neural networks.

Keywords: power supply system, monitoring, convolutional neural networks.

Современные системы электроснабжения и высокотехнологичные электроустановки часто требуют непрерывного контроля работоспособного состояния, особенно в критически важных инфраструктурах, таких как железнодорожный транспорт. На

Белорусской железной дороге уже применяется система централизованного мониторинга Zabbix, которая обеспечивает сбор, хранение и визуализацию данных о работе оборудования. Однако, как показал анализ [1, 2], классические методы мониторинга не всегда позволяют выявлять скрытые дефекты на ранних стадиях. В мировой практике все чаще применяются сверточные нейронные сети (СНС) для анализа сигналов, изображений и временных рядов, что дает возможность автоматизировать диагностику и повысить точность прогнозирования отказов.

Концепция предлагаемого решения. Предлагается интегрировать уже обученную модель СНС в инфраструктуру Zabbix [3] с использованием мини-ПК в качестве локального узла диагностики. Реализация предложенного метода диагностики неисправностей обмоток трансформаторов и асинхронных двигателей включает следующие элементы:

- мини-ПК (Raspberry Pi 4 или Intel NUC) с установленным Zabbix Agent;
- развернутую на мини-ПК обученную модель СНС, способную анализировать входные данные (сигналы, спектры, изображения);
- локальное логирование результатов анализа: при обнаружении аномалии модель формирует запись в лог-файле;
- автоматическую передачу этих записей на центральный Zabbix Server через Zabbix Agent, где они становятся частью общего мониторинга.

Такой подход позволяет: снизить нагрузку на центральный сервер за счет локальной предобработки; работать в условиях ограниченной пропускной способности каналов связи; гибко адаптировать модель под конкретные типы электроустановок.

Алгоритм работы системы можно описать следующей последовательностью этапов:

- сбор данных* – мини-ПК получает данные с датчиков электроустановки;
- предобработка* – фильтрация шумов, нормализация сигналов;
- анализ СНС* – классификация состояния (норма / аномалия / тип неисправности);
- логирование* – запись результата в локальный лог;
- передача данных* – Zabbix Agent отправляет запись на сервер;
- визуализация и оповещение* – администратор получает уведомление и видит событие в интерфейсе Zabbix.

Интеграция сверточных нейронных сетей в систему Zabbix позволяет объединить интеллектуальный анализ данных и централизованный мониторинг. Это решение повышает надежность электроустановок, сокращает время реакции на обнаружение неисправностей (менее 1 С) и открывает возможности для предотказного обслуживания. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию архитектуры СНС, расширение набора анализируемых параметров и внедрение адаптивных моделей, способных обучаться на новых данных в реальном времени.

Л и т е р а т у р а

1. Совершенствование конструкции асинхронного двигателя с помощью 3D-моделирования электромагнитных и тепловых процессов / В. Н. Галушко, Д. В. Мирош, И. Л. Громыко, И. Е. Монархович // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 2 (47). – С. 49–54.
2. Монархович, И. Е. Характеристики модели сверточной нейронной сети для нахождения и анализа признаков различного масштаба / И. Е. Монархович // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления»: сб. тр. XXIV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 136.
3. Zabbix Documentation. – URL: <https://www.zabbix.com/documentation>: (дата обращения: 03.03.2025).

**DESIGN AND OPTIMIZATION OF LOW-POWER IMPLANTABLE
PACEMAKER SYSTEM USING ADVANCED MICROELECTRONIC
TECHNOLOGIES****T. A. A. Alanesi¹, M. F. S. H. Al-Kamali²**¹*Belarusian State Medical University, Minsk*²*Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

This work reviews the advancements in pacemaker technology, emphasizing their role in regulating heart rhythms in patients with bradycardia and arrhythmia. It covers various designs, including leadless and energy-harvesting pacemakers, and highlights recent innovations such as the world's smallest pacemaker and its potential applications.

Keywords: pacemaker, heart rhythm, energy harvesting, leadless technology, cardiac care.

**РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ МАЛОМОЩНОЙ
ИМПЛАНТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ КАРДИОСТИМУЛЯТОРА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕДОВЫХ
МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ****Т. А. А. Аль-Анеси¹, М. Ф. С. Х. Аль-Камали²**¹*Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск*²*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Рассмотрены достижения в области технологий кардиостимуляторов, подчеркивая их роль в регуляции сердечного ритма у пациентов с брадикардией и аритмиями. Представлены различные конструкции, включая безэлектродные и энергоаккумулирующие кардиостимуляторы, а также освещены последние инновации, такие как самый маленький в мире кардиостимулятор и его потенциальные области применения.

Ключевые слова: кардиостимулятор, сердечный ритм, сбор энергии, беспроводная технология, кардиологическая помощь.

A pacemaker is a compact medical device implanted subcutaneously to regulate heart rhythm, particularly in patients with conditions such as bradycardia or arrhythmias. It functions by delivering electrical impulses to the heart, ensuring normal contractions. This article reviews the significance of pacemakers, their operational mechanisms, indications for use, and recent advancements in the field.

A pacemaker comprises two main components: an electrical generator, which contains a battery and electronic circuitry to generate impulses, and electrodes, which are thin wires that connect the device to the heart, transmitting these signals. The primary role of the pacemaker is to stimulate the heart to beat at a regular rate when natural rhythms are insufficient.

Pacemaker implantation is indicated for various conditions, including:

Bradycardia. Characterized by a heart rate below normal levels, resulting in inadequate blood circulation.

Heart Block. Occurs when electrical signals between the atria and ventricles are disrupted.

Frequent Fainting. Often caused by abrupt drops in heart rate.

Sick Sinus Syndrome. Arises from dysfunction in the sinus node, the heart's natural pacemaker.

Post-Surgical Complications. Certain heart surgeries may lead to rhythm disturbances necessitating pacemaker support.

Different pacemaker designs are available, including:

Traditional Pacemaker. Utilizes implanted electrodes to deliver impulses.

Leadless Pacemaker. A compact device implanted directly in the heart without external leads, allowing for easier implantation.

Dual-Chamber Pacemaker. Synchronizes electrical signals between the atria and ventricles.

Three-Chamber Pacemaker. Enhances cardiac output in heart failure patients by optimizing pumping efficiency.

Recent research has explored methods to extend the battery life of leadless pacemakers through energy harvesting. By converting mechanical energy from the heart's contractions into electrical energy, this innovation has the potential to prolong device functionality. Traditional pacemakers typically have a battery life of 6 to 15 years, and replacing batteries can be complex, especially for leadless models fully implanted within the heart.

Studies have demonstrated the feasibility of harvesting mechanical energy to power implantable devices, allowing the heart's natural movements to generate the required electrical voltage. Prototypes designed to capture energy from heart contractions have shown promising results, with one device harvesting approximately 10 % of the energy needed for each heartbeat. Optimization of materials and manufacturing processes may further enhance energy harvesting efficiency.

Future research includes long-term in vivo trials to validate these findings and ensure the safety and durability of this technology. Collaborations with leading pacemaker manufacturers are anticipated to integrate energy-harvesting designs into existing leadless pacemakers, potentially benefiting younger patients who may need multiple devices throughout their lives.

Moreover, American researchers have developed the world's smallest pacemaker, which can be injected into the heart through the skin without the need for surgery. This innovative device contains no electrodes or wires and dissolves into biocompatible fragments, which are excreted from the body. Future applications may involve injecting multiple miniature pacemakers into various heart regions, providing a comprehensive assessment of electrical activity and enabling targeted interventions.

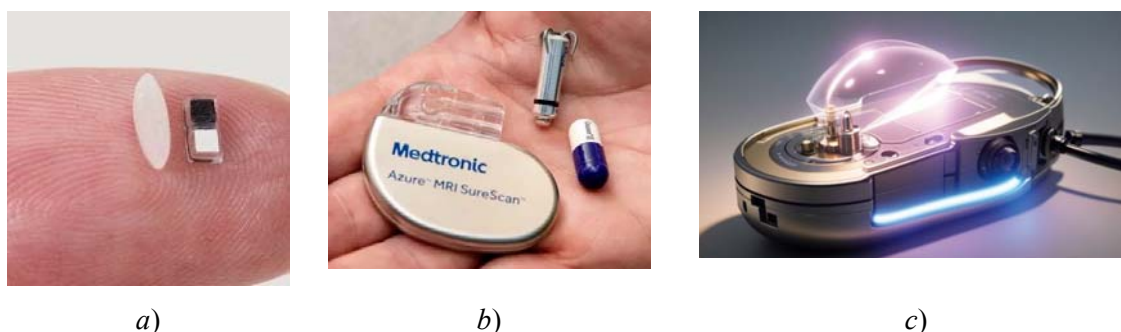


Fig. 1. Images of pacemakers:
a – the smallest pacemaker; *b* – a pacemaker; *c* – a light-activated pacemaker

The advancements in pacemaker technology, particularly in energy harvesting and miniaturization, represent significant progress in cardiac care. These innovations aim to enhance the longevity and efficacy of pacemakers, ultimately improving patient outcomes and quality of life for individuals with heart conditions. Continued research and development are essential for realizing the full potential of these life-saving devices.

Reference

1. Rajshaker, R. K. Design and Development of Low Power Architecture for Leadless Pacemakers: A Technical Analysis/ R. K. Rajshaker// RIET-IJSET International Journal of Science Engineering and Technology 16(1). – DOI: 10.71097/IJSAT.v16.i1.2336.

WIRELESS CAPSULE ENDOSCOPY: A TECHNOLOGICAL LEAP TOWARD REPLACING TRADITIONAL ENDOSCOPIC METHODS**W. H. Amhaz¹, M. F. S. H. Al-Kamali²**¹ *Gomel State Medical University, Republic of Belarus*² *Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

Wireless capsule endoscopy has transformed gastrointestinal diagnostics by offering a non-invasive method for imaging the small intestine. Utilizing intelligent algorithms, capsule robots can detect lesions and initiate therapeutic interventions, enhancing clinical outcomes.

Keywords: wireless capsule endoscopy, gastrointestinal diagnostics, intelligent algorithms, lesion detection, therapeutic interventions.

БЕСПРОВОДНАЯ КАПСУЛЬНАЯ ЭНДОСКОПИЯ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СКАЧОК К ЗАМЕНЕ ТРАДИЦИОННЫХ ЭНДОСКОПИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**В. Х. Амхаз¹, М. Ф. С. Х. Аль-Камали²**¹ *Гомельский государственный медицинский университет, Республика Беларусь*² *Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Беспроводная капсульная эндоскопия преобразила диагностику заболеваний желудочно-кишечного тракта, предложив неинвазивный метод визуализации тонкого кишечника. Используя интеллектуальные алгоритмы, капсульные роботы могут обнаруживать поражения и инициировать терапевтические вмешательства, улучшая клинические результаты.

Ключевые слова: беспроводная капсульная эндоскопия, диагностика заболеваний желудочно-кишечного тракта, интеллектуальные алгоритмы, обнаружение поражений, терапевтические вмешательства.

Wireless capsule endoscopy (WCE) has revolutionized gastrointestinal imaging by employing high-resolution cameras that capture thousands of images as the capsule traverses the digestive tract. Once ingested, the capsule is propelled by peristalsis, wirelessly transmitting images to an external recording device for analysis. This procedure typically lasts several hours, allowing patients to resume normal activities, thus minimizing discomfort and disruption.

WCE offers several advantages over conventional endoscopy. It is minimally invasive, eliminating the need for anesthesia and surgical instruments, which significantly reduces patient risk and discomfort. The panoramic view provided by WCE enhances visualization of the small intestine – a region often difficult to assess using traditional methods. Its capacity to capture images from multiple angles facilitates detailed evaluation of mucosal lesions, polyps, and bleeding sites, promoting higher patient compliance.

Real-time data acquisition is another critical benefit of WCE, as it transmits images instantly, allowing for immediate assessment and faster clinical decision-making. Recent studies highlight advancements in ingestible electronic devices for diagnostic and therapeutic applications, focusing on key components like sensors and integrated circuits. Our research complements these findings by exploring the “capsule surgeon” concept, emphasizing intelligent robotics and AI-based lesion detection.

WCE technology has evolved from a mere “gastrointestinal video recorder” to a “controllable diagnostic capsule robot”. This evolution is supported by developments in multidisciplinary fields, including artificial intelligence and microelectromechanical systems (MEMS), leading to the emergence of smart capsule robots. While most testing has been confined to animal models, the clinical application of these technologies holds significant promise.

To further develop WCE, attention must be paid to the challenges of multidisciplinary integration. Technical compatibility is crucial, particularly in minimizing interference among various magnetic field-based technologies. For instance, simultaneous operation of wireless power transmission and magnetic actuators can lead to inconsistencies in magnetic field control. Pre-simulation of these scenarios and exploration of magnetic field separation methods are essential for successful implementation.

Another challenge is the technological complexity inherent in integrating multiple functionalities within capsule robots. Achieving high integration while maintaining a compact design is vital. Current capsule designs often occupy substantial space, making them difficult to swallow. Utilizing a single propulsion system for multiple functions, such as magnetic propulsion, could simplify designs and reduce size.

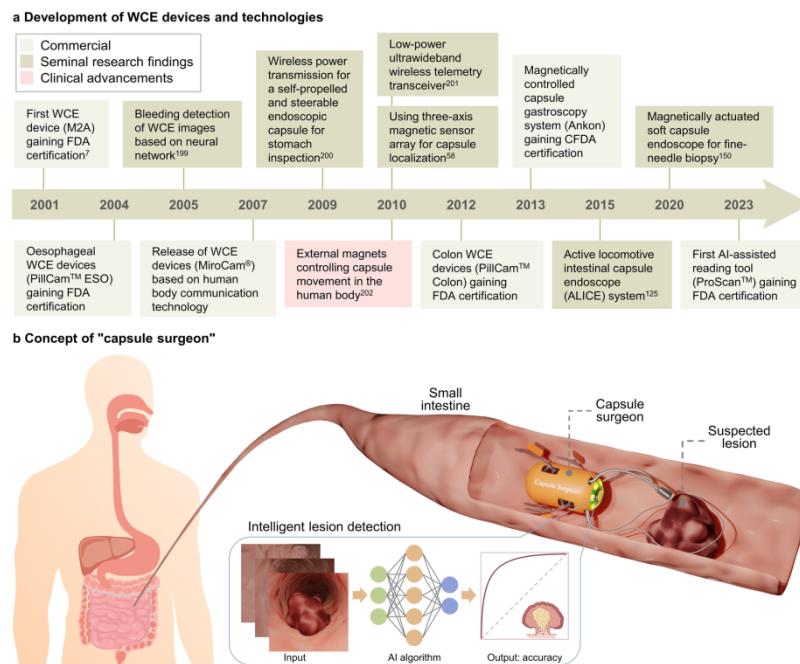


Fig. 1. Wireless capsule endoscopy:

- a* – Progression of Wireless Capsule Endoscopy (WCE) This timeline outlines the commercial evolution, key research breakthroughs, and clinical advancements of WCE devices from 2001 to 2023, highlighting the roles of the FDA and CFDA;
- b* – Concept of the “Capsule Surgeon” Utilizing intelligent detection algorithms, the capsule robot identifies lesions and can initiate therapeutic actions with components like snares and electrotomes

Telemedicine has gained traction, especially during the COVID-19 pandemic, enabling remote patient management. By leveraging mobile cloud support and 5G connectivity, this model can be applied to capsule robots, enhancing access to diagnostic and therapeutic services, particularly in underserved regions.

Finally, expanding the therapeutic functions of capsule robots is imperative. Currently, they are primarily used for diagnostics and limited therapeutic applications, such as biopsies and drug delivery. Integrating capabilities for endoscopic mucosal resection (EMR) and endoscopic submucosal resection (ESD) into capsule designs could significantly enhance their clinical utility. The potential of medical micro/nanorobots in various therapeutic roles suggests a future where larger WCE robots serve as “warships” while micro/nanorobots act as “soldiers”, performing intricate tissue manipulation tasks, thereby exploring previously inaccessible areas of the gastrointestinal tract.

Fig. 1 was created with BioRender.com under a Creative Commons license, with some elements designed by brgfx – Freepik.com [1].

Wireless capsule endoscopy marks a transformative approach in gastrointestinal diagnostics, with ongoing advancements that promise to enhance its capabilities and integration into clinical practice. Addressing technical challenges and expanding therapeutic functions will be crucial for realizing the full potential of this promising technology.

References

1. Q. Cao, R. Deng, Y. Pan [et al.]. Robotic wireless capsule endoscopy: recent advances and upcoming technologies. Nat Commun. – 2024. – N 15. – P. 4597. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49019-0> (data of access: 11.10.2025).

РЕЗОНАНС-ТРАНСФОРМАТОРЫ

Е. А. Боровикова, В. А. Горст, Д. В. Комнатный

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Рассмотрены методы расчета резонансных трансформаторов непрерывного и импульсного действия. На основе методов контурных токов, кусочно-линейной аппроксимации и операторного метода получены аналитические выражения для ключевых параметров. Результаты применимы в импульсной энергетике, медицинской диагностике и лазерных технологиях.

Ключевые слова: резонансные трансформаторы, трансформаторы Тесла, метод контурных токов, кусочно-линейная аппроксимация, операторный метод, импульсная энергетика.

RESONANCE TRANSFORMERS

E. A. Borovikova, V. A. Gorst, D. V. Komnatny

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The report discusses methods for calculating resonant transformers of continuous and pulsed action. Analytical expressions for key parameters are obtained based on the methods of contour currents, piecewise linear approximation and the operator method. The results are applicable in pulse energy, medical diagnostics and laser technologies.

Keywords: resonant transformers, Tesla transformers, contour current method, piecewise linear approximation, operator method, pulse power engineering.

Резонансные трансформаторы находят широкое применение в различных отраслях науки и промышленности. В частности, эти трансформаторы используются для питания мощных рентгеновских установок и ускорителей частиц в научных исследованиях, являются основой генераторов электронных пучков и источников радиоизлучения, применяемых в радиолокации и системах радиоэлектронной борьбы. Кроме того, они нашли свое применение в лазерной технике, медицинской диагностике, включая методы газоразрядной визуализации, и в технологических процессах производства интегральных микросхем.

Несмотря на столь широкую распространенность и актуальность, работа резонансных трансформаторов остается недостаточно изученной. Данная работа направлена на устранение этого пробела путем разработки теоретически обоснованных методов анализа процессов в нагрузке для двух основных типов резонансных трансформаторов: непрерывного и импульсного действия (известных как трансформаторы Тесла).

Резонансные трансформаторы непрерывного действия. Принцип работы резонансных трансформаторов непрерывного действия основан на использовании резонансных явлений для передачи энергии от первичного контура ко вторичному с минимальными потерями. Конструктивно такой трансформатор включает две магнитно-связанные катушки индуктивности. При протекании переменного тока через первичную обмотку создается переменное магнитное поле, которое индуцирует ток во вторичной обмотке. Когда система работает на резонансной частоте, происходит максимально эффективная передача энергии.

Для расчета процессов в трансформаторе в работе применяется классический метод контурных токов, позволяющий составить систему уравнений для схемы замещения трансформатора.

Исследование показало, что режим сложного резонанса является наиболее предпочтительным, так как он обеспечивает достижение абсолютного максимума как вторичного тока, так и напряжения на нагрузке. Для этого режима получено окончательное аналитическое выражение для действующего значения напряжения на конденсаторе:

$$U_{c2\max\min} = \frac{1}{\omega C} \cdot \frac{E}{Z\sqrt{R_1 R_2}}.$$

Данная формула позволяет целенаправленно рассчитывать и оптимизировать параметры трансформатора для достижения требуемых выходных характеристик [1].

Резонансные трансформаторы импульсного действия (трансформаторы Тесла). Трансформаторы импульсного питания, или трансформаторы Тесла, кардинально отличаются по принципу работы. Типовая схема такого устройства включает высоковольтный трансформатор, зарядный контур с диодом и накопительным конденсатором, разрядник и импульсный трансформатор с нагрузкой.

Главной сложностью анализа таких систем является наличие нелинейных элементов – диода и разрядника. Для учета их свойств в работе был применен метод кусочно-линейной аппроксимации вольт-амперных характеристик нелинейных элементов. Работа схемы была разделена на два этапа. На этапе заряда, когда диод открыт, а разрядник закрыт, конденсатор C_1 заряжается от синусоидального источника питания. Для описания этого переходного процесса были выведены уравнения для тока и напряжения. Момент, когда напряжение на конденсаторе максимальное

(ток через диод падает до нуля), находится графическим или численным методом как решение трансцендентного уравнения.

На этапе разряда, когда разрядник срабатывает, энергия, запасенная в конденсаторе, передается в нагрузку через импульсный трансформатор. Для анализа составлена система уравнений в операторной форме и получено изображение для тока вторичного контура. С помощью теоремы разложения (Хэвисайда) был найден оригинал этого тока, а затем путем интегрирования – выражение для напряжения на емкостной нагрузке [2]. Анализ показывает, что процесс разряда имеет колебательный характер, а форма импульса напряжения существенно зависит от параметров цепи связи и добротности контуров. Полученные аналитические выражения позволяют моделировать форму выходного импульса и оптимизировать ее под конкретные практические задачи.

Проведенное исследование демонстрирует, что расчет ключевых параметров резонансных трансформаторов, как непрерывного, так и импульсного действия, может быть успешно выполнен на основе классических методов теории цепей.

Разработанные методы расчета могут быть непосредственно использованы при проектировании и создании современных устройств в критически важных областях, указанных выше.

Таким образом, представленные результаты имеют конкретное прикладное значение, открывая пути для создания более эффективных и оптимизированных устройств импульсной энергетики.

Л и т е р а т у р а

1. Атабеков, Г. И. Основы теории цепей: учеб. для вузов / Г. И. Атабеков. – М. : Энергия, 1969. – 424 с.
2. Конторович, М. И. Операционное исчисление и процессы в электрических цепях : учеб. пособие для электротехн. и радиотехн. специальностей вузов / М. И. Конторович. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Сов. радио, 1975. – 319 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАСОСА НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ: МОДЕРНИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ли Мосянь, В. В. Брель

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Колледж электротехники

*Шаньдунский технологический университет Хуаюй, г. Дэчжоу,
Китайская Народная Республика*

Представлено применение трехмерного моделирования и моделирования методом конечных элементов для проектирования пьезоэлектрического насоса. Посредством моделирования и модального анализа пьезоэлектрического насоса выполняется корректировка структурных параметров ключевых компонентов, что позволяет достичь снижения затрат и повышения производительности насоса.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, МКЭ, интеллектуальное оборудование, модальный анализ, пьезоэлектрический насос.

DESIGN OF A PIEZOELECTRIC PUMP BASED ON 3D MODELING: INTELLIGENT EQUIPMENT UPGRADE AND OPTIMIZATION

Li Moxian, V. V. Brel

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

*College of Electrical Engineering, Shandong Huayu University of Technology,
Dezhou, China*

This paper presents the application of 3D modeling and Finite Element Analysis (FEA) modeling for the design of a piezoelectric pump. Through modeling and modal simulation of the piezoelectric pump, structural parameters of key components are adjusted to accomplish the objectives of reducing cost losses and enhancing pump performance.

Keywords: 3D Modeling, Finite Element Analysis, Intelligent Equipment, Modal Analysis, Piezoelectric Pump.

Визуальные возможности трехмерного моделирования позволяют создавать виртуальные модели пьезоэлектрических насосов, в то время как метод конечных элементов обеспечивает анализ их модальных характеристик в сложных рабочих условиях, что позволяет корректировать технологические параметры и модернизировать интеллектуальное промышленного оборудования.

Трехмерное моделирование позволяет эффективно проектировать и компоновать узлы оборудования, наглядно демонстрируя характеристики деталей. На примере пьезоэлектрического насоса осуществляется разбор полной конструкции, что обеспечивает четкую визуализацию структуры и параметров каждого компонента [1]. Конструкция насоса включает впускной 1 и выпускной патрубки 10, цилиндрический корпус 9, переднюю и заднюю крышки 3, 7, силиконовые прокладки 6, крепежные болты 2, 4, вибратор с полукруглым хвостовым плавником 11 и другие компоненты. Структурная схема пьезоэлектрического насоса представлена на рис. 1.

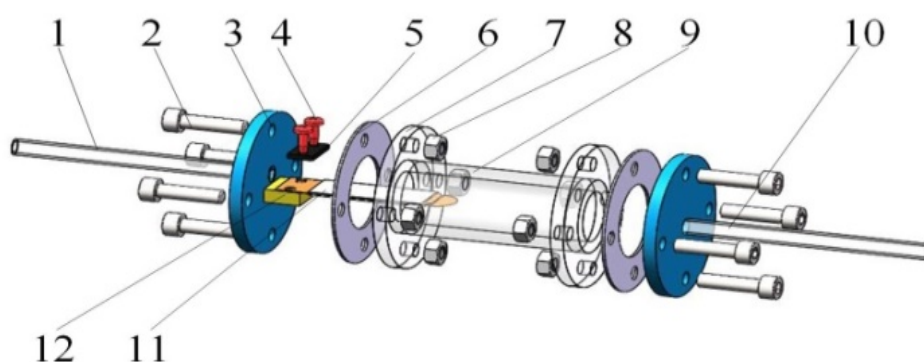


Рис. 1. Конструктивная схема пьезоэлектрического насоса с вибратором

Анализ методом конечных элементов позволяет моделировать изменения параметров компонентов в реальных рабочих условиях. В данной статье проводится модальный анализ ключевого компонента пьезоэлектрического насоса, с целью определения его резонансных частот и форм колебаний при моделировании реальных рабочих условий. Полученные структурные параметры вибратора используются для оптимизации трехмерной конструкции пьезоэлектрического насоса, что в конечном итоге позволяет модернизировать устройство пьезоэлектрического насоса.

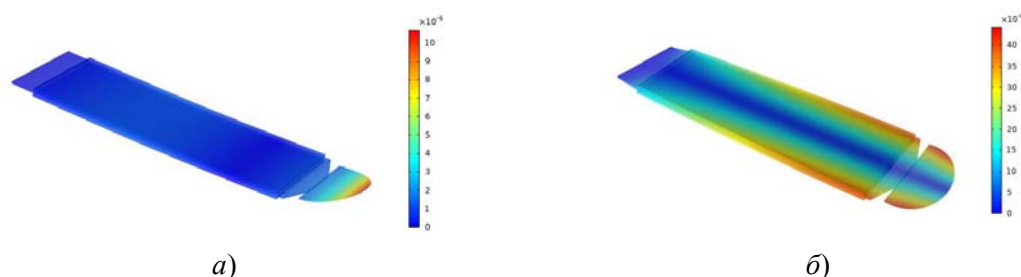


Рис. 2. Форма колебаний второй моды вибратора при $W = 7$ мм и $R = 7,5$ мм:
 а – Вторая мода ($f = 779$ Гц); б – Вторая мода ($f = 1165$ Гц)

Результаты модального анализа вибратора, проведенного с использованием синергетического подхода компьютерного моделирования, показывают, что изгибные колебания, соответствующие второй собственной частоте, являются оптимальной формой колебаний. Радиус хвостового плавника (R) и ширина хвостовой части (W) вибратора оказывают существенное влияние на его вторую собственную частоту (рис. 2).

Оптимизация методами трехмерного моделирования и моделирования МКЭ демонстрирует значительный потенциал в процессе разработки интеллектуального оборудования, закладывая основу для новой промышленной эпохи.

Литература

1. Simulation Analysis and Experiment of Piezoelectric Pump with Tapered Cross-Section Vibrator / C. Hu, W. Jiang, X. Hu [et al.] // Applied Sciences. – 2024. – N14 (16). – P. 7418–7418.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ И ТЕРМООБРАБОТКИ МЕТАЛЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Теймур Сулейманов, В. А. Савельев

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Автоматизация процессов охлаждения и термообработки металлов является ключевым элементом в современных металлургических и машиностроительных производствах. Эти процессы критически важны для достижения требуемых свойств металлов, таких как твердость, прочность и устойчивость к коррозии. Адаптивные системы управления, использующие алгоритмы машинного обучения и современные технологии, позволяют оптимизировать параметры обработки, повышая эффективность и качество продукции.

Ключевые слова: термообработка, охлаждение, автоматизация, адаптивное управление, температура, контроллер, качество.

AUTOMATION OF METAL COOLING AND HEAT TREATMENT PROCESSES USING ADAPTIVE CONTROL SYSTEMS

Teymur Suleymanov, V. A. Savelyev

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The automation of metal cooling and heat treatment processes is a key element in modern metallurgical and engineering industries. These processes are critically important for achieving

the required properties of metals, such as hardness, strength, and corrosion resistance. Adaptive control systems, utilizing machine learning algorithms and modern technologies, allow for the optimization of process parameters, increasing efficiency and product quality.

Keywords: heat treatment, cooling, automation, adaptive control, temperature, controller, quality.

В современных условиях развития металлургической и машиностроительной промышленности особое значение приобретает автоматизация процессов охлаждения и термообработки металлов. Ведь в последние годы требования к качеству металлических изделий постоянно возрастают, что требует совершенствования технологий их обработки. Одним из важнейших этапов производства металлов является процесс охлаждения и термообработки, от которых напрямую зависят такие свойства, как прочность, твердость и устойчивость к внешним воздействиям. Основная цель данной работы – разработка и внедрение автоматизированных и адаптивных систем управления, способных оптимизировать параметры охлаждения и термообработки металлов в реальном времени. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью повышения конкурентоспособности продукции, сокращения производственных издержек и обеспечения стабильного качества готовых изделий за счет использования современных технологий автоматизации и интеллектуального управления производственными процессами.

Процессы охлаждения и термообработки металлов играют ключевую роль в обеспечении необходимых эксплуатационных свойств готовой продукции, таких как прочность, твердость, износостойкость и коррозионная устойчивость. Эффективное управление этими процессами позволяет получать материалы с заданной структурой, что особенно важно для современных отраслей промышленности, предъявляющих высокие требования к качеству изделий. Однако традиционные методы управления, основанные на ручной настройке параметров и контроле со стороны оператора, нередко приводят к возникновению ошибок, снижению стабильности результатов и потере части продукции. В современных условиях становится очевидной необходимость внедрения автоматизированных систем, способных обеспечить высокую точность, повторяемость и экономическую эффективность процессов охлаждения и термообработки. Адаптивные системы управления представляют собой современный подход к автоматизации, при котором параметры режима обработки автоматически корректируются в реальном времени на основе данных, получаемых от датчиков и измерительных приборов. Такие системы используют промышленные контроллеры, которые управляют оборудованием – нагревателями, насосами, клапанами и другими исполнительными устройствами. Постоянный мониторинг температуры, времени выдержки и скорости охлаждения позволяет системе своевременно реагировать на отклонения от заданных значений и поддерживать оптимальные условия для каждого этапа технологического процесса. Использование алгоритмов машинного обучения и анализа больших данных открывает дополнительные возможности для оптимизации режимов работы, повышения качества изделий и предотвращения возможных дефектов. Внедрение автоматизированных и адаптивных систем управления процессами охлаждения и термообработки металлов позволяет существенно повысить производительность, снизить энергозатраты, минимизировать влияние человеческого фактора и повысить стабильность качества продукции. Кроме того, такие системы облегчают сбор и анализ технологических данных, что создает предпосылки для дальнейшей модернизации производства и повышения его конкурентоспособности. Все это делает автоматизацию и внедрение интеллектуаль-

ных систем в данную область не только актуальным, но и необходимым шагом для развития современной металлургической и машиностроительной промышленности.

В результате рассмотрения вопроса автоматизации процессов охлаждения и термообработки металлов с применением адаптивных систем управления можно сделать вывод, что внедрение современных технологий позволяет значительно повысить эффективность производства, качество продукции и снизить производственные затраты.

Адаптивные системы управления обеспечивают высокий уровень автоматизации, минимизируют влияние человеческого фактора и способствуют стабильному получению изделий с заданными свойствами. Таким образом, дальнейшее развитие и внедрение интеллектуальных систем в данной сфере является важным направлением для повышения конкурентоспособности предприятий металлургической и машиностроительной отрасли.

Л и т е р а т у р а

1. Белов, А. И. Автоматизация процессов термообработки металлов: теоретические основы и практические приложения / А. И. Белов. – М. : Машиностроение, 2020. – URL: <https://dSPACE.www1.vlsu.ru/bitstream> (дата обращения: 05.10.2025).
2. Иванов, С. П. Адаптивные системы управления в металлургии: современные подходы и технологии. – СПб. : Науч.-техн. изд-во, 2021. – URL: <https://phti.by/wp-content/uploads/2021/02/sbornik-nauchnyh-trudov> (дата обращения: 05.10.2025).

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ TinyML ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Чжан Лифан, В. А. Савельев

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Шаньдунский технологический университет Хуаюй, г. Дэчжоу
Китайская Народная Республика*

Предиктивное техническое обслуживание является критически важной стратегией для промышленных предприятий, направленной на максимизацию времени безотказной работы и минимизацию дорогостоящих простоев. TinyML предлагает решение, внедряя алгоритмы машинного обучения в маломощные микроконтроллеры, что позволяет осуществлять обработку данных непосредственно на устройстве с низкой задержкой, высокой надежностью и энергоэффективностью.

Ключевые слова: tinymml, предиктивное обслуживание, микроконтроллеры, энергопотребление, надежность, вибродиагностика, промышленный интернет вещей, цифровые двойники, машинное обучение.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF USING TINYML FOR INTELLIGENT MONITORING OF INDUSTRIAL EQUIPMENT

Zhang Lifang, V. A. Savelyev

*Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus
Shandong Huayu Institute of Technology, Dezhou, People's Republic of China*

Predictive maintenance is a critical strategy for industrial enterprises aimed at maximizing uptime and minimizing costly downtime. TinyML offers a solution by implementing machine

learning algorithms in low-power microcontrollers, enabling data processing directly on the device with low latency, high reliability, and energy efficiency.

Keywords: tinyml, predictive maintenance, microcontrollers, energy consumption, reliability, vibration diagnostics, industrial Internet of Things, digital twins, machine learning.

Проблема простоя оборудования является критически важной для промышленных предприятий, поскольку может приводить к значительным финансовым потерям. Превентивные стратегии, такие как регламентное техническое обслуживание (ТО), часто являются дорогостоящими и не гарантируют предотвращения отказов, поскольку могут приводить к замене исправного оборудования или не охватывать проблемы, возникающие между плановыми проверками.

В этой связи предиктивное техническое обслуживание (*Predictive Maintenance, PdM*), использующее данные с датчиков для прогнозирования необходимости ТО, является важнейшим инструментом для повышения безопасности, максимизации времени безотказной работы и минимизации затрат.

Традиционные системы *PdM* имеют ряд серьезных недостатков, включая высокое энергопотребление, риски безопасности и конфиденциальности, а также непредсказуемые задержки и зависимость от сетевого соединения.

TinyML (Tiny Machine Learning) – это область, посвященная снижению требований к ресурсам традиционных моделей машинного обучения (МО) и глубокого обучения, что позволяет развертывать их непосредственно на устройствах с ограниченными ресурсами, таких как микроконтроллеры. Слияние *PdM* и *TinyML* обещает преодолеть указанные недостатки и открыть новые возможности для интеллектуального мониторинга промышленного оборудования [1].

Цель работы – анализ ключевых перспектив, проблем и методологических аспектов применения *TinyML* для систем *PdM* в промышленных условиях.

Применение *TinyML* для *PdM* имеет существенные преимущества, особенно в промышленных секторах, где традиционные облачные решения сталкиваются с логистическими и регуляторными барьерами.

TinyML позволяет развертывать системы *PdM* непосредственно на сенсорных устройствах. Это делает систему более надежной, поскольку она не зависит от рабочего сетевого соединения и отзывчивости удаленной конечной точки.

Передача данных по сети потребляет значительное количество энергии. Выполнение вычислений прямо на устройстве является энергоэффективным. Это особенно важно для устройств, работающих от батарей или систем сбора энергии.

Кроме того, локальное выполнение алгоритмов обеспечивает низкую задержку, часто в миллисекундах, в то время как сетевая связь создает непредсказуемую задержку, которая может быть неприемлема для приложений, требующих обработки в реальном времени.

Несмотря на значительные перспективы, развертывание МО в условиях экстремальных ресурсных ограничений *TinyML* порождает ряд серьезных проблем, которые необходимо решить для успешного промышленного масштабирования [2].

Системы *TinyML* характеризуются острой нехваткой ресурсов. Небольшое количество вычислительных ресурсов доступно в рамках ограничений по мощности, накладываемых *TinyML*, что приводит к значительно более длительному времени инференса по сравнению с облачными системами. Устройства с низким энергопотреблением содержат чрезвычайно ограниченное количество памяти (типично менее 1 МБ энергозависимой памяти и низкий диапазон МБ постоянной памяти). Часто ре-

сурсы системы *TinyML* настолько ограничены, что их нельзя тратить на операционную систему, что исключает использование стандартных функций ОС, таких как динамическое распределение памяти.

Исследования *TinyML* в значительной степени сосредоточены на классификации изображений и аудио, уделяя меньше внимания другим областям, таким как *PdM*.

На данный момент наблюдается дефицит высококачественных открытых наборов данных, специально разработанных для *TinyML*. Особенно это касается *PdM*, где данные об отказах редко публикуются из-за их чувствительности для организаций.

В качестве наиболее перспективных направлений исследований следует выделить:

- разработку высококачественных датасетов *PdM*;
- исследование систем *TinyML*, которые могут работать прерывисто, когда доступна мощность, что повысит устойчивость решений;
- работы по стандартизации, особенно форматов моделей и методов оптимизации, для облегчения перехода от исследований к крупномасштабному промышленному развертыванию;
- уделить больше внимания разработке методов объяснимого ИИ для *TinyML* систем, что важно для принятия решений в критически важных промышленных приложениях.

Литература

1. Review of the TinyML Stack for Predictive Maintenance / E. Njor, M.A. Hasanpour, J. Madsen, X. Fafoutis // IEEE Access. – 2024 (12). – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10781407> (дата обращения: 12.10.2025).
2. Раджен, Б. Создание IoT-приложений с помощью *TinyML* и машинного обучения / Б. Раджен // Control Engineering Россия. – 2022. – № 3 (99). – С. 50–53.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТРИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

Чжан Чжунбинь, В. А. Савельев

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Матричные преобразователи частоты (МПЧ) представляют собой перспективную AC/AC технологию, предлагающую уникальные преимущества: высокую плотность мощности (благодаря отсутствию конденсатора звена постоянного тока), двунаправленную передачу энергии, а также синусоидальные входные и выходные токи с высоким коэффициентом мощности. Основной технологической проблемой МПЧ остается безопасная коммутация двунаправленных ключей, требующая сложных многошаговых стратегий. В области управления активно развивается модельное предиктивное управление (МРС), обеспечивающее быстрый динамический отклик.

Ключевые слова: матричный преобразователь, двунаправленные ключи, модельное предиктивное управление, качество электроэнергии.

PROSPECTS FOR APPLICATION AND CURRENT ISSUES OF MATRIX FREQUENCY CONVERTERS

Zhang Zhongbin, V. A. Savelyev

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

Matrix converters are a promising AC/AC technology offering unique advantages: high power density (due to the absence of a DC link capacitor), bidirectional power transfer, and

sinusoidal input and output currents with a high power factor. The main technological challenge for MPCs remains the safe switching of bidirectional switches, which requires complex multi-step strategies. Model predictive control (MPC), which provides fast dynamic response, is actively developing in the field of control.

Keywords: matrix converter, bidirectional switches, model predictive control, power quality.

Матричные преобразователи (МПЧ) представляют собой технологию преобразования переменного тока в переменный ток, обладающую рядом привлекательных характеристик, включая высокую удельную мощность и возможность двунаправленного потока энергии [1].

Основная структура МПЧ состоит из девяти двунаправленных ключей, расположенных в виде матрицы. МПЧ способен регулировать выходную частоту и напряжение, при этом обеспечивая синусоидальные входные и выходные токи с возможностью контроля входного коэффициента мощности. Отсутствие громоздкого конденсатора звена постоянного тока делает МПЧ компактным решением, потенциально обеспечивающим высокую плотность мощности и работу при повышенных температурах.

Используя соответствующие способы модуляции МПЧ, можно достичь единичного входного коэффициента мощности. Это минимизирует потери в сетевых компонентах, таких как генераторы и трансформаторы, и снижает гармонические искажения до уровня менее 5%.

МПЧ являются полностью рекуперативными приводами, что позволяет возвращать энергию в сеть. Это устраняет необходимость в установке внешних тормозных резисторов.

Индуктивность, необходимая для входного фильтра МПЧ, обычно значительно меньше, чем для эквивалентного по мощности *РЧМ*-выпрямителя.

Несмотря на значительные преимущества, внедрение МПЧ в промышленные масштабы сталкивается с несколькими серьезными технологическими проблемами.

Цель настоящей работы состоит в определении проблем МПЧ, требующих приоритетного решения.

Ключевой проблемой МПЧ является проблема коммутации [2]. В отличие от распространенных преобразователей со звеном постоянного тока, в МПЧ неправильная коммутация может привести к короткому замыканию на стороне входа или разрыву цепи на стороне индуктивной нагрузки, что, в свою очередь, вызывает опасные перенапряжения и повреждение ключей.

Теоретический максимальный коэффициент передачи напряжения МПЧ ограничен значением 0,866. Это ограничение часто рассматривается как главный недостаток МПЧ, особенно при попытке прямой замены промышленных инверторов напряжения.

МПЧ требует девяти двунаправленных ключей. На практике двунаправленные ключи реализуются с помощью дискретных однонаправленных ключей (например, IGBT и диодов). Наиболее распространенными конфигурациями являются: конфигурация с общим эмиттером и конфигурация с общим коллектором (два IGBT и два диода). Эти конфигурации имеют меньшие потери по сравнению с мостовой схемой с диодами, поскольку путь тока включает только один IGBT и один диод, и коммутация является мягкой.

Из-за прямой связи между входом и выходом, МПЧ подвержен проблемам стабильности. Эффективная работа требует точного расчета и реализации входного фильтра (обычно LC с демпфирующим резистором), чтобы избежать резонанса, возбуждаемого гармониками сети или модуляцией преобразователя.

Современные исследования направлены на разработку стратегий управления, которые улучшают характеристики МПЧ, особенно в отношении динамики и качества диаграмм тока и напряжения.

В настоящее время активно применяется модельное предиктивное управление (*Model Predictive Control, MPC*). *MPC* использует математическую модель системы для прогнозирования ее будущего поведения на заданном временном интервале. Модель МПЧ включает модель самого преобразователя и модель нагрузки. Основным недостатком *MPC* является переменная частота переключения. Это приводит к широкому спектру гармоник и ухудшению качества осциллограмм в установившемся режиме.

Внедрение ключей с симметричной пробойной характеристикой (*Reverse Blocking IGBT*) является наиболее перспективным аппаратным решением для МПЧ. Эти ключи обладают симметричной характеристикой блокировки напряжения, устраняя необходимость в антипараллельных диодах. Это значительно упрощает структуру двунаправленного ключа и решает многие проблемы коммутации, а также снижает потери. На данный момент *RB-IGBT* не получили широкого промышленного распространения в крупных приложениях.

Матричные преобразователи частоты обладают уникальным набором преимуществ. Однако основными проблемами по-прежнему остаются проблема безопасной коммутации и ограничение коэффициента передачи напряжения. На аппаратном уровне ключевым направлением является внедрение *RB-IGBT*.

Литература

1. Empringham, L. Technological Issues and Industrial Application of Matrix Converters: A Review / L. Empringham // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2013. – Vol. 60, N. 10.
2. Soltanian, F. A Review of Commutation Problem in Matrix Converter / F. Soltanian // International Journal Of Computers. – 2019. – Vol. 13.

СИСТЕМЫ НАГРУЖЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ

Цзя Шусян, М. Н. Погуляев

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

*Шаньдунский технологический университет Хуаюй, г. Дэчжоу,
Китайская Народная Республика*

Представлены результаты исследований систем нагружения резервных дизель-генераторов, приведен сравнительный анализ их характеристик, даны рекомендации по применению.

Ключевые слова: система нагружения, устройство нагружения, резервный дизель-генератор, статический преобразователь.

STANDBY DIESEL GENERATOR LOADING SYSTEMS

Jia Shuxiang, M. N. Pogulyaev

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

Shandong Huayu University of Technology, Dezhou, People's Republic of China

This article presents the results of a study of standby diesel generator loading systems, provides a comparative analysis of their characteristics, and provides recommendations for use.

Keywords: loading system, loading device, standby diesel generator, static converter.

Резервные электрогенераторы (РЭГ) применяются для обеспечения электроэнергией критически важных объектов в случае отключения основного источника

питания. Наиболее распространенным типом РЭГ являются дизель-генераторы (ДГ), которые обычно находятся в режиме ожидания. Для поддержания их готовности к работе в аварийных ситуациях необходимо регулярно проводить техническое обслуживание и нагрузочные испытания. Это позволяет оценить техническое состояние оборудования, выявить и устранить возможные неисправности. Требования к проведению таких испытаний определяются эксплуатационными характеристиками ДГ и соответствующими стандартами. Испытания проводятся как в стабильном режиме, так и при изменении нагрузки, что позволяет оценить устойчивость и надежность работы оборудования в различных условиях.

Испытания под нагрузкой в настоящее время могут проводиться несколькими способами. Наиболее известными являются [1]:

- ДГ подключается к сети и работает параллельно с ней (рис. 1, а);
- ДГ подключается к специальному нагрузочному модулю (рис. 1, б).

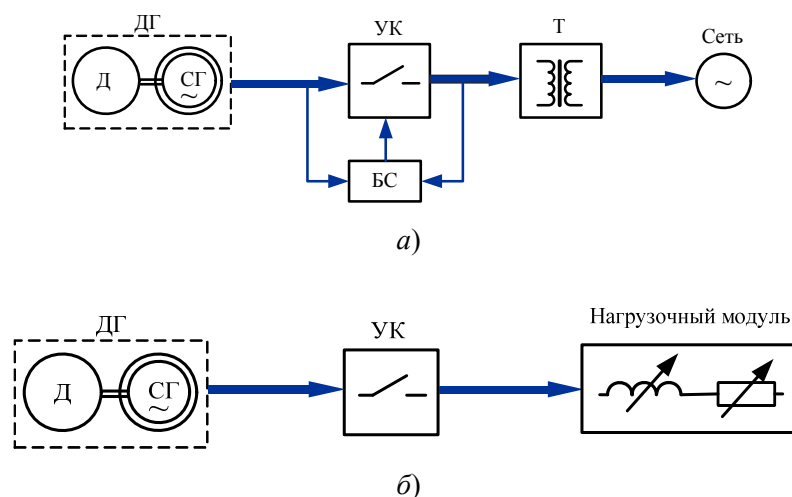


Рис. 1. Функциональные схемы систем нагружения:
 а – при параллельной работе с сетью;
 б – при использовании нагрузочного устройства

На схеме (рис. 1, а) синхронный генератор СГ подключается к сети через согласующий трансформатор подстанции (Т) с помощью устройства коммутации УК. Блок синхронизации БС определяет момент подключения дизельного генератора (ДГ) к сети. Эта система обеспечивает энергосберегающий режим работы, но для диагностики он недостаточно эффективен, так как предоставляет только статические характеристики, по которым можно лишь косвенно оценить работу систем управления и функционирование элементов резервного электрического генератора.

На схеме (рис. 1, б) синхронный генератор подключается устройством коммутации УК к модульному нагрузочному устройству с набором резистивных и реактивных компонентов, выполненных на определенную мощность. Такие устройства позволяют проводить необходимые испытания, но они энергозатратны. Вся вырабатываемая энергия преобразуется в тепло на резисторах и рассеивается в окружающую среду.

Современные достижения в электронике и силовой преобразовательной технике позволили создать рекуперативную систему нагружения на основе полупроводниковых статических преобразователей [2] (рис. 2).

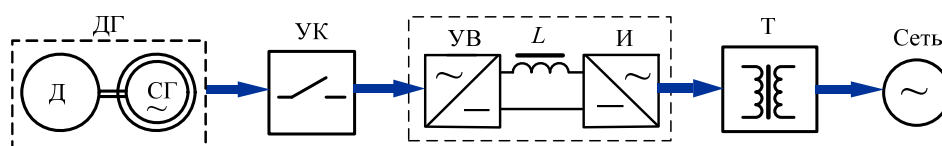


Рис. 2. Функциональная схема системы нагружения на основе полупроводниковых статических преобразователей

Нагрузочный модуль в данной схеме построен на базе полупроводниковых преобразователей, включающих управляемый выпрямитель (УВ) и инвертор (И). Система нагружения, выполненная по такой схеме, является энергосберегающей, и способна выполнять весь комплекс необходимых регламентных испытаний.

Проведенный обзор и анализ систем нагружения ДГ показывает, что в настоящее время испытания могут проводиться при помощи различных устройств нагружения, которые различаются по стоимости, способности поддерживать требуемые режимы нагружения, экономичности и другим параметрам.

Литература

1. Погуляев, М. Н. Энергоэффективные испытательные стенды / И. В. Дорошенко, М. Н. Погуляев, В. А. Савельев, В. В. Тодарев // Энергоэффективность. – 2018. – № 9. – С. 26–30.
2. Погуляев, М. Н. Энергосберегающее устройство нагружения резервных электро-генераторов на основе статических преобразователей / М. Н. Погуляев // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2022. – № 3 (90). – С. 96–103.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ НАГРУЗОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ ЛОКОМОТИВОВ

Яо Бинь, М. Н. Погуляев

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

*Шаньдунский технологический университет Хуаюй, г. Дэчжоу,
Китайская Народная Республика*

Представлено энергосберегающее нагрузочное устройство для испытаний дизель-генераторов локомотивов. Оно использует систему рекуперации энергии на базе статического преобразователя, возвращающую электроэнергию в железнодорожную сеть. На основе модели в MATLAB Simulink проведен анализ работы устройства. Результаты показали эффективность рекуперации до 91 %, что снижает энергозатраты и воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: энергосберегающее нагрузочное устройство, имитационная модель, дизель-генератор, статический преобразователь.

ENERGY-SAVING LOADING DEVICE FOR TESTING LOCOMOTIVE DIESEL GENERATORS UNDER LOAD

Yao Bin, M. N. Pogulyaev

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

Shandong Huayu University of Technology, Dezhou, People's Republic of China

This article presents an energy-saving load device for testing locomotive diesel generators. It uses an energy recovery system based on a static converter, returning electrical energy to the rail

network. A MATLAB/Simulink model was used to analyze the device's operation. The results showed recovery efficiency of up to 91 %, reducing energy costs and environmental impact.

Keywords: energy-saving loading device, simulation model, diesel generato, static converter.

Дизель-генераторные установки (ДГУ) локомотивов являются основным источником энергии, от их надежности зависит безопасность и эффективность движения поездов.

После ремонта ДГУ подвергаются комплексным испытаниям под нагрузкой. Эти испытания направлены на всестороннюю оценку ключевых эксплуатационных характеристик генераторов, таких как мощность, экономичность, стабильность работы, подтверждение соответствия агрегатов установленным техническим требованиям и стандартам, а также выявление потенциальных неисправностей и отклонений в работе оборудования [1].

В большинстве депо применяются реостатные стенды, при которых вся вырабатываемая энергия превращается в тепло и теряется [2]. Это вызывает большие энергопотери, рост расходов и выбросов углерода. Например, при испытаниях локомотива серии ТЭЗ бесполезно теряется до 1844 кВт · ч электроэнергии. Кроме того, такие стенды не позволяют полноценно моделировать динамические режимы работы, что снижает достоверность результатов.

Для решения указанных проблем в настоящей работе предлагается нагрузочное устройство на основе силовой электроники с функцией рекуперации энергии (рис. 1). Данное решение использует статический преобразователь вместо традиционной реостатной нагрузки для преобразования и возврата вырабатываемой электроэнергии в железнодорожную контактную сеть напряжением 25 кВ, 50 Гц, обеспечивая тем самым ее повторное использование.

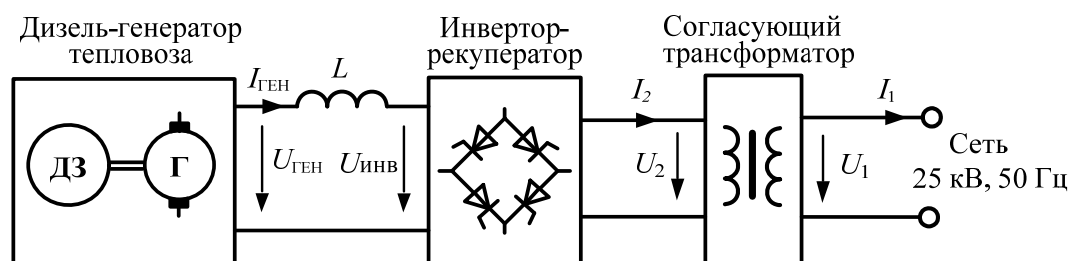


Рис. 1. Функциональная схема энергосберегающего нагружающего устройства

Ключевая функция устройства – создание различных режимов нагрузки с одновременным эффективным и безопасным возвратом электроэнергии от дизель-генератора в сеть.

Напряжение постоянного тока, генерируемое дизель-генератором, подается на инвертор, который осуществляет преобразование данного напряжения в переменное. Этот процесс трансформации энергии является ключевым этапом в системе передачи электроэнергии в контактную сеть с номинальным напряжением 25 кВ.

Рекуператор, используемый в данной конфигурации, представляет собой однофазный мостовой управляемый выпрямитель, функционирующий на базе тириستоров и работающий в режиме инвертора, ведомого сетью. Данный режим работы обеспечивает высокую эффективность и надежность преобразования энергии, что

является критически важным для обеспечения стабильного и бесперебойного электроснабжения железнодорожного транспорта.

Для согласования выходного напряжения инвертора с уровнем контактной сети используется стандартный силовой тяговый трансформатор электровоза, который выполняет функцию согласующего элемента в данной системе.

Проверка работоспособности предлагаемого устройства проведена на имитационной модели в программе MATLAB Simulink. Данная модель позволяет не только анализировать работу системы в установившихся режимах при различных уровнях мощности, но и исследовать ее динамические реакции на переходные процессы, такие как запуск, резкое изменение нагрузки, а также подключение и отключение от сети. Это обеспечивает надежную теоретическую базу для оптимизации стратегий управления и выбора параметров системы.

Результаты моделирования показали, что система обладает чрезвычайно высокой эффективностью рекуперации энергии. При испытании на имитационной модели локомотива ТЭ10 на номинальной мощности 1210 кВт в сеть возвращается большая часть энергии – КПД рекуперации достигает 91 %. Оставшиеся потери в основном приходятся на преобразователь, трансформатор и линии передачи.

Благодаря высокому КПД рекуперации (91 %), экономическая выгода от использования устройства является весьма значительной. По сравнению с традиционными реостатными испытаниями, прямые затраты для проведения одного испытания могут быть снижены примерно на 57 %. По оценкам, основанным на среднегодовом количестве испытаний в типичном локомотивном депо, внедрение данного энергосберегающего устройства может обеспечить ежегодную экономию на электроэнергии в размере от нескольких десятков до сотен тысяч рублей.

Л и т е р а т у р а

1. Руководство по ТО и ТР тепловозов. Технические требования на реостатные испытания тепловозов при выпуске из текущих ремонтов. – М. : РЖД, 2004 – 87 с.
2. Погуляев, М. Н. Энергосберегающее устройство нагружения резервных электрогенераторов на основе статических преобразователей / М. Н. Погуляев // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2022. – № 3 (90). – С. 96–103.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ДВОЙНОЙ НАКЛОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Ли Дэцян, В. П. Кудин

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Представлена разработка широкополосной фазированной антенной решетки с двойной наклонной поляризацией $\pm 45^\circ$. Конструкция антенны на основе металлических перекрестных диполей дополнена металлическим паразитным слоем и широкоугольным согласующим слоем для расширения рабочей полосы частот (0,96–2 ГГц) и улучшения характеристик при больших углах сканирования ($\pm 30^\circ$). Применение коаксиального балуна и металлического отражающего корпуса обеспечивает сбалансированное питание и снижает взаимную связь между элементами. Антенна отличается простотой конструкции, высокой мощностной стойкостью и перспективна для применения в системах связи и подавления помех.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, двойная поляризация, перекрестный диполь, широкополосная антенна, широкоугольное согласование.

DESIGN OF A PHASED ARRAY ANTENNA WITH DUAL SLANT POLARIZATION

Li Deqiang, V. P. Kudin

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper presents the development of a wideband phased array antenna (PAA) with dual slant polarization of $\pm 45^\circ$. The antenna design, based on metal cross-dipoles, incorporates a metal parasitic layer and a wide-angle matching layer to expand the operating frequency range (0.96–2 GHz) and improve performance at large scanning angles ($\pm 30^\circ$). The use of a coaxial balun and a metal reflector ensures balanced feeding and reduces mutual coupling between elements. The antenna features a simple structure, high power tolerance, and shows promise for applications in communication and jamming systems.

Keywords: phased array antenna, dual polarization, cross dipole, wideband antenna, wide-angle matching.

Антенны с двойной поляризацией востребованы в системах мобильной связи и электронной борьбы для повышения надежности каналов и идентификации поляризационных характеристик сигналов. Существующие решения, такие как микрополосковые и волноводные щелевые антенны, обладают ограниченной полосой пропускания. В данной работе предлагается структура на основе перекрестного диполя, решающая проблему широкополосности и сохранения стабильной двойной поляризации [1, 2].

Основная структура элемента антенны с двойной поляризацией $\pm 45^\circ$ включает ромбовидный металлический компонент, широкоугольный согласующий слой и металлический отражающий желоб. Конструкция основана на перекрестном диполе, при этом размер одного элемента массива установлен в 105 миллиметров. Как показано на рис. 1, элемент антенны использует коаксиальный балун для реализации функций питания и механической поддержки. Инновационная схема питания с перекрестным подвесным полосовым линией эффективно решает проблему синхронного питания двухполяризационного излучающего элемента. Два поляризационных плеча вибратора расположены симметрично в ромбовидной конфигурации и поддерживаются на определенном расстоянии от отражающей пластины. Концы плеч вибратора вытянуты вдоль вертикальной оси Z для регулировки степени связи между элементами и оптимизации широкополосных характеристик согласования по импедансу. Широкоугольный согласующий слой выполнен из материала FR4 и поддерживается пластиковыми стойками, что существенно улучшает характеристики активного коэффициента стоячей волны антенны при больших углах сканирования.

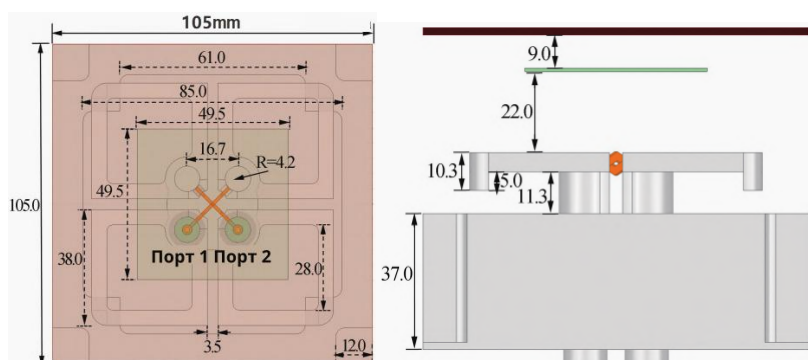


Рис. 1. Модель элемента антенны

Для проверки точности моделирования с периодическими граничными условиями была построена крупномасштабная модель фазированной антенной решетки, охватывающая ограниченную область, с целью сравнительного анализа. Данная модель выполнена в структуре массива 14×16 с виртуальными элементами, расположенными по периметру; фактическая сеть излучающих элементов сокращена до 12×14 столбцов. Конкретная конфигурация массива представлена на рис. 2.

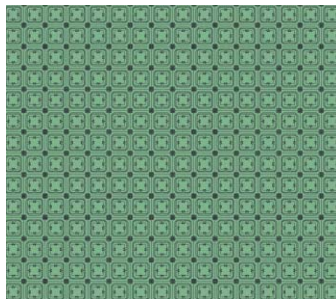


Рис. 2. Схема конструкции фазированной антенной решетки

Фазированная антенная решетка с ромбовидным крестовым дипольным элементом улучшает коэффициент стоячей волны источника при широкоугольном сканировании за счет интеграции металлического паразитного слоя, а дальнейшая оптимизация достигается с помощью широкоугольного согласующего слоя. Одновременно введен металлический отражающий резонатор для регулировки граничных условий между соседними элементами решетки с целью точного контроля эффекта взаимной связи элементов и повышения общей эффективности.

Литература

1. Проектирование и изготовление широкополосной двухполяризованной дипольной решетки для систем 5G / S. Hussain, S. W. Qu, W. L. Zhou [и др.] // IEEE Access. – 2020. – Т. 8. – С. 65155–65163.
2. Антенна миллиметрового диапазона с расширенной полосой пропускания для беспроводных приложений 5G / Y. Ghazaoui, A. E. Alami, M. E. Ghzaoui [и др.] // Journal of Instrumentation. – 2020. – Т. 15, № 1. – Ст. T01003.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИНИАТЮРНОЙ АНТЕННЫ С УЛЬТРАШИРОКИМ ДИАПАЗОНОМ И МНОЖЕСТВЕННЫМ ВХОДОМ И ВЫХОДОМ

Ли Чонг, В. П. Кудин

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Представлена конструкция миниатюрной двухэлементной антенны для систем сверхширокополосной связи с множественными входами и выходами (UWB-MIMO). Антенна состоит из двух симметрично расположенных монополярных излучателей семиугольной формы с С-образными ответвителями и целевой структурой в фидере для расширения полосы. Для повышения изоляции между портами в заземляющем слое выполнены прямоугольные щели с Т-образными и изогнутыми ответвителями. Результаты измерений показывают, что антенна с размерами $25 \times 33 \times 1$ мм³ имеет рабочую полосу частот 2,5–10,8 ГГц и изоляцию между портами >17 дБ.

Ключевые слова: UWB, MIMO, миниатюрная антенна, изоляция между портами.

DESIGN OF A COMPACT ULTRA-WIDEBAND MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-OUTPUT ANTENNA

Li Chong, V. P. Kudin

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper presents the design of a compact dual-element antenna for Ultra-Wideband Multiple-Input Multiple-Output (UWB-MIMO) systems. The antenna comprises two symmetrically arranged heptagonal monopole radiators with C-shaped branches and a slot structure in the feed line to achieve bandwidth expansion. Rectangular slots with T-shaped and curved branches are embedded in the ground plane to enhance port isolation. Measurement results demonstrate that the antenna, with dimensions of $25 \times 33 \times 1 \text{ mm}^3$, operates in the frequency band of 2.5–10.8 GHz and achieves port isolation greater than 17 dB.

Keywords: UWB, MIMO, compact antenna, port isolation.

Технологии UWB и MIMO широко используются в беспроводной связи для повышения скорости передачи данных и устойчивости к замираниям. Однако интеграция UWB и MIMO (UWB-MIMO) предъявляет высокие требования к изоляции антенных элементов и миниатюризации. В работе представлена компактная антенна UWB-MIMO с улучшенной изоляцией [1, 2].

Антенна (рис. 1) реализована на подложке FR4 ($\epsilon = 4,4$, $\text{tg } \delta = 0,02$, $h = 1 \text{ мм}$).

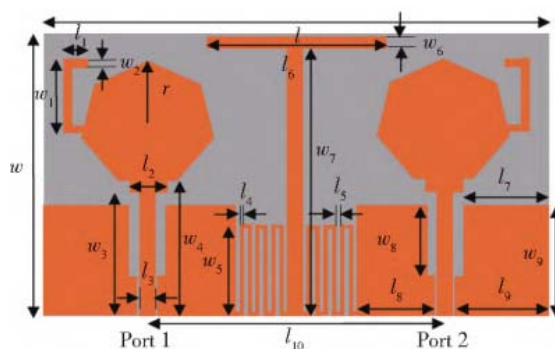


Рис. 1. Схема структуры антенны

Два семиугольных монополя питаются коаксиально-щелевым переходом. Миниатюризация и расширение полосы достигнуты за счет С-образных ответвителей и пар прямоугольных щелей в фидере. Изоляция улучшена путем введения в заземляющий слой прямоугольных щелей с Т-образными элементами и изогнутыми ответвителями. Геометрические параметры оптимизированы (см. таблицу).

Геометрические параметры антенны

Parameter	ω	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7
Value (mm)	25	7	0,8	10,3	11,1	7,4	1	23,8
Parameter	ω_1	ω_1	l	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5
Value (mm)	6,4	8,4	33	1,8	3,3	1,3	0,2	0,2
Parameter	l_6	l_7	l_8	l_9	l_{10}	r		

На рис. 2 показан процесс улучшения изоляции и S-параметры структур:

Ant1: базовая структура MIMO (изоляция > 5 дБ);

Ant2: добавлены щели с Т-образными ответвителями (изоляция > 13 дБ);

Ant3: добавлены изогнутые ответвители (изоляция > 17 дБ в полосе 2,5–10,8 ГГц).

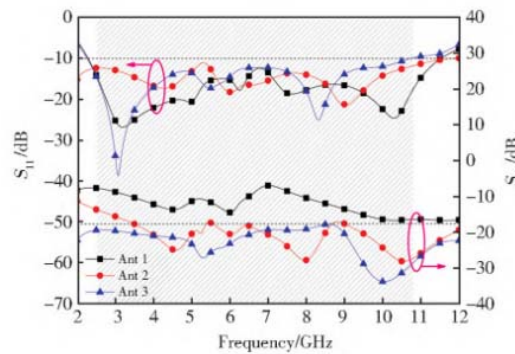


Рис. 2. Процесс улучшения степени изоляции антенны

Анализ распределения поверхностного тока (рис. 3) подтверждает, что Т-образные элементы подавляют связь в широкой полосе, а изогнутые ответвители дополнительно улучшают изоляцию на нижних частотах.

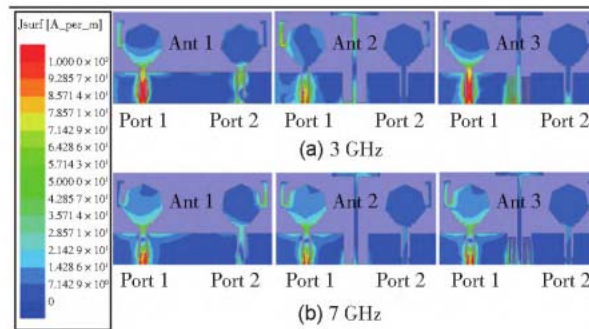


Рис. 3. Распределение электрического тока на поверхности антенны

Проведен анализ чувствительности. Длина вертикального плеча Т-образного ответвителя (L_{t1}) и длина изогнутого ответвителя (L_a) существенно влияют на изоляцию (рис. 4, 5). Оптимизация этих параметров позволила достичь изоляции > 17 дБ в рабочей полосе.

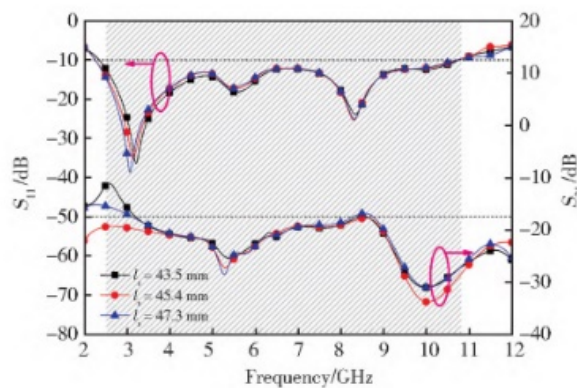


Рис. 4. Различия ω_7 влияние на S-параметры

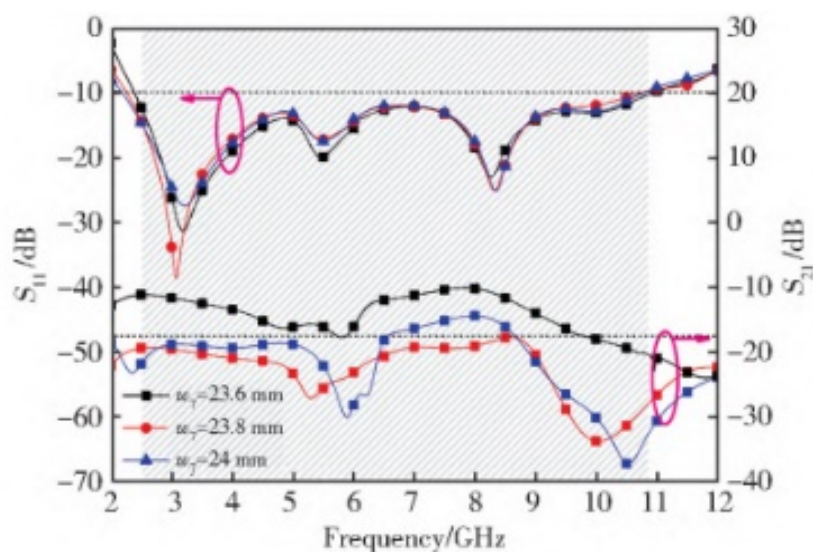


Рис. 5. Различия l_s влияние на S-параметры

Разработана миниатюрная антенна UWB-MIMO. Применение С-образных ответвителей и щелей в фидере обеспечило широкополосность и миниатюризацию, а комбинация Т-образных и изогнутых ответвителей в заземляющем слое – высокую изоляцию между портами (> 17 дБ). Антенна подходит для применения в компактных UWB-устройствах.

Литература

1. Компактная МИМО-антенна с двойной полосой подавления для ультраширокополосных беспроводных систем / Y. Zhao, F. S. Zhang, L. X. Cao [и др.] // Успехи в исследовании электромагнитных явлений. – 2019. – № 89. – Р. 161–169.
2. Компактная МИМО-антенна со смещенным микрополосковым возбуждением и полосой подавления для ультраширокополосных приложений. IEEE / L. Kang, H. Li, X. H. Wang [и др.] // Антенны и беспроводные распространительные письма. – 2015. – № 14. – С. 1754–1757.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В РЕГИОНАХ С ВЫСОКОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Т. Б. Эсанов

*Каршинский государственный технический университет,
Республика Узбекистан*

Рассмотрены перспективы использования современных электронно-солнечных электрических зарядных станций для обеспечения энергоэффективности электромобилей. Охарактеризованы основные компоненты таких станций, включая фотоэлектрические панели, аккумуляторные батареи и системы управления энергией.

Ключевые слова: электронно-солнечные электрические зарядные станции, солнечная энергия, электрическая сеть, аккумуляторные батареи, системы управления энергией.

PROSPECTS FOR USING MODERN ELECTRONIC-SOLAR ELECTRIC CHARGING STATIONS TO ENSURE THE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTROMOBILES IN REGIONS WITH HIGH SOLAR ACTIVITY

T. B. Esanov

Karshi State Technical University, Republic of Uzbekistan

The article examines the prospects of using modern electronic-solar electric charging stations to ensure the energy efficiency of electric vehicles. The main components of such stations, including photovoltaic panels, batteries, and energy management systems, have been described.

Keywords: electronic-solar electric charging stations, solar energy, electrical grid, battery banks, energy management systems.

Традиционные транспортные средства, работающие на ископаемом топливе, оказывают значительное воздействие на окружающую среду, способствуя увеличению выбросов парниковых газов и загрязнению воздуха.

В связи с этим, в последние годы происходит активный переход к использованию электромобилей, которые демонстрируют высокую энергоэффективность и практически не создают прямых выбросов в процессе эксплуатации.

Одним из перспективных направлений в этой области являются электронно-солнечные электрические зарядные станции, которые сочетают в себе использование солнечной энергии и энергии из электрической сети. Такие станции способны обеспечивать более устойчивое и экономически эффективное решение для зарядки электромобилей, особенно в регионах с высокой солнечной активностью [1, 3].

Актуальность внедрения электронно-солнечных электрических зарядных станций заключается в их способности повысить энергоэффективность всей транспортной системы.

Электронно-солнечные электрические зарядные станции представляют собой комплексную энергетическую систему, сочетающую в себе использование солнечной энергии и электроэнергии из централизованной сети. Их структура включает в себя несколько ключевых компонентов, которые работают в тесной интеграции:

- фотоэлектрические панели (солнечные батареи) - они преобразуют солнечное излучение в электричество с использованием полупроводниковых материалов;

- система управления энергией – интеллектуальный контроллер, который оптимизирует распределение энергии между солнечными панелями, аккумуляторами и электрической сетью, обеспечивая бесперебойное питание и максимальную энергоэффективность [2, 3].

Электронно-солнечные электрические зарядные станции имеет ряд преимуществ, эти преимущества можно разделить на экологические, технические и экономические аспекты:

- снижение выбросов CO₂, использование солнечной энергии позволяет существенно сократить углеродный след, особенно в регионах с высокой солнечной активностью;

- сохранение природных ресурсов, снижается потребность в электроэнергии, производимой с использованием ископаемого топлива, что способствует устойчивому использованию природных ресурсов;

- интеллектуальное управление энергией, система управления позволяет оптимально распределять нагрузку, снижая пиковые нагрузки на сеть и увеличивая общую энергоэффективность;

– уменьшение эксплуатационных расходов, электронно-солнечные электрические зарядные станции требуют минимального технического обслуживания благодаря высокой надежности солнечных панелей и современных аккумуляторных систем.

Современные электронно-солнечные электрические зарядные станции используют передовые технологии для оптимизации процесса зарядки электромобилей. Основная задача заключается в обеспечении быстрого, безопасного и эффективного заряда с минимальными потерями энергии и снижением нагрузки на электросети.

Технологии зарядки:

– быстрые зарядные устройства позволяют зарядить батарею электромобиля на 80 % за 30–40 минут;

– используется переменный ток с мощностью от 7 до 22 кВт. Данный способ подходит для зарядки в ночное время или в местах с низкой нагрузкой на сеть.

Применение современных технологий зарядки и систем хранения энергии позволяет значительно повысить эффективность электронно-солнечных электрических зарядных станций [1–3].

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

– интеграция интеллектуальных систем управления в электронно-солнечные электрические зарядные станции открывает новые возможности для оптимизации энергопотребления и повышения устойчивости всей энергетической системы;

– интеллектуализация и экологическая устойчивость являются ключевыми направлениями развития электронно-солнечных электрических зарядных станций. Благодаря применению современных технологий управления и хранения энергии, электронно-солнечные электрические станции способны существенно сократить углеродный след и обеспечить надежное энергоснабжение, что соответствует мировым тенденциям перехода к экологически чистой и устойчивой энергетике.

Л и т е р а т у р а

1. Иванов, И. И. Энергоэффективные технологии в электроэнергетике / И. И. Иванов, П. П. Петров. – М. : Энергия, 2018. – 320 с.
2. Нуриев, Ш. А. Энергетика и экология / Ш. А. Нуриев, Ж. Н. Алимов. – Т. : Фан ва технологиялар, 2022. – 300 с.
3. Рахимов, И. Ж. Технологии повышения эффективности зарядных станций / И. Ж. Рахимов, Ф. Н. Исмоилов – Т. : Университет, 2023. – 290 с.

Научное издание

ERA – СОВРЕМЕННАЯ НАУКА: ЭЛЕКТРОНИКА, РОБОТОТЕХНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ

МАТЕРИАЛЫ

**II Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых**

Гомель, 30–31 октября 2025 года

Ответственный за выпуск *Н. Г. Мансурова*

В авторской редакции

Компьютерная верстка *И. П. Минина*

Подписано в печать 24.06.26.

Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 36,73. Уч.-изд. л. 33,16.

Тираж 10 экз. Заказ № 305/5.

Издатель и полиграфическое исполнение

Гомельский государственный

технический университет имени П. О. Сухого.

Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя

печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48