МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

59-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов

«ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЙ, ЭКОНОМИКИ, ОБЩЕСТВА»
(Education and Science in the development of Technology, Economy and Society ESTES-2026)

в четырёх томах

ТОМ 4

Витебск
2026

УДК 67/68
ББК 37.2

Сборник содержит материалы докладов 59-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов «Образование и наука в развитии технологий, экономики, общества» (Education and Science in the development of Technology, Economy and Society ESTES-2026) по общественным, физико-математическим, химическим, экономическим наукам, технологии легкой промышленности, машиностроению, автоматизации, охране труда и промышленной экологии, состоявшейся в УО «Витебский государственный технологический университет» 15–16 апреля 2026 года.

Редакционная коллегия:
Полозков Ю. В., к.т.н., доц., Субботин А. А., к.и.н., доц.,
Костырева С. С., к.филол.н., доц., Грузневич Е. С., к.э.н.,
Краенкова К. И., к.э.н., доц., Советникова О. П., к.э.н., доц., Дём О. Д., к.э.н., доц.,
Ванкевич Е. В., д.э.н., проф., Карпушенко И. С., Никонова Т. В., к.ф.-м.н., доц.,
Ясинская Н. Н., д.т.н., доц., Гордецкий А. А., Рыклин Д. Б., д.т.н., проф.,
Довыденкова В. П., к.т.н., Абрамович Н. А., к.т.н., доц., Буркин А. Н., д.т.н., проф.,
Казаков В. Е., к.т.н., доц., Науменко А. М., к.т.н., Жерносек С. В., к.т.н., доц.,
Савицкий В. В., к.т.н., доц., Гришаев А. Н.

Тексты набраны с авторских оригиналов.

Редакционная коллегия приносит извинения за возможные неточности, возникшие в процессе компьютерной верстки издания.

УДК 67/68
ББК 37.2

© УО «ВГТУ», 2026

РАЗДЕЛ 4
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

4.5 Информационные системы и технологии

УДК 004.9

ЛИЧНЫЙ КАБИНЕТ АБИТУРИЕНТА ВГТУ

Бизюк А. Н., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В работе рассмотрена информационная система личного кабинета абитуриента ВГТУ и ее интеграция с системой приемной комиссии. Решение предназначено для переноса значительной части процедур подачи документов в электронную среду: заполнения анкеты, выбора приоритетов специальностей, ввода сведений об образовании и передачи документов. Архитектура построена на базе двух связанных Laravel-приложений, обменивающихся данными через REST API. Использование Livewire-компонентов позволяет реализовать интерактивный интерфейс без разработки отдельного JavaScript-клиента, а серверная валидация, разграничение доступа и синхронизация справочников обеспечивают надежность обработки данных.*

Ключевые слова: личный кабинет абитуриента, приемная комиссия, Laravel, Livewire, REST API, PostgreSQL, автоматизация приема документов.

Цифровизация приемной кампании является одной из актуальных задач университета, поскольку традиционный порядок подачи документов требует личного присутствия абитуриента и значительных трудозатрат сотрудников приемной комиссии. При большом количестве заявлений ручная обработка анкет, документов об образовании, результатов испытаний и приоритетов специальностей повышает риск ошибок, задержек и дублирования информации. Целью разработки стало создание информационной системы, позволяющей абитуриенту выполнять основные действия удаленно, а сотрудникам приемной комиссии получать структурированные данные для дальнейшей проверки и принятия решений.

Разработанное решение состоит из двух взаимосвязанных подсистем. Первая подсистема vstu-cabinet представляет собой личный кабинет абитуриента. В ней пользователь регистрируется, заполняет персональные данные, указывает контактную информацию и адреса, добавляет сведения об образовании, вводит результаты и реквизиты документов, формирует список приоритетов по специальностям и формам обучения. Вторая подсистема admission используется сотрудниками приемной комиссии и содержит рабочие места для просмотра заявлений, редактирования данных, ведения справочников, формирования списков, протоколов, отчетов, статистики, резервного копирования и аудита действий пользователей. Общая архитектура информационной системы представлена на рисунке 1.

Технологической основой обеих подсистем выбран фреймворк Laravel 13. Для личного кабинета используется PHP 8.4, Laravel Fortify для регистрации и аутентификации, Livewire 4.1, Flux UI 2, Tailwind CSS 4 и Vite. Интерфейс приемной комиссии работает на PHP 8.4, Laravel 13, Livewire 4.2, Livewire Volt, Mary UI, DaisyUI, Blade FontAwesome, PhpSpreadsheet и PhpWord. В качестве системы управления базами данных используется PostgreSQL. Выбранный стек обеспечивает единый подход к серверной разработке, декларативное описание связей между сущностями через Eloquent ORM, удобную валидацию входных данных и быстрый вывод интерактивных экранов без создания отдельного SPA-приложения.

Основной сущностью предметной области является анкета абитуриента. В модели данных она представлена сущностью Abitur, связанной с учетной записью пользователя, документами,

сведениями об образовании, льготами, выбранными приоритетами и справочниками приемной кампании. Для описания конкурсных условий используются модели плана приема, групп специальностей, требований и правил. Такая структура позволяет отдельно хранить постоянные справочные данные и изменяемые данные конкретного абитуриента, а также применять единые правила проверки комплектности документов и соответствия выбранных приоритетов условиям приема.

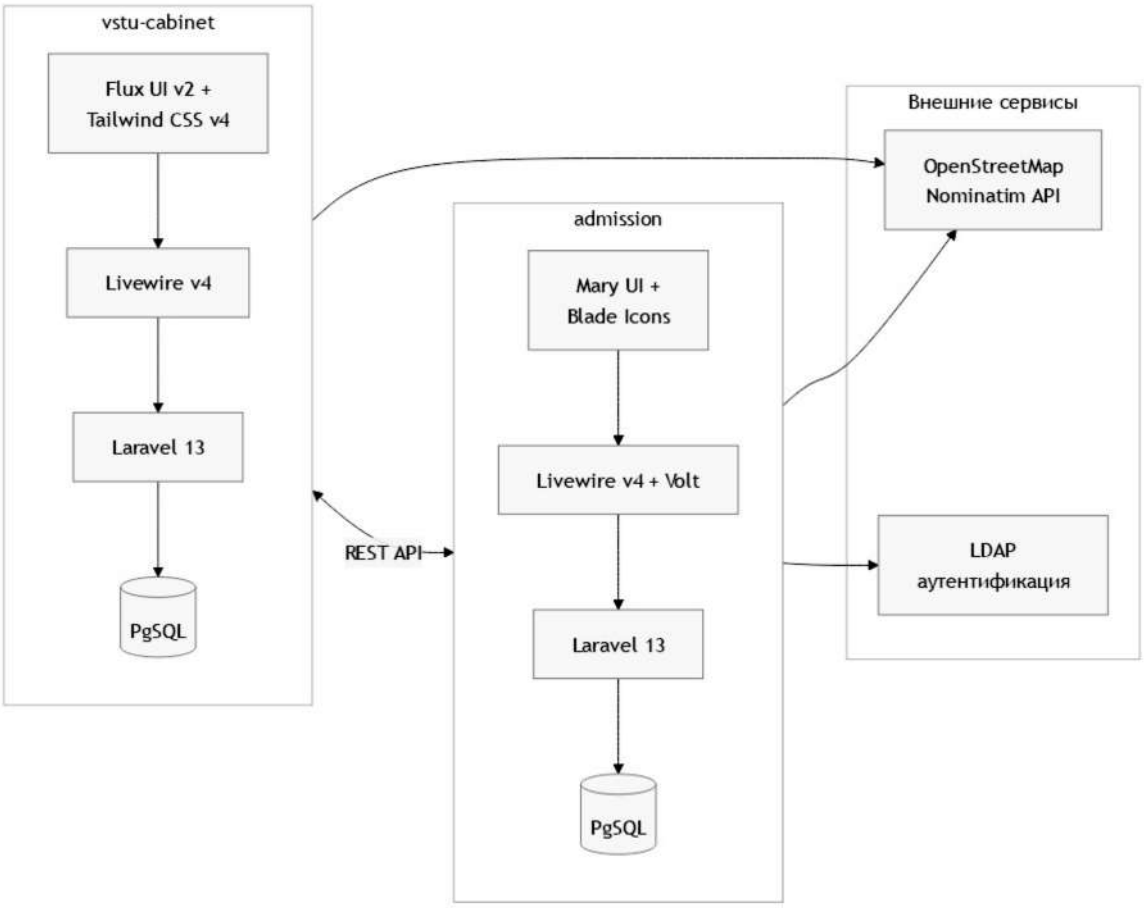


Рисунок 1 – Архитектура информационной системы личного кабинета абитуриента

Интерфейс личного кабинета построен как набор Livewire-компонентов. Отдельные страницы отвечают за личную карточку, образование, документы и приоритеты. На стороне администратора личного кабинета реализованы панель управления, список пользователей, список абитуриентов и редактор анкеты. Компоненты AdminPriorityManager, AdminEducationManager, AdminDocumentManager и AdminLgotManager разделяют работу с различными разделами анкеты, что упрощает сопровождение и уменьшает связанность кода. Навигация с применением Livewire обеспечивает обновление экранов без полной перезагрузки страницы, а компоненты Flux UI и Tailwind CSS формируют адаптивный интерфейс, пригодный для работы как на настольных компьютерах, так и на мобильных устройствах.

Для повышения удобства заполнения адресных данных используется интеграция с OpenStreetMap Nominatim API. При вводе населенного пункта или адреса пользователь получает варианты автодополнения, а выбранные сведения сохраняются в структуру местоположения. Это снижает количество ошибок ручного ввода и облегчает последующую обработку адресов. В системе приемной комиссии дополнительно реализована интеграция с LDAP для аутентификации сотрудников, что позволяет использовать существующую инфраструктуру учетных записей организации.

Обмен данными между подсистемами реализован через REST API с использованием Bearer-токена. Личный кабинет предоставляет набор маршрутов для проверки состояния синхронизации, передачи справочников, планов приема, требований, правил, анкет, приоритетов, документов, файлов и результатов зачисления. Система приемной комиссии обращается к этим маршрутам для получения заявлений, поиска абитуриента по электронной почте или документу, а также для синхронизации справочных данных. Наличие отдельных операций полной и частичной синхронизации позволяет передавать как весь набор данных, так и только измененные сущности.

Важным требованием к системе является обеспечение достоверности и защищенности данных. В личном кабинете используется аутентификация Laravel Fortify, CSRF-защита форм, серверная валидация Livewire и разграничение доступа через middleware для обычных пользователей и администраторов. Доступ сотрудников к системе приемной комиссии ограничивается ролями и middleware, а действия пользователей фиксируются в журнале аудита. Работа с базой данных выполняется средствами Eloquent ORM и параметризованных запросов, что снижает риск SQL-инъекций. Для эксплуатационной надежности в системе приемной комиссии предусмотрены механизмы резервного копирования и восстановления данных, а также ведение логов.

Практический результат разработки заключается в создании двухкомпонентной информационной системы, закрывающей основные этапы электронной подачи и обработки документов абитуриентов. Личный кабинет снижает необходимость личного обращения в приемную комиссию на начальном этапе, структурирует ввод данных и делает процесс более понятным для пользователя. Система приемной комиссии получает централизованный инструмент для проверки анкет, управления справочниками, формирования отчетных материалов и контроля хода приемной кампании. Использование единого технологического стека, компонентного интерфейса и REST-интеграции обеспечивает возможность дальнейшего развития решения: добавления новых проверок, расширения набора отчетов, интеграции с внешними государственными сервисами и совершенствования аналитики приема.

Таким образом, разработанная информационная система повышает эффективность приемной кампании ВГТУ за счет автоматизации сбора, проверки и передачи данных абитуриентов. Решение уменьшает долю ручных операций, снижает вероятность ошибок при вводе сведений, обеспечивает прозрачность работы сотрудников приемной комиссии и формирует технологическую основу для дальнейшего развития электронных сервисов университета.

Список использованных источников

1. Laravel documentation : [сайт]. – URL: https://laravel.com/docs (дата обращения: 17.05.2026). – Текст : электронный.
2. Livewire documentation : [сайт]. – URL: https://livewire.laravel.com/docs (дата обращения: 17.05.2026). – Текст : электронный.
3. PostgreSQL documentation : [сайт]. – URL: https://www.postgresql.org/docs/ (дата обращения: 17.05.2026). – Текст : электронный.
4. OpenStreetMap Nominatim documentation : [сайт]. – URL: https://nominatim.org/release-docs/latest/ (дата обращения: 17.05.2026). – Текст : электронный.
5. OWASP Cheat Sheet Series : [сайт]. – URL: https://cheatsheetseries.owasp.org/ (дата обращения: 17.05.2026). – Текст : электронный.

УДК 535.375.51

ПРИЛОЖЕНИЕ НА C# ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ МУЛЬТИПЛЕТА $^5I_7$ иона Ho^{3+}

Андреев В. С., студ., Дунина Е. Б., к.ф.-м.н., доц., Корниенко А. А., д.ф.-м.н., проф.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *Разработано приложение на C# с удобным интерфейсом для моделирования зависимости времени жизни мультиплета $^5I_7$ иона Ho^{3+} в диапазоне температур от 10 К до 300 К. Оптимальные значения модели определяются методом покоординатного спуска на основе экспериментальных данных. Разработанное приложение под именем «Ho^{3+} Lifetime Calculator» в состав сайта, содержащего приложения для моделирования температурной зависимости времени жизни мультиплетов ионов неодима и гольмия.*

Ключевые слова: гольмий, неодим, время жизни мультиплетов.

В настоящее время наблюдается резкое уменьшение в публикации теоретических работ по сравнению с экспериментальными в области спектроскопии лазерных материалов, активированных редкоземельными элементами. В эпоху бурного развития компьютерной техники и широкой доступности вычислительных ресурсов на первый взгляд такая ситуация выглядит противоречивой. Дело в том, что для выполнения экспериментальных технологических этапов используются установки с компьютерным управлением и удобным и достаточно простым интерфейсом. К сожалению, очень мало работ, в которых сообщается о создании приложений в современной среде программирования с удобными интерфейсами для теоретических расчетов спектроскопических характеристик лазерных материалов. В данной работе предложена разработка приложения на *C#* с удобным интерфейсом для моделирования такой важной характеристики активных сред как температурная зависимость времени жизни лазерного уровня.

Излучательное время жизни вычисляется через вероятности спонтанных переходов

$$\tau_J = \frac{1}{\sum_{J'} A_{JJ'}}.$$

Вероятности спонтанных переходов зависят от сил осцилляторов

$$A_{JJ'} = \frac{8\pi^2 e^2 n^2 \sigma_{JJ'}^2}{mc} f_{JJ'}$$

Здесь e – заряд электрона, n – показатель преломления среды, $\sigma_{JJ'}$ – среднее волновое число в см$^{-1}$, т – масса электрона, c – скорость света. Для вычисления вероятностей межмультиплетных переходов с учетом температурной заселенности исходного мультиплета J в работе [1] предложена формула:

$$A_{JJ'} = \frac{8\pi^2 e^2 n^2}{mc} \frac{f_{JJ'}^{J-O}}{\sigma_{JJ'} \cdot (2J+1)} \sum_j \sum_i \frac{Kc(\Gamma_i) SR\left(\Gamma_i, \Gamma_j'\right) \sigma_{\Gamma_i \Gamma_j'}^3 g(\Gamma_i) g(\Gamma_j') \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E_{\Gamma_i}}{kT}\right)}{Z}. \quad (1)$$

В формуле 1 с помощью корректирующих коэффициентов Kc можно учитывать различие в вероятностях переходов с разных штарковских компонент, $SR(\Gamma_i, \Gamma_j)$ – матрица правил отбора излучательных переходов, $\sigma_{\Gamma i, \Gamma j}$ – волновое число перехода

из компоненты с неприводимым представлением Γ_i мультиплета J на компоненту с неприводимым представлением Γ_j мультиплета J', $_{\Delta}E_{\Gamma i} = E_{\Gamma i} - E_{\Gamma l}$ – энергия компоненты с неприводимым представлением Γ_i мультиплета J относительно компоненты с наименьшей энергией этого мультиплета, k – постоянная Больцмана, через Z обозначена статистическая сумма:

$$Z = \sum_i g_i \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E_i}{kT}\right),$$

где g_i – степень вырождения уровня E_i.

Программирование компьютерного моделирования времени жизни мультиплета $^5I_7$ иона Ho^{3+} выполнено по формуле (1) таким же способом как описано в работе [2] для неодима.

Прежде всего необходимо ввести спектроскопические характеристики возбужденного $^5I_7$ и основного $^5I_8$ мультиплетов иона гольмия как это показано на рисунке 1.

На этой вкладке необходимо задать параметры мультиплетов

– $^5I_7$ Multiplet (верхний уровень) – количество компонентов (1–12), их энергии (см$^{-1}$) и коэффициенты Kc.

– $^5I_8$ Multiplet (нижний уровень) – количество компонентов (1–12) и их энергии (см$^{-1}$).

Это основа физической модели – энергетическая структура электронных уровней Ho^{3+}.

Для выполнения компьютерного моделирования необходимо ввести экспериментальные данные в форме, показанной на рисунке 2.

График компьютерного моделирования экспериментальной зависимости времени жизни мультиплета $^5I_7$ иона Ho^{3+} представлен на рисунке 3.

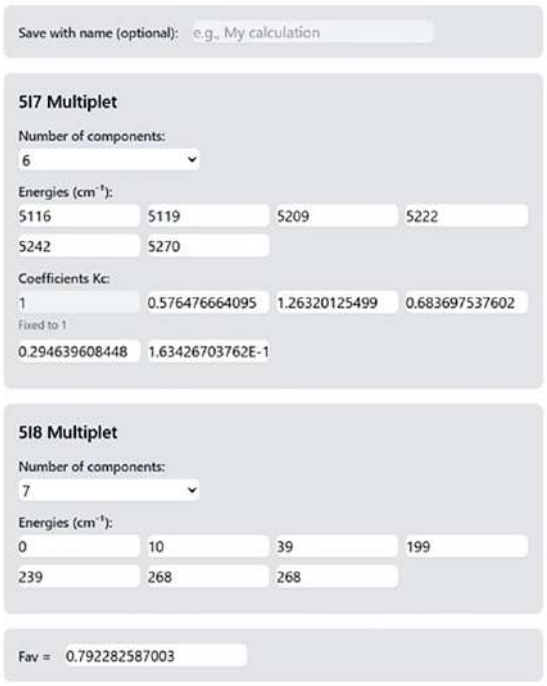


Рисунок 1 – Образец формы ввода характеристик мультиплетов «Input Data»



Рисунок 2 – Вкладка «Experimental Data»

Моделирование температурной зависимости времени жизни выполнено в интервале от 10 К до 300 К. Выбор коэффициентов Kc выполнен с помощью программы оптимизации по методу покоординатного спуска.

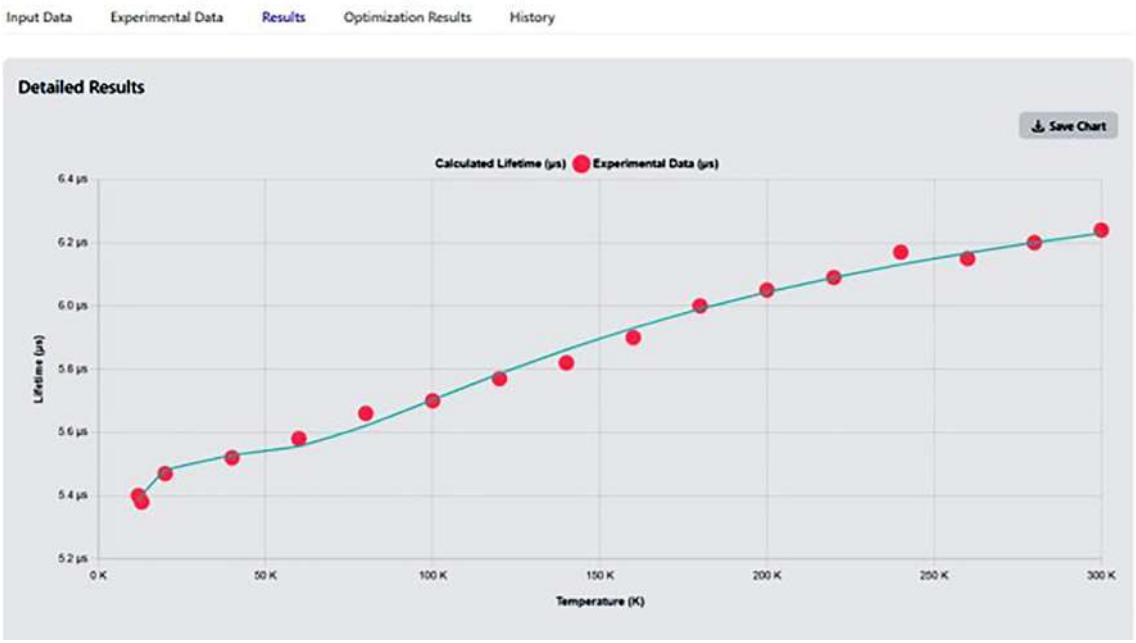


Рисунок 3 – Точки – экспериментальные значения, линия – результат компьютерного моделирования (вкладка «Results»)

Список использованных источников

1. Kornienko, A. Optical Materials / A. Kornienko, P. Loiko, E. Dunina, L. Fomicheva, A. Kornienko // Optical Materials. – 2024. – Vol. 148. – Art. 114808. – 9 p.
2. Корниенко, А. А. Вестник Витебского государственного технологического университета / А. А. Корниенко, В. С. Андреев, Ант. А. Корниенко, Е. Б. Дунина, А. С. Соколова, К. О. Воронцова // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2025. – № 2 (52). – С. 92–99.

УДК 004.41:658.516

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СОГЛАСНО IATF16949:2016

Барановский В. О., студ., Деркаченко П. Г., ст. преп., Казаков В. Е., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В работе представлено приложение для автоматизации подготовки технологической документации предприятия. Архитектура построена на основе трехслойной модели MVC, обеспечивающей масштабируемость и разделение ответственности. Разработана нормализованная база данных и реализован обмен данными через DTO с использованием MapStruct. Система поддерживает создание, редактирование, поиск и генерацию документов MS Word. Применение решения снижает трудозатраты, минимизирует ошибки и обеспечивает соответствие требованиям стандарта.*

Ключевые слова: технологическая документация, Java, Spring, MySQL, JavaFX, MVC-архитектура, MapStruct, Apache POI, генерация документов MS Word.

Современное производство автокомпонентов и приборной продукции на мощностях ОАО «Витебский завод электроизмерительных приборов» (ВЗЭП) регламентируется стандартом менеджмента качества IATF 16949:2016. Одним из основных его требований является эффективное управление документацией, в которой должен быть строго зафиксирован весь технологический процесс производства. До внедрения программного обеспечения технологи завода осуществляли подготовку и контроль документов вручную, что приводило к высоким временным затратам, а опечатка в одной цифре могла стать причиной несоответствия стандарту и срыва аудитов. Таким образом, целью данного проекта стала разработка программного продукта для автоматизации процессов формирования и хранения технологической документации с учетом специфики ОАО «ВЗЭП». Проект призван устранить проблемы ручного создания документов и превратить бюрократическую работу в защищенный автоматизированный процесс.

Основой программного решения послужил стек технологий: Java 23, фреймворк Spring Boot 3.x, Hibernate ORM и реляционная система управления базами данных (СУБД) MySQL 8.0. Пользовательский графический интерфейс (GUI) реализован с применением технологии JavaFX.

Архитектурной особенностью проекта является применение парадигм Enterprise-разработки в рамках Desktop-приложения. Проект построен на базе строгой трехслойной MVC-архитектуры: слой представления (JavaFX), слой бизнес-логики (Spring Services) и слой доступа к данным (Spring Data JPA Repositories). Внедрение IoC-контейнера Spring позволило эффективно управлять пулами соединений с базой данных (БД), транзакциями и зависимостями, полностью изолировав логику работы с данными от графического интерфейса.

В ходе работы была спроектирована нормализованная реляционная БД:

– Docpackage (пакет документов) – корневая сущность, хранящая системную информацию, пути к файлам в сетевых папках предприятия и базовые атрибуты изделия.

– SborEd (сборочная единица/деталь) и Oper (технологическая операция) – сущности, ссвязанные с корневой таблицей связью типа «один-ко-многим» (One-To-Many).

– func (производственная функция) – сущность нижнего уровня, подчиненная технологической операции, описывающая конкретные специальные характеристики или параметры приборов и деталей.

– type_oper (типовые операции) – справочная таблица для хранения типовых операций. Связи: «один-ко-многим» (oper), «один-ко-многим» (type_oper_func).

– type_oper_func (функции типовых операций) – справочник для функций, которые могут входить в типовую операцию. Связь: «один-ко-многим» (func).

Связи между таблицами реализованы с использованием суррогатных первичных ключей (BIGINT с атрибутом AUTO_INCREMENT) и механизмов внешних ключей (FOREIGN KEY). Выбранная структура гарантирует ссылочную целостность и исключает появление аномалий при модификации данных технологами. Управление связанными сущностями внутри БД реализовано через механизмы каскадирования, что позволяет СУБД автоматически управлять жизненным циклом дочерних записей при удалении или сохранении родительского пакета документов.

Также было разработано приложение, обладающее следующим функционалом: создание нового пакета документов, осуществление поиска пакета документов, редактирование выбранного пакета документов, удаление выбранного пакета документов.

Пользователь вводит в окно создания нового пакета документов исходные данные, которые сохраняются как в БД, так и в шаблонах документов MS Word. Имя папки для сохранения задаёт пользователь. Для передачи данных между БД и пользовательским интерфейсом приложения был внедрен паттерн Data Transfer Object (DTO): сущности БД инкапсулированы внутри транзакционного слоя и перед передачей на клиент преобразуются в независимые DTO-объекты. Процесс маппинга автоматизирован с помощью кодогенератора MapStruct. При сохранении новых данных производится проверка их корректности, и в случае неудачной проверки отображается всплывающее окошко с описанием ошибки. Механизм сохранения документации следующий: слой бизнес-логики формирует DTO-объекты, содержащие

информацию о соответствующих документах, и передает его в модуль генерации, построенный на базе библиотеки Apache POI. Генератор осуществляет итерации по подготовленным спискам и делает автоматическую подстановку значений в соответствующие ячейки таблиц шаблонов MS Word.

Для эффективной навигации по массиву данных в БД реализован графический интерфейс фильтрации и поиска (рис. 1). Поиск осуществляется средствами Spring Data JPA, что исключает необходимость написания SQL-запросов и обеспечивает кроссплатформенность на уровне СУБД.



Рисунок 1 – Окно поиска пакета документов

Одной из ключевых задач проектирования стала реализация механизма обновления пакета документов. В связи со спецификой предметной области (частое изменение порядка и состава технологических операций при модернизации приборов) алгоритм обновления построен на принципе каскадной очистки устаревших дочерних коллекций и записи актуальных массивов данных как в БД, так и в файловую систему. Изменённые документы сохраняются в папку с префиксом «копия». Обновление документов в файловой системе основывается на применении закладок в текстовом процессоре MS Word с использованием библиотеки Sphere.

Таким образом, в результате выполнения работы спроектирован и реализован надежный, масштабируемый программный продукт для сохранения и обработки технологической документации, используемой на ОАО «ВЗЭП». Разработанное приложение автоматизирует рутинные процессы создания пакетов документов, минимизирует риски ошибок ручного ввода и полностью удовлетворяет требованиям стандарта IATF 16949:2016 к процессам производственного документооборота.

Список использованных источников

1. Fowler, M. Patterns of enterprise application architecture / M. Fowler. – Boston : Addison-Wesley, 2002. – 533 p.
2. Hibernate ORM documentation : [сайт]. – URL: https://hibernate.org/orm/documentation/ (дата обращения: 10.04.2026). – Текст : электронный.
3. MapStruct Reference Guide : [сайт]. – URL: https://mapstruct.org/documentation/stable/reference/html/ (дата обращения: 10.04.2026). – Текст : электронный.
4. Apache POI : [сайт]. – URL: https://poi.apache.org/ (дата обращения: 10.04.2026). – Текст : электронный.
5. OpenJFX. JavaFX documentation : [сайт]. – URL: https://openjfx.io/openjfx-docs/ (дата обращения: 10.04.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.415:378.14

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СЕРВИСА ДЕКАНАТА УНИВЕРСИТЕТА

Федоров В. П., маг., Корниенко А. А., д.ф.-м.н., проф., Ринейский К. Н., нач. ЦИТ
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В данной статье рассматривается проектирование архитектуры REST-сервиса «Деканат» для автоматизации работы деканата университета. Предложена модульная монолитная архитектура, описаны её основные модули (core, app, models, old, runner) и три контура взаимодействия: между внутренними модулями, между дочерними модулями и ядром, а также между сервисом и внешними приложениями университета. Обоснован выбор REST-стиля архитектуры и многослойного модульного подхода.*

Ключевые слова: REST-архитектура, модульная монолитная архитектура, Spring Framework, проектирование, сервис деканата, университет.

Информационная система «Деканат» представляет собой комплекс программных средств, предназначенных для сбора, хранения и обработки данных о студентах, их успеваемости, пропусках занятий, дисциплинах, преподавателях, учебных планах и экзаменационных ведомостях. Деканат университета является структурным подразделением, осуществляющим организацию и контроль учебной работы студентов, ведение личных дел, учёт успеваемости, назначение стипендий и другие административные функции. Основной целью автоматизации является обеспечение эффективного управления учебным процессом и своевременная обработка документооборота, связанного с движением контингента студентов. В связи с тем, что практически все сервисы университета опираются на данные приложения «Деканат», новая система должна быть максимально гибкой и удобной для разработки и поддержки.

В результате изучения требований к системе для реализации сервиса была выбрана REST-архитектура. REST (Representational State Transfer) – это стиль архитектуры программного обеспечения для распределённых систем, который определяет ряд принципов проектирования Web-сервисов, ориентированных на системные ресурсы, включая способы обработки и передачи состояний ресурсов по HTTP [3]. REST следует четырём базовым принципам проектирования: явное использование HTTP-методов, несохранение состояния, предоставление URI, аналогичных структуре каталогов, и передача данных в XML или JSON. Явное использование HTTP-методов устанавливает однозначное соответствие между операциями CRUD и HTTP-методами: для создания ресурса используется POST, для извлечения – GET, для обновления – PUT, для удаления – DELETE. Представление системных ресурсов через RESTful API обеспечивает гибкий способ предоставления данных различным приложениям в стандартном формате и позволяет строить на основе набора базовых RESTful-сервисов более крупные конструкции.

Учитывая требования и стек разработки, была разработана модульная монолитная архитектура, позволяющая поддерживать единый стиль кода и ускоряющая параллельную разработку. Архитектура состоит из пяти модулей. Ядро (core) хранит базовые сущности, репозитории, сервисы, контроллеры и конфигурацию безопасности; данный модуль может использоваться для создания микросервисных приложений, совместимых с текущим. Модуль моделей (models) содержит описание всех сущностей, перечислений, ответов и любых других объектов, переиспользуемых в других проектах или модулях. Модуль приложения (app) включает основную логику сервиса и его REST-API. Модуль миграции (old) позволяет переносить и поддерживать в актуальном состоянии данные из старой базы данных. Модуль загрузчика (runner) предназначен для запуска сервиса, подключения всех модулей и компоновки jar-файла при сборке. Модульность архитектуры позволяет легко добавлять или удалять модули из приложения, а модуль ядра даёт возможность писать только тот код, который реально необходим.

Архитектура сервиса предусматривает три контура взаимодействия (рис. 1). Первый контур – между модулями деканата (core, app, models, old). Второй контур – между дочерними модулями и ядром (account, schedule, timetable, ebook, study-plans). Третий контур – между Universe (REST-сервис «Деканат») и внешними сервисами университета (Auth-сервис, рейтинг преподавателей, старая версия «Деканат»). Каждый модуль дочернего контура может быть выделен в отдельный микросервис при необходимости, например, при высокой нагрузке и необходимости масштабирования. Для вынесения модуля в микросервис необходимо собрать модуль и все его зависимости (обычно core, models, app), а также настроить слой совместимости для взаимодействия через API.

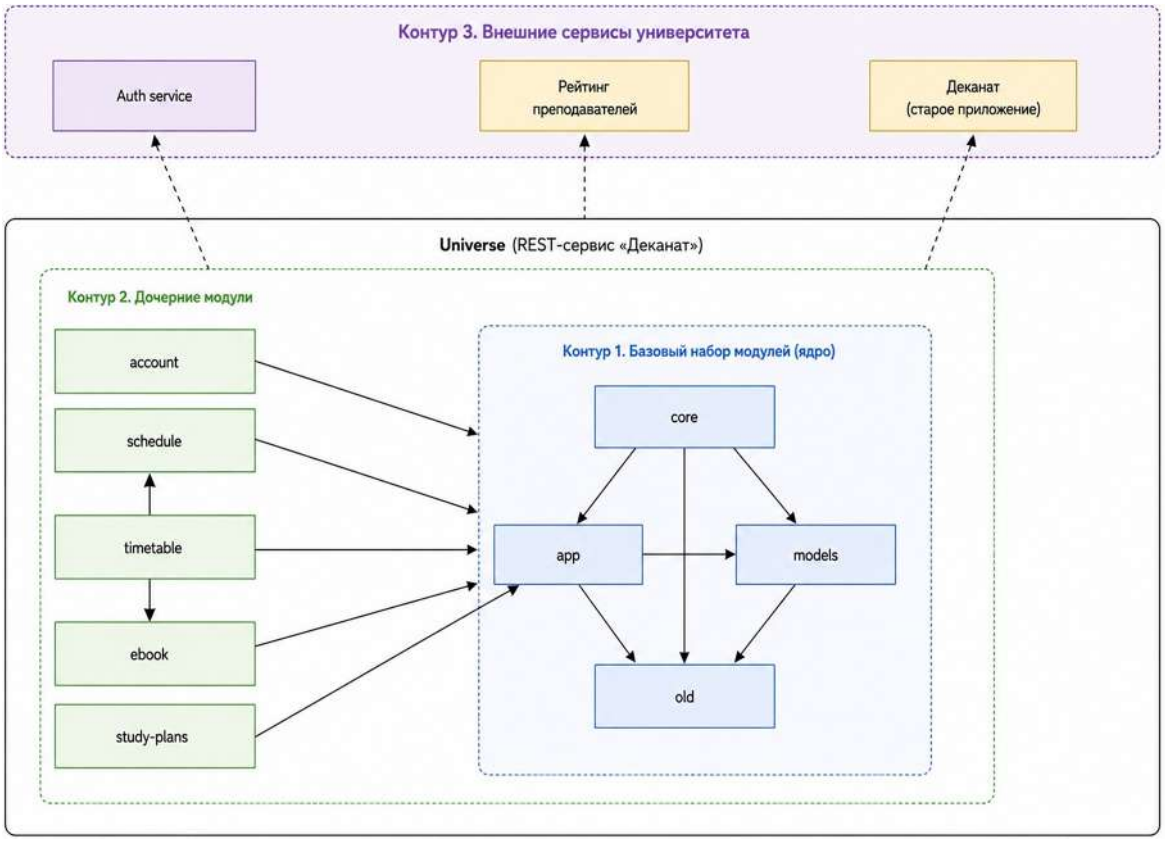


Рисунок 1 – Архитектура сервиса «Деканат»
и его взаимодействие с другими сервисами университета

В качестве парадигмы разработки сервиса выбрана многослойная модульная архитектура, сочетающая принципы многослойного разделения ответственности и модульной организации системы, при которой приложение строится из независимых, но взаимодействующих компонентов, сгруппированных по функциональному назначению и распределённых по слоям [1, 2]. Каждый модуль инкапсулирует определённую предметную область или набор связанных функций, а слои определяют способ взаимодействия между ними и распределение обязанностей внутри системы.

Основные принципы данной архитектуры:

– каждый слой и каждый модуль решает строго определённую задачу;
– логика различных модулей и слоёв не дублируется и не пересекается;
– взаимодействие между слоями осуществляется через чётко определённые механизмы;
– обмен данными между модулями и слоями стандартизирован;
– модули и слои обладают слабой связанностью и высокой автономностью;
– архитектура имеет вертикальное слоистое построение, при этом отдельная сквозная функциональность может охватывать несколько слоёв;

– модули могут быть развёрнуты как в пределах одной системы, так и распределены между различными вычислительными узлами;

– внутренняя логика модулей инкапсулирована, что исключает зависимость от деталей реализации других компонентов;

– обеспечивается масштабируемость, повторное использование модулей и возможность адаптации архитектуры под различные сценарии применения.

Таким образом, многослойная модульная архитектура позволяет совместить преимущества структурированного разделения системы на уровни с гибкостью модульного подхода, обеспечивая надёжность, расширяемость и удобство сопровождения программного продукта.

Для реализации многослойной архитектуры приложения используется Spring Framework – универсальный фреймворк с открытым исходным кодом для Java-платформы [6]. Spring предоставляет большую свободу разработчикам в проектировании и предлагает хорошо документированные средства решения проблем, возникающих при создании приложений корпоративного масштаба. Spring может быть рассмотрен как коллекция меньших фреймворков, включающая Inversion of Control-контейнер для конфигурирования компонентов и управления жизненным циклом Java-объектов, фреймворк доступа к данным для работы с реляционными базами данных через JDBC и ORM, фреймворк управления транзакциями, фреймворк MVC для построения веб-приложений, а также фреймворк аутентификации и авторизации Spring Security. Spring Data предоставляет дополнительный механизм для взаимодействия с сущностями базы данных, организации их в репозитории и извлечения данных; в ряде случаев для этого достаточно объявить интерфейс и метод в нём, без имплементации.

Разработанная архитектура на базе REST-стиля и многослойного модульного подхода обеспечивает гибкость, масштабируемость и удобство сопровождения программного продукта. REST-сервис «Деканат» является основой новой цифровой среды университета и обеспечивает работу таких клиентских приложений, как «Личный кабинет», «Диспетчерская», «Расписание занятий», «Электронный журнал» и «Учебные планы». Применение модульной архитектуры позволяет легко адаптировать систему под изменяющиеся требования и масштабировать отдельные компоненты по мере необходимости.

Список использованных источников

1. Карнелл, Дж. Spring Microservices in Action / Дж. Карнелл. – New York : Manning Publications, 2017. – 386 с.
2. Ричардсон, К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга / К. Ричардсон. – Санкт-Петербург : Питер, 2019. – 544 с.
3. REST // Википедия : свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/REST (дата обращения: 09.11.2025). – Текст : электронный.
4. Spring Framework / VMware. – URL: https://spring.io/projects/spring-framework (дата обращения: 12.03.2026). – Текст : электронный.
5. Spring Data JPA – Reference Documentation [Electronic resource] / VMware. – Mode of access: https://docs.spring.io/spring-data/jpa/docs/current/reference/html/ (date of access: 13.12.2025).
6. Что такое API?] // Хабр. – URL: https://habr.com/ru/articles/464261/ (дата обращения: 10.03.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.75:004.4

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ESIM STORAGE ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ХРАНЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ESIM-ПРОФИЛЯМИ

Андреянов К. В., студ., Архипов И. Д., студ., Черненко Д. В., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматривается разработка мобильного приложения eSIM Storage, предназначенного для безопасного хранения, резервного копирования и управления профилями eSIM. Результатом работы стал учебно-практический прототип мобильного решения, демонстрирующий ключевые сценарии безопасного хранения и переноса eSIM-профилей.*

Ключевые слова: eSIM-профиль, eSIM Storage, SimVault, NFC, QR-код, LPA, Secure Element, мобильная безопасность.

Технология eSIM (embedded Subscriber Identity Module) постепенно становится стандартом мобильной связи нового поколения. В отличие от физических SIM-карт, eSIM представляет собой встроенный в устройство программируемый модуль, позволяющий подключать тарифные профили операторов без использования пластикового носителя [1]. Данное решение обеспечивает повышение удобства подключения, ускорение смены оператора и упрощение использования нескольких тарифов на одном устройстве. Однако наряду с преимуществами сформировались новые риски, связанные с безопасностью, переносимостью и резервным хранением профилей.

Проблематика проекта обусловлена тем, что eSIM фактически устранила физический носитель, но не решила вопрос контроля пользователя над собственной мобильной идентичностью. Активация eSIM обычно осуществляется через QR-код, который во многих случаях является одноразовым [1]. При утере, повреждении устройства или необходимости быстрого переноса профиля на другой смартфон восстановление может оказаться затруднительным. Кроме того, профиль часто привязывается к конкретному устройству или экосистеме, что осложняет перенос между платформами Android и iOS. Существующие облачные сценарии резервного копирования требуют интернет-соединения и зависят от инфраструктуры вендора. Дополнительным фактором риска остаются атаки типа SIM-свопинга, при которых злоумышленник получает контроль над номером телефона жертвы.

Концепция проекта связана с экосистемой SimVault, представляющей собой «холодное хранилище» для мобильной связи. В качестве аппаратной основы рассматривается защищённый носитель в форм-факторе карты, брелока или NFC-метки, содержащий чип Secure Element уровня EAL6+ и функционирующий совместно с мобильным приложением-ассистентом [2]. В упрощённом учебном прототипе реализована программная часть подхода: пользователь получает возможность сканировать QR-код eSIM, сохранять данные профиля, просматривать, редактировать, повторно генерировать QR-код и использовать NFC в качестве дополнительного канала взаимодействия [3].

Прототип реализован в виде Android-приложения на языке Java. Архитектура приложения базируется на разделении функциональности между несколькими Activity-компонентами [4]. Центральным экраном выступает MainActivity, где отображается список сохранённых eSIM-профилей и основные действия пользователя. При запуске приложение проверяет наличие авторизованного пользователя через Firebase Authentication [5]. При отсутствии входа пользователь перенаправляется в LoginActivity, где доступны авторизация и регистрация по электронной почте и паролю, а также вход через Google.

Для хранения данных используется Firebase Firestore [5]. Указанная архитектура пригодна для демонстрационного и учебного прототипа, поскольку позволяет организовать персональное облачное пространство пользователя без разработки собственного backend API. Данные структурированы по схеме users/{userId}/profiles, где каждому профилю соответствует

отдельный документ. Модель профиля представлена классом `EsimProfile`, содержащим идентификатор, имя профиля, код активации и дополнительный параметр matchingId. Для сохранения и восстановления реализованы методы преобразования объекта в отображение Map<String, Object> и обратного создания экземпляра из данных Firestore.

Сканирование QR-кодов реализовано с использованием библиотеки ZXing [3]. Для улучшения пользовательского опыта создан отдельный экран CustomScannerActivity, работающий поверх CaptureManager и DecoratedBarcodeView. Данное решение позволяет отказаться от стандартного интерфейса сканера и интегрировать сканирование в общий дизайн приложения. После успешного считывания результат обрабатывается в MainActivity, где вызывается метод разбора строки parseAndSaveEsimData.

Особое значение в системе имеет обработка формата LPA (Local Profile Assistant), применяемого для eSIM-активации [1]. В упрощённом виде QR-код содержит строку формата LPA:1$..., в которой закодированы сведения, необходимые для загрузки профиля. В прототипе строка проверяется на корректность, затем разделяется по разделителю `$`, после чего выделяются код активации и идентификатор сопоставления. При соответствии формату создаётся новый объект EsimProfile, сохраняемый в Firestore. При нераспознанном формате приложение уведомляет пользователя об ошибке. Указанная логика позволяет моделировать реальный сценарий импорта eSIM-профиля в пользовательское хранилище.

Для просмотра конкретного профиля используется ShowQRActivity. После открытия экрана приложение загружает документ профиля из Firestore, отображает его название и код активации, после чего генерирует новый QR-код по сохранённым данным. Генерация выполняется с помощью QRCodeWriter, создающего матрицу QR-кода, преобразуемую в изображение Bitmap [3]. Это предоставляет пользователю возможность повторно визуализировать профиль и использовать его при переносе на другое устройство. Кроме того, на данном экране реализованы действия удаления профиля, изменения имени и перехода к системным настройкам Android для ручной установки eSIM [4].

Интеграция с настройками системы представляет собой практический компромисс, обусловленный ограничениями Android API. Обычное пользовательское приложение не может напрямую записывать eSIM-профиль в системный чип eUICC без специальных прав и операторской интеграции [1, 4]. Поэтому в прототипе реализован сценарий, при котором код активации копируется в буфер обмена, а приложение открывает раздел системных настроек мобильной сети. Данный подход не заменяет полноценный LPA-клиент, но демонстрирует связку между пользовательским хранилищем и реальным процессом активации профиля.

В проекте выделено место для NFC-функциональности. В MainActivity настроены NfcAdapter, механизм Foreground Dispatch и обработка входящих NDEF-сообщений. При обнаружении NFC-метки приложение считывает полезную нагрузку первой записи и интерпретирует её как данные eSIM-профиля. Далее запускается тот же механизм разбора и сохранения, что и при работе с QR-кодом. В текущей реализации это позволяет продемонстрировать принцип бесконтактной передачи профиля между носителем и смартфоном. В перспективе именно этот модуль должен стать программной основой для аппаратного решения SimVault [6].

Дополнительный функциональный сценарий связан с импортом профилей, уже установленных в системе. Для этого используется SystemEsimActivity, которая через SubscriptionManager получает список активных подписок устройства и отбирает только встроенные профили (isEmbedded()). Пользователь может выбрать найденную eSIM, после чего в Firestore сохраняется справочная запись. Данный механизм не извлекает полный профиль с системного уровня, однако полезен как демонстрация интеграции приложения с текущим состоянием устройства и как инструмент каталогизации установленных eSIM [4].

С точки зрения информационной безопасности проект отражает переход от полностью облачной логики к смешанной модели, где критически важные данные могут храниться офлайн на аппаратно защищённом носителе. SimVault в данном подходе рассматривается как физический криптографический контейнер, способный сохранять до 15 профилей и передавать их через NFC на любой совместимый смартфон [2, 6]. Участие проекта eSIM Storage в конкурсе «100 идей для Беларуси» (2026) подтвердило его инновационную направленность и практическую значимость.

Разработанный прототип eSIM Storage демонстрирует возможности использования

современных мобильных технологий для решения проблемы безопасного хранения и переноса eSIM-профилей. В ходе работы реализованы ключевые сценарии: авторизация пользователя, сканирование QR-кодов, парсинг LPA-данных, сохранение профилей в облачной базе, просмотр и редактирование записей, генерация QR-кодов, интеграция с системными настройками и обработка NFC-меток [3–5]. Перспективами дальнейшей работы являются реализация аппаратного носителя SimVault, внедрение биометрической защиты доступа к профилям, шифрование данных на клиентской стороне, создание корпоративного режима управления и интеграция с полноценным eSIM provisioning API при наличии соответствующих разрешений и партнёрств с операторами [2, 6].

Список использованных источников

1. GSMA SGP.22 RSP Technical Specification v3.0 : [сайт] / GSM Association. – URL: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/esim/wp-content/uploads/2023/02/SGP.22-v3.0.pdf (дата обращения: 05.05.2026). – Текст : электронный.
2. NXP Semiconductors : Secure Element Solutions : [сайт]. – URL: https://www.nxp.com/products/security-and-authentication/secure-service-2go:SE050 (дата обращения: 05.05.2026). – Текст : электронный.
3. ZXing : Zebra Crossing barcode scanning library for Java, Android : [сайт]. – 2026. – URL: https://github.com/zxing/zxing (дата обращения: 05.05.2026). – Текст : электронный.
4. Android Developers : документация по разработке Android-приложений : [сайт]. – 2026. – URL: https://developer.android.com/ (дата обращения: 05.05.2026). – Текст : электронный.
5. Firebase Documentation : [сайт]. – 2026. – URL: https://firebase.google.com/docs (дата обращения: 05.05.2026). – Текст : электронный.
6. SimVault / eSIM Storage : репозиторий проекта : [сайт]. – 2026. – URL: https://t.me/esim_storage (дата обращения: 05.05.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.41

EVENT-DRIVEN АРХИТЕКТУРА: КАК ПОСТРОИТЬ РЕАКТИВНУЮ И БЫСТРУЮ ИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ

Гилевская В. Д., студ., Соколова А. С., ст. преп., Казаков В. Е., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *Целью работы является изучение принципов Event-Driven архитектуры (EDA) и анализ возможностей её применения для построения реактивных и отказоустойчивых информационных систем. Метод исследования – анализ и моделирование распределённых систем и архитектурных паттернов. В качестве исходных объектов рассматриваются эволюция программных архитектур, ключевые компоненты событийно-ориентированных систем, модели доставки сообщений и макро/микропаттерны проектирования. В качестве инструментальных средств и концепций использовались: брокеры сообщений, модели Pub/Sub и Streaming, паттерны CQRS и Event Sourcing, а также инструменты APM-мониторинга (New Relic, Sentry, Dynatrace).*

Ключевые слова: событийно-ориентированная архитектура, асинхронное взаимодействие, микросервисы, масштабируемость, паттерны проектирования, согласованность данных.

В современном мире проектирование информационных систем сталкивается с ростом объёмов данных, увеличением количества пользователей и требованием к мгновенной реакции сервисов. Традиционные монолитные архитектуры, характеризующиеся жёсткой связанностью компонентов и синхронным исполнением, часто становятся узким местом: они с трудом

масштабируются, требуют значительных ресурсов для поддержки и обладают низкой отказоустойчивостью. На смену синхронным моделям приходит Event-Driven Architecture (EDA) – событийно-ориентированная архитектура, представляющая собой фундаментальную смену парадигмы от ожидания команд к мгновенной реакции на изменения состояния.

В результате работы были изучены концептуальные основы EDA, проанализирована её техническая реализация, а также систематизированы практические аспекты внедрения. Архитектура, управляемая событиями, базируется на трёх фундаментальных принципах: реактивности, асинхронности и автономности узлов. Анатомия такой распределённой системы включает четыре ключевых элемента: продюсеров (генераторов событий, не знающих адресата), события (структурированные пакеты данных с метаданными), брокеров (посредников для сортировки, буферизации и маршрутизации) и потребителей (автономных обработчиков). В отличие от монолита, компоненты EDA не взаимодействуют напрямую, что обеспечивает слабую связанность и технологическую агностику благодаря использованию универсальных форматов обмена, таких как JSON.

Для транспортировки событий применяются две основные модели доставки. Модель Pub/Sub обеспечивает мгновенную рассылку события всем активным подписчикам, что идеально подходит для сценариев, требующих real-time реакции. Потоковая передача данных (Streaming) позволяет потребителям считывать хронологический лог событий с нужного момента, что критически важно для аудита, аналитики и восстановления состояния системы. Техническая реализация EDA также опирается на проверенные паттерны проектирования. На микроуровне используются паттерны «Наблюдатель», «Команда» и «Посредник». На макроуровне ключевыми являются Event Sourcing (хранение неизменяемой истории всех изменений вместо конечного статуса) и CQRS (строгое разделение ответственности между операциями чтения и записи), что позволяет оптимизировать базы данных под специфические нагрузки.

Преимущества EDA для высоконагруженных систем очевидны: бесшовная масштабируемость (ресурсы направляются точечно на узлы, испытывающие пиковую нагрузку), real-time обработка данных и абсолютная отказоустойчивость за счёт изоляции сбоев и сохранения событий в брокере до восстановления неисправного узла. Однако внедрение данной архитектуры сопряжено с серьёзными компромиссами. Главными из них являются высокая сложность инфраструктуры, требующая глубокой DevOps-экспертизы, и риск «Eventual consistency» (согласованности в конечном счёте), что делает EDA не всегда подходящей для доменов со строгой транзакционной целостностью. Кроме того, поиск первопричины ошибок в асинхронных потоках существенно усложнён, что делает обязательным внедрение инструментов APM-мониторинга и практик распределённой трассировки.

Таким образом, в рамках исследования была проанализирована эволюция информационных систем от монолитных структур к распределённым событийным архитектурам, изучены ключевые компоненты EDA и паттерны их проектирования. Установлено, что выбор архитектуры должен основываться на конкретных требованиях проекта: для систем с линейной бизнес-логикой и ограниченными ресурсами на поддержку инфраструктуры рационален монолитный подход, тогда как для экосистем микросервисов, где ожидаются непредсказуемые пиковые нагрузки и требуется обработка данных в реальном времени, EDA является оптимальным решением. Результаты работы демонстрируют практическую значимость событийно-ориентированных архитектур для создания современных, гибких и масштабируемых информационных систем.

Список использованных источников

1. Кудерин, Д. Event-Driven архитектура: принципы и примеры использования / Д. Кудерин // Tproger : [сайт]. – 04.10.2024. – URL: https://tproger.ru/articles/event-driven-arhitektura--principy-i-primery-ispolzovaniya (дата обращения: 28.03.2026). – Текст : электронный.
2. Richards, M. Fundamentals of Software Architecture: An Engineering Approach / M. Richards, N. Ford. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2020. – 432 p.
3. Таненбаум, Э. С. Распределенные системы / Э. С. Таненбаум, М. ван Стин ; пер. с англ. В. А. Яроцкого. – Москва : ДМК Пресс, 2021. – 584 с.
4. Клеппман, М. Высоконагруженные приложения. Программирование, масштабирование, поддержка / М. Клеппман. – Санкт-Петербург : Питер, 2018. – 640 с.

УДК 004.41

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА CMS ДЛЯ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ

Иношевская Е. А, студ., Берестенко В. Д., студ., Труфина Е. С., студ.,
Быковский Д. И., ст. преп., Бизюк А. Н., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье анализируются назначение, функциональные особенности и критерии выбора систем управления контентом, применяемые при разработке современных профориентационных платформ. Рассматриваются ключевые параметры, определяющие эффективность CMS в образовательной среде, включая гибкость контентных моделей, возможности интеграции, безопасность и удобство работы для специалистов. Особое внимание уделяется тенденциям развития образовательных платформ и факторам, влияющим на выбор технологической архитектуры в условиях цифровизации.*

Ключевые слова: профориентационная платформа, системы управления контентом, CMS, цифровизация образования, headless-архитектура, SaaS-решения, безопасность данных, масштабируемость, интеграции API, контентные модели, персонализация, образовательные технологии, сравнительный анализ.

Современные профориентационные платформы играют ключевую роль в поддержке профессионального самоопределения обучающихся, поскольку объединяют диагностические методики, интерактивные задания, цифровые профессиональные пробы и персонализированные рекомендации. Эффективность функционирования такой платформы напрямую зависит от выбранной системы управления контентом (CMS), которая обеспечивает структурирование данных, стабильность работы, безопасность персональной информации и возможность интеграции с внешними сервисами [1, 2]. В условиях цифровизации образования возрастает потребность в CMS, способных поддерживать сложные модели данных, включая каталоги профессий, компетенции, тесты и кейсы, а также обеспечивать высокую производительность и удобство работы для педагогов и методистов. Согласно аналитическим обзорам международных IT-ресурсов, образовательные платформы предъявляют повышенные требования к безопасности, масштабируемости и персонализации (TechRadar, 2025) [3].

Для определения оптимального решения был проведён сравнительный анализ наиболее распространённых CMS, включающий традиционные, headless и SaaS-платформы. Такой подход позволяет объективно оценить функциональные возможности систем и определить степень их соответствия задачам профориентационной деятельности. Обобщённые результаты представлены в таблице 1, что обеспечивает наглядность и позволяет выявить ключевые преимущества и ограничения каждого решения.

Таблица 1 – Сравнение CMS по ключевым параметрам

CMS	Тип	Гибкость	Масштабируемость	API	Удобство редакторов	Безопасность
Drupal	Традиционная	5/5	5/5	4/5	4/5	5/5
WordPress	Традиционная	4/5	3/5	3/5	5/5	3/5
Strapi	Headless	5/5	5/5	5/5	3/5	4/5
Contentful	Headless	5/5	5/5	5/5	4/5	5/5
Webflow	SaaS	2/5	3/5	2/5	5/5	3/5

Результаты анализа показывают, что Drupal является одним из наиболее устойчивых решений для образовательных организаций благодаря высокой безопасности, гибкости контентных моделей и развитой системе ролей. Он подходит для платформ, где требуется

сложная структура данных, поддержка тестов, кейсов, квестов и аналитических модулей. В свою очередь, Strapi обеспечивает современную headless-архитектуру, ориентированную на API-first подход, что позволяет строить распределённые цифровые экосистемы, интегрировать мобильные приложения и использовать персонализированные алгоритмы рекомендаций. Это делает Strapi особенно перспективным для профориентационных сервисов, ориентированных на масштабирование и развитие функционала. WordPress и Webflow могут быть использованы на этапе MVP, однако их функциональные ограничения и более низкий уровень безопасности делают их менее предпочтительными для долгосрочных образовательных проектов.

Для уточнения степени соответствия CMS специфическим требованиям профориентационной платформы был проведён дополнительный анализ по критериям функциональности, интеграций, удобства и безопасности. Результаты представлены в таблице 2, что позволяет системно оценить потенциал каждой системы в контексте образовательной деятельности.

Таблица 2 – Соответствие CMS требованиям профориентационной платформы

Требование	**Drupal**	**Strapi**	**WordPress**	**Contentful**
Гибкие модели данных	4/5	4/5	3/5	4/5
Интерактивные модули	4/5	4/5	3/5	4/5
Интеграции (API)	4/5	5/5	3/5	5/5
Масштабируемость	5/5	5/5	3/5	5/5
Безопасность	5/5	4/5	3/5	5/5
Удобство редакторов	4/5	3/5	5/5	4/5
Стоимость	4/5	4/5	5/5	2/5

Таким образом, выбор CMS для профориентационной платформы должен учитывать не только технические характеристики, но и особенности образовательной деятельности, включая необходимость работы с интерактивными инструментами, персонализированными рекомендациями и большими массивами данных. Drupal обеспечивает устойчивость, безопасность и гибкость, что делает его подходящим для классических веб-порталов образовательных учреждений. Strapi предоставляет возможности построения современной цифровой экосистемы, ориентированной на персонализацию, мобильность и интеграции. Оба решения позволяют создавать функциональные, масштабируемые и надёжные профориентационные платформы, соответствующие требованиям современной цифровой образовательной среды.

Список использованных источников

1. Лаптева, Н. В. Научно-теоретическое обоснование выбора CMS для разработки сайта для конкурса научно-исследовательских работ студентов и учащихся / Н. В. Лаптева, Е. А. Волкова // Наука и перспективы. – 2016. – № 3. – С. 43–57.
2. Таборовец, В. В. Выбор системы управления контентом / В. В. Таборовец, Д. В. Богумил // Наука, техника и образования. – 2018. – № 1 (42). – С. 17–20.
3. TechRadar. Best CMS Platforms 2025 // TechRadar : [сайт]. – URL: https://www.techradar.com/ (дата обращения: 29.03.2026). – Текст : электронный.
4. Droptica. Top 12 CMS Platforms Compared. – 2025 // Droptica : [сайт]. – URL: https://www.droptica.com/ (дата обращения: 29.03.2026). – Текст : электронный.
5. WPBeginner. WordPress vs Other CMS: Full Comparison. – 2024 // WPBeginner : [сайт]. – URL: https://www.wpbeginner.com/ (дата обращения: 29.03.2026). – Текст : электронный.
6. IONOS Digital Guide. Headless CMS: Overview and Comparison. – 2024 // IONOS : [сайт]. – URL: https://www.ionos.com/digitalguide/ (дата обращения: 29.03.2026). – Текст : электронный.
7. Gartner. Magic Quadrant for Digital Experience Platforms. – 2024 // Gartner : [сайт]. – URL: https://www.gartner.com/ (дата обращения: 29.03.2026). – Текст : электронный.

8. Webflow University. CMS Documentation. – 2024 // Webflow University : [сайт]. – URL: https://university.webflow.com/ (дата обращения: 29.03.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.42:004.9

АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ БИБЛИОТЕКИ PYROB В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ VUZHYK

Корнеев П. А., студ., Черненко Д. В., ст. преп., Соколова А. С., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В работе рассматривается подсистема визуального конструирования и экспорта учебных заданий для робота-исполнителя на базе библиотеки pyrob в программном комплексе Vuzhyk (IDE на C++/Qt) [1]. Описана роль функции генерации исходного кода ProjectModel::generatePythonTask, преобразующей абстрактную модель поля (сетка, стены, старт, парковка, несколько вариантов уровня) в готовый модуль на языке Python, совместимый с ожидаемым интерфейсом задачи pyrob [2, 3]. Показаны принципы сериализации проекта в формат JSON, логика формирования методов load_level и 'check_solution', а также механизм однократного перемешивания порядка вариантов при загрузке модуля для исключения повторов в пределах цикла проверок. Отмечена практическая значимость для преподавания информатики и для сокращения доли ручного копирования шаблонного кода при составлении задач.*

Ключевые слова: pyrob, Vuzhyk, генерация кода, учебные задачи, визуальный редактор, Qt, JSON, исполнитель робот, автоматизация, доменная модель.

Обучение программированию в школьной и вузовской практике традиционно опирается на задачи с формальными исполнителями, в частности с роботом, перемещающимся по клетчатому полю. Библиотека pyrob предоставляет программный интерфейс для описания уровней, проверки решений и запуска сценариев [3]. Однако ручное написание вызовов API для каждой задачи отнимает значительное время, повышает риск ошибок и затрудняет сопровождение нескольких вариантов одного задания. Интеграция визуального редактора в интегрированную среду разработки (IDE) позволяет педагогу и учащемуся сосредоточиться на содержательном аспекте задания, минимизируя технические детали [1].

Систематизированное описание механизма автоматического создания файла задачи pyrob (модуля с расширением .py) на основе данных графического редактора в проекте Vuzhyk (рис. 1).

Задачи:

1. Выделить состав модели данных задачи и формат сохранения проекта.
2. Описать алгоритм генерации класса Task и его взаимосвязь с библиотекой pyrob [3].
3. Зафиксировать особенности поддержки нескольких вариантов уровня и проверки решения.
4. Указать направления дальнейшего развития подсистемы.

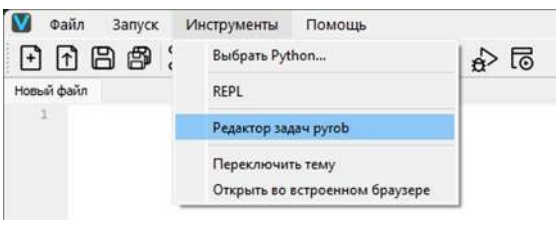


Рисунок 1 – Интеграция редактора в IDE Vuzhyk

Редактор задач pyrob встроен в приложение Vuzhyk и реализован с использованием библиотеки Qt [1]. Исходный код подсистемы расположен в каталоге src/pyrobeditor/. Пользователь задаёт геометрию поля, при необходимости формирует несколько вариантов с различными размерами поля, сохраняет проект в формате pyrob.json и экспортирует задачу в виде

файла Python с расширением .py. Центральное преобразование «модель → текст программы» выполняет метод QString ProjectModel::generatePythonTask(const QString &taskId) const (файлы projectmodel.h, projectmodel.cpp). Запись результата на диск обеспечивается компонентом PyrobEditorWidget.

Для каждого варианта уровня используется структура VariantState, содержащая следующие элементы:

– размеры поля (rows, cols);
– матрица типов клеток;
– матрицы внутренних стен;
– флаг и координаты старта;
– флаг и координаты парковки.

Методы toJson / fromJson формируют JSON-объект с полями variants, checks и массивом data, содержащим описания всех вариантов. Данный формат обеспечивает удобное хранение, версионирование и совместное использование проектов задач (рис. 2).

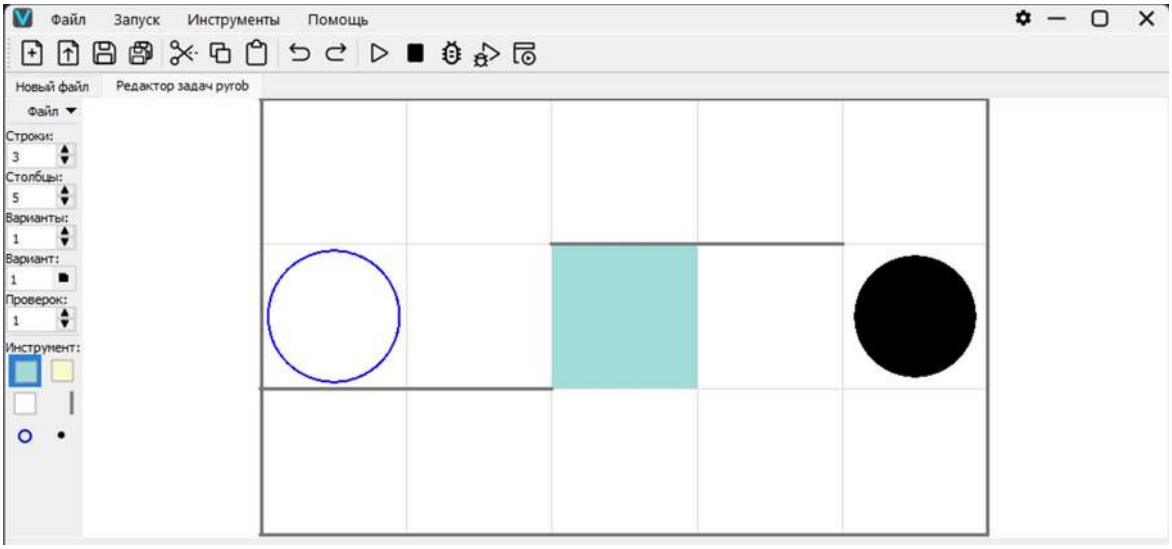


Рисунок 2 – Визуальный редактор задания pyrob

Результатом выполнения generatePythonTask является полный текст модуля Python, включающий:

– shebang (при необходимости);
– импорты необходимых модулей;
– определение класса Task с методами load_level и check_solution.

При наличии нескольких вариантов уровня в генерируемый модуль добавляется список _variant_order, а при импорте модуля выполняется однократное перемешивание порядка вызова random.shuffle. Данный механизм исключает повторение одинакового порядка вариантов в пределах цикла проверок и обеспечивает равномерную нагрузку на проверяемые решения.

Для клеток, помеченных «к заполнению», в генерируемом коде подключаются функции check_filled_cells и find_cells_to_be_filled из модуля pyrob.tasks [3]. Каталог по умолчанию для сохранения сгенерированных задач ориентирован на путь Python38/Lib/site-packages/pyrob/tasks относительно исполняемого файла IDE.

Разработанная подсистема обеспечивает следующие преимущества:

– Сокращение объёма ручного написания повторяющегося кода настройки поля и стен.
– Поддержку нескольких вариантов задачи с различными размерами поля и автоматическим перемешиванием порядка их предъявления.
– Разделение редактируемого проекта (JSON) и исполняемого модуля задачи (PY), что удобно для итеративной разработки.
– Снижение порога входа для педагогов и учащихся благодаря использованию единой

IDE вместо внешнего редактора и ручного копирования кода [1].

Функция ProjectModel::generatePythonTask выполняет роль компилятора из доменной модели визуального редактора в исполняемое описание Task, полностью согласованное с интерфейсами библиотеки pyrob [2, 3]. Реализованная подсистема демонстрирует эффективность автоматической генерации кода для учебных задач и может быть расширена для поддержки других исполнителей и форматов описания полей.

Список использованных источников

1. Qt Documentation // Qt : [сайт]. – URL: https://doc.qt.io/ (дата обращения: 13.04.2026). – Текст : электронный.
2. Документация Python // Python : [сайт]. – URL: https://docs.python.org/3/ (дата обращения: 13.04.2026). – Текст : электронный.
3. Практика: Робот // MIPT CS : [сайт]. – URL: https://mipt-cs.github.io/python3-2017-2018/labs/lab2.html (дата обращения: 13.04.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАНИИ: ВОЗМОЖНОСТИ, РИСКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Косарев А. В., студ., Соколова А. С., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В работе рассматриваются возможности применения генеративных моделей искусственного интеллекта в образовательной среде. Анализируются принципы работы современных нейросетевых архитектур, их потенциал в персонализации обучения, автоматизации проверки знаний и создании адаптивных образовательных материалов. Особое внимание уделяется рискам – академической нечестности, снижению критического мышления и вопросам защиты персональных данных. На основе анализа современных исследований предлагаются рекомендации по ответственному внедрению технологий искусственного интеллекта в образовательный процесс.*

Ключевые слова: искусственный интеллект, генеративные модели, образование, нейронные сети, персонализация обучения, цифровая трансформация, академическая честность.

Стремительное развитие цифровых технологий трансформирует образовательную среду. Одним из наиболее значимых факторов изменений является развитие искусственного интеллекта (ИИ). По данным компании OpenAI, современные языковые модели способны выполнять широкий спектр интеллектуальных задач, включая генерацию текстов, анализ данных и поддержку диалога [1].

Международные организации, такие как UNESCO, подчеркивают необходимость ответственного внедрения ИИ в образовательный процесс с учетом этических и социальных аспектов [2].

ИИ позволяет адаптировать учебные материалы под индивидуальные особенности учащихся. По данным UNESCO, технологии искусственного интеллекта могут способствовать созданию инклюзивной образовательной среды и снижению образовательного неравенства [2].

Персонализация включает подбор уровня сложности заданий, формирование индивидуальных траекторий обучения и предоставление мгновенной обратной связи.

ИИ может анализировать письменные работы, тесты и проекты, обеспечивая оперативную оценку результатов. В международных исследованиях отмечается, что подобные решения способствуют оптимизации педагогической нагрузки [3].

Современные платформы машинного обучения, такие как OpenML, предоставляют открытые

датасеты и инструменты для разработки учебных проектов в области анализа данных [4]. Платформа функционирует как международный репозиторий, объединяющий исследователей, преподавателей и студентов, и обеспечивает доступ к тысячам наборов данных различного объёма и сложности – от небольших учебных таблиц до масштабных исследовательских выборок. Существенным преимуществом является возможность интеграции с популярными языками программирования, прежде всего Python [6] и библиотекой scikit-learn. Библиотека scikit-learn предоставляет широкий набор алгоритмов классификации, регрессии и кластеризации, которые могут применяться к датасетам OpenML в учебных и исследовательских целях [7].

OpenML поддерживает не только хранение датасетов, но и публикацию так называемых «запусков» – результатов работы моделей с указанием параметров алгоритма и метрик качества. Это делает учебные исследования воспроизводимыми и позволяет сравнивать эффективность различных методов на одной и той же задаче. Кроме того, платформа предлагает заранее сформулированные задачи машинного обучения, в которых определены тип проблемы и способ оценки результата, что удобно при организации лабораторных работ и студенческих проектов [5].

Использование открытых образовательных ресурсов способствует развитию практико-ориентированного обучения и формированию исследовательских компетенций.

Что касается самих датасетов, на OpenML размещены тысячи наборов данных различной направленности.

В области образования доступны данные об успеваемости студентов (например, Student Performance Dataset), применяемые для прогнозирования академических результатов и анализа факторов, влияющих на обучение.

В сфере компьютерного зрения представлены наборы изображений, такие как MNIST (распознавание рукописных цифр), применяемые для обучения нейронных сетей и алгоритмов классификации изображений.

В экономике и финансах размещены датасеты для кредитного скоринга, анализа транзакций и выявления мошенничества, что позволяет моделировать реальные задачи банковского сектора.

В области обработки естественного языка (NLP) доступны текстовые корпуса для анализа тональности, классификации новостей и тематического моделирования [4].

Широкое распространение генеративных моделей создает риск автоматического выполнения учебных заданий без глубокого понимания материала. По оценкам OECD, образовательные системы должны адаптировать методы оценки знаний к новым технологическим условиям [3].

UNESCO подчеркивает важность защиты персональных данных и прозрачности алгоритмов при внедрении ИИ в образовательные учреждения [2]. Также сохраняются вопросы авторского права и ответственности за содержание, созданное алгоритмами.

Согласно аналитическим материалам OpenAI, дальнейшее развитие ИИ будет связано с повышением интерпретируемости моделей и улучшением механизмов контроля качества генерации [1].

В перспективе ИИ станет инструментом поддержки преподавателя, а не его заменой. Эффективная интеграция возможна только при разработке нормативной базы и повышении цифровой грамотности участников образовательного процесса.

Искусственный интеллект уже перестал быть исключительно технологической новинкой и постепенно становится частью повседневной образовательной практики. Его применение открывает реальные возможности для повышения качества обучения, индивидуализации образовательных траекторий и оптимизации работы преподавателей.

Вместе с тем внедрение ИИ нельзя рассматривать как простую замену традиционных методов. Технологии требуют продуманного подхода, нормативного регулирования и формирования цифровой культуры как у педагогов, так и у обучающихся. Особенно важно сохранить баланс между автоматизацией процессов и развитием самостоятельного мышления, аналитических навыков и ответственности студентов.

Сегодня будущее образования связано не с конкуренцией человека и алгоритма, а с их сотрудничеством. Рациональное и этически выверенное использование искусственного интеллекта способно стать важным фактором устойчивого развития образовательной системы Республики Беларусь и мирового образовательного пространства в целом.

Список использованных источников
1. OpenAI // OpenAI : [сайт]. – URL: https://openai.com/ (дата обращения: 22.02.2026). – Текст : электронный.
2. UNESCO. Artificial Intelligence in Education // UNESCO : [сайт]. – URL: https://www.unesco.org/en/digital-education/artificial-intelligence (дата обращения: 22.02.2026). – Текст : электронный.
3. OECD. Artificial Intelligence in Education and Skills // OECD : [сайт]. – URL: https://www.oecd.org/en/topics/artificial-intelligence-and-education-and-skills.html (дата обращения: 22.02.2026). – Текст : электронный.
4. OpenML // OpenML : [сайт]. – URL: https://www.openml.org/ (дата обращения: 22.02.2026). – Текст : электронный.
5. OpenML Documentation // OpenML : [сайт]. – URL: https://docs.openml.org/ (дата обращения: 22.02.2026). – Текст : электронный.
6. OpenML Python API // GitHub : [сайт]. – URL: https://github.com/openml/openml-python (дата обращения: 22.02.2026). – Текст : электронный.
7. Scikit-learn: Machine Learning in Python // Scikit-learn : [сайт]. – URL: https://scikit-learn.org/ (дата обращения: 22.02.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.8

АЛГОРИТМЫ ПОИСКА ПУТИ И МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГРАХ

Ляплиев Т. А., студ., Соколова А. С., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *Статья посвящена исследованию алгоритмов поиска пути и моделей искусственного интеллекта, применяемых в компьютерных играх. Рассматриваются алгоритм Дейкстры и алгоритм A*, анализируются их вычислительные характеристики и применимость в системах реального времени. Также изучаются базовые модели поведения неигровых персонажей. В результате установлено, что использование эвристических методов позволяет повысить эффективность вычислений без потери качества построения маршрута.*

Ключевые слова: алгоритмы, граф, поиск пути, A*, Дейкстра, искусственный интеллект, компьютерные игры, оптимизация.

Современные компьютерные игры представляют собой сложные программные системы, функционирование которых основано на алгоритмах и структурах данных [1]. Одной из важнейших задач является поиск оптимального пути перемещения игровых объектов, а также формирование реалистичного поведения неигровых персонажей (NPC).

Актуальность темы обусловлена необходимостью обеспечения высокой производительности игровых приложений при ограниченных вычислительных ресурсах. В условиях динамической игровой среды алгоритмы должны обеспечивать быстрое принятие решений и минимальные задержки выполнения.

Игровое пространство, как правило, моделируется в виде графа, где вершины соответствуют возможным позициям персонажа, а рёбра – допустимым перемещениям между ними [2].

Классическим методом поиска кратчайшего пути является алгоритм, разработанный Эдсгером Дейкстрой. Данный алгоритм гарантирует нахождение оптимального пути при условии неотрицательных весов рёбер [3]. Однако его применение в игровых системах может быть ограничено высокой вычислительной сложностью при обработке больших карт [2].

Более эффективным для задач игровой индустрии является алгоритм A*, основанный на использовании эвристической функции [2]. Его оценочная функция имеет вид:

$$f(n) = g(n) + h(n),$$

где $g(n)$ – стоимость пути от начальной вершины до текущей; $h(n)$ – эвристическая оценка расстояния до целевой вершины [4].

Использование эвристики позволяет значительно сократить количество обрабатываемых вершин и ускорить процесс поиска пути, что особенно важно для игр, работающих в режиме реального времени [5].

Помимо алгоритмов поиска пути, важную роль играет организация поведения NPC. На практике применяются следующие подходы [1]:

– конечные автоматы состояний (Finite State Machine);
– деревья поведения (Behavior Trees);
– системы правил типа «если-то».

Конечные автоматы позволяют описывать поведение персонажа через ограниченный набор состояний (патрулирование, атака, отступление). Деревья поведения обеспечивают более гибкую иерархическую структуру управления действиями [1]. Данные модели позволяют реализовать адаптивное поведение персонажей без использования сложных методов машинного обучения.

В рамках исследования была проведена модельная реализация алгоритмов поиска пути на игровом поле (рис. 1).

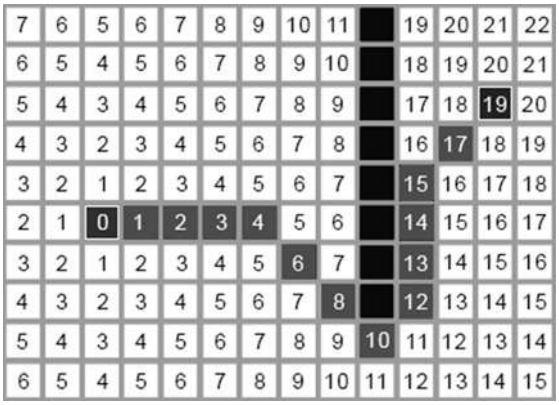


Рисунок 1 – Визуализация работы алгоритма A*

Сравнительный анализ показал [2, 3]:

– алгоритм A* обрабатывает меньшее количество вершин;
– время выполнения алгоритма A* ниже по сравнению с алгоритмом Дейкстры;
– при некорректном выборе эвристической функции эффективность A* снижается.

Полученные результаты подтверждают целесообразность применения эвристических алгоритмов в игровых приложениях.

В ходе исследования установлено:

1. Алгоритмы поиска пути являются фундаментальным элементом игровой логики.
2. Алгоритм Дейкстры обеспечивает гарантированную оптимальность, но уступает по скорости эвристическим методам [3].
3. Алгоритм A* является более эффективным при корректном выборе эвристики [4, 5].
4. Использование моделей искусственного интеллекта позволяет реализовать реалистичное и адаптивное поведение персонажей [1].
5. Изучение данных алгоритмов в рамках дисциплины «Основы алгоритмизации и программирования» имеет практическую значимость и способствует формированию профессиональных компетенций студентов.

Список использованных источников

1. Основы алгоритмов и структур данных для разработки игр // Sky.pro : [сайт]. – URL: https://sky.pro/wiki/gamedev/osnovy-algoritmov-i-struktur-dannyh-dlya-igr/ (дата обращения: 13.04.2026). – Текст : электронный.
2. Ивашенцев, А. С. Сравнительный анализ основных алгоритмов поиска пути в играх // Актуальные исследования. – 2024. – № 52 (234), ч. I. – С. 73–78. – URL: https://apni.ru/article/10928-sravnitelnyj-analiz-osnovnyh-algoritmov-poiska-puti-v-igrah (дата обращения: 13.04.2026). – Текст : электронный.
3. Алгоритмы поиска пути: алгоритм Дейкстры и A* / Артем Михайлов // Habr : [сайт]. – 17.07.2023. – URL: https://habr.com/ru/companies/otus/articles/748470/ (дата обращения: 13.04.2026). – Текст : электронный.
4. A* // Википедия : [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/A* (дата обращения: 13.04.2026). – Текст : электронный.

5. Введение в алгоритм A* // Pvsm : [сайт]. – URL: https://www.pvsm.ru/algoritmy/258278 (дата обращения: 13.04.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.891.2

РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА С ИИ-ПОМОЩНИКОМ ДЛЯ ВЫБОРА ТОВАРОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЦВЕТА

Меньшенина Д. Д., студ., Романькова А. В., студ., Быковский Д. И., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье представлена система StyleAI – алгоритм для онлайн-магазинов моды, сочетающий теорию цвета с правилами совместимости и ИИ-помощником. Система формализует пять измерений совместимости: хроматическую гармонию, сезонную согласованность и ограничения.*

Ключевые слова: рекомендательные системы в моде, теория цвета, ИИ-помощник.

Онлайн-ритейл моды сталкивается с тем, что пользователи часто не могут создать целостный образ одежды из-за недостатка знаний о гармонии цветов, сезонности и стилевых правил.

Начата работа над веб-приложением StyleAI, реализующим правило-ориентированный подход, где все логические правила прописаны вручную на основе теоретических основ моды. Система состоит из двух частей:

1) правило-ориентированное ядро, которое формирует рекомендации через четкие, интерпретируемые правила (теория цвета, гендерные и сезонные ограничения);

2) полная визуализация совместимости, позволяющая пользователю видеть все возможные уровни сочетаемости.

На рисунке 1 представлен интерфейс приложения.

Проанализирована архитектура системы путем экспериментов с реальными пользовательскими сессиями, что доказало ее эффективность.

Система использует иерархию совместимости цветов [1–3], разделенную на три уровня:

– отлично (95 %): идеальная гармония (контрастные или аналогичные цвета);
– хорошо (75 %): удачное сочетание;
– удовлетворительно (50 %): допустимое, но рискованное сочетание.

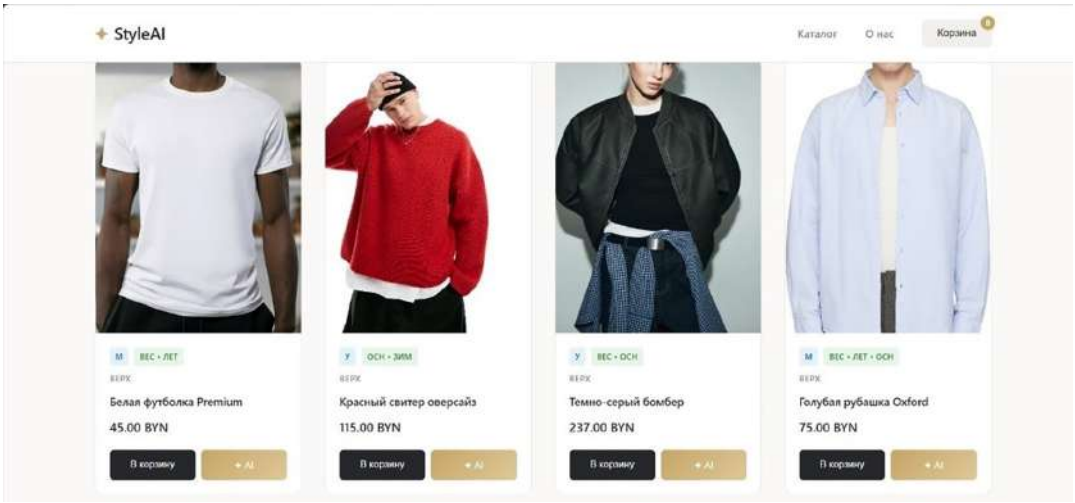


Рисунок 1 – Интерфейс StyleAI

Эта логика закодирована в объекте colorCombinations (рис.2).

```
// --- COLOR THEORY ---
const colorCombinations = {
    white: { excellent: ['black','blue','red','green','beige','gray','pink'], good: ['brown','navy'], fair: [] },
    black: { excellent: ['white','red','gray','beige','pink'], good: ['blue','green','brown'], fair: [] },
    red:   { excellent: ['black','white','gray','blue','pink'], good: ['beige','brown'], fair: ['green'] },
    blue:  { excellent: ['white','beige','gray','brown','pink'], good: ['black','blue'], fair: ['red'] },
    green: { excellent: ['beige','white','brown','gray'], good: ['black','blue','pink'], fair: ['red'] },
    beige: { excellent: ['white','blue','green','brown','black','pink'], good: ['gray','red'], fair: [] },
    gray:  { excellent: ['white','black','red','blue','beige','pink'], good: ['green','brown'], fair: [] },
    brown: { excellent: ['beige','white','blue','green'], good: ['gray','black','pink'], fair: ['red'] },
    pink:  { excellent: ['white','black','gray','beige','blue'], good: ['brown','green'], fair: ['red'] }
};
```

Рисунок 2 – Фрагмент таблицы цветовых комбинаций

Система показывает весь спектр совместимости: идеальное сочетание; удачное, но требующее акцента; рискованное сочетание. Это позволяет избегать негармоничных сочетаний и отслеживать рискованные варианты. Условия совместимости проверяются с помощью алгоритма, представленного на рисунке 3.

```
function getColorMatch(color1, color2) {
    const combinations = colorCombinations[color1];
    if (!combinations) return 'fair';
    if (combinations.excellent.includes(color2)) return 'excellent';
    if (combinations.good.includes(color2)) return 'good';
    return 'fair';
}

function calculateScore(matchType) {
    return { excellent: 95, good: 75, fair: 50 }[matchType] || 50;
}
```

Рисунок 3 – Часть кода, где прописаны условия совместимости

На текущем этапе все правила прописаны вручную, но в будущем планируется добавить ИИ-помощник, который будет способен на основе истории сессии корректировать вес правил (например, если пользователь часто выбирает «хорошие» сочетания, система повышает их приоритет); обучить модель распознавать стилевые контексты и использовать оценки пользователя для адаптации правил.

При нажатии кнопки «♦AI» рядом с товаром (рис. 1) планируется следующий процесс:

– анализ параметров: система извлекает цвет, сезон, пол и категорию товара;
– фильтрация: на основе ручных правил исключаются несовместимые элементы;
– оценка совместимости: для каждого элемента рассчитывается балл (95 %, 75 %, 50 %);
– визуализация: результаты выводятся с индикаторами совместимости.

В дальнейшем планируется разработка ИИ-помощника, который будет работать вместе с уже созданными правилами [4, 5].

Предполагается реализовать следующие функции ИИ-помощника:

1. Подстраиваться под вкус покупателя.
2. Понимать стиль одежды по фото.
3. Обучаться на оценках пользователя.
4. Объяснять свои советы пользователю.

Разрабатываемая система в перспективе позволит избегать ошибок новичкам; экспериментировать с трендами опытным пользователям; использовать систему дизайнерам как инструмент для анализа сочетаний. Актуально внедрение разрабатываемой системы в интернет-магазины, так как она позволит улучшить пользовательский опыт и обеспечить тем самым конкурентное преимущество на рынке.

Список использованных источников
1. Иттен, И. Искусство цвета / И. Иттен ; пер. с нем. Л. Монахова. – 12-е изд. – Москва : Издатель Дмитрий Аронов, 2018. – 95 с.
2. Омельяненко, Е. В. Основы цветоведения и колористики : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 052400 – дизайн / Е. В. Омельяненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2010. – 181 с.
3. Агостон, Ж. А. Теория цвета и ее применение в искусстве и дизайне / Ж. А. Агостон ; пер. с англ. И. В. Пеновой. – Москва : Мир, 1982. – 181 с.
4. Рассел, С. Искусственный интеллект : современный подход : в 3 т. / С. Рассел, П. Норвиг ; пер. с англ. и ред. А. В. Слепцова. – 4-е изд. – Москва ; Санкт-Петербург : Диалектика, 2021 – Т. 3 : Обучение, восприятие и действие. – 2022. – 637 с.
5. Демидова, М. Д. Применение современных технологий искусственного интеллекта в индустрии моды / М. Д. Демидова, Е. С. Рыкова // Материалы и технологии. – 2024. – № 2 (14). – С. 61–67.

УДК 004.056

МНОГОУРОВНЕВАЯ ЭВРИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАЩИТЫ ОТ ПОЛИМОРФНЫХ ИИ-ВЫМОГАТЕЛЕЙ КЛАССА PROMPTLOCK

Мещеряк В. В., студ., Стукалова Д. А., студ., Чепиков К. Д., студ.,
Казаков В. Е., к.т.н., доц., Жизневский В. А., к.ф.-м.н., доц.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *Целью работы является изучение механизмов функционирования полиморфных ИИ-вымогателей класса PromptLock и разработка многоуровневой эвристической модели для их динамического обнаружения и блокирования. Метод исследования – поведенческий анализ, ML-моделирование и синтаксический разбор структуры исполняемого кода в реальном времени. В качестве исходных объектов рассматриваются векторы Jailbreak–атак на локальные языковые модели (LLM), сигналы аномальной активности системных процессов и файловой системы, а также динамика изменения энтропии данных. В качестве инструментальных средств и концепций использовались абстрактные синтаксические деревья (AST), библиотеки watchdog и psutil, алгоритмы логистической регрессии, расчет энтропии Шеннона, а также разработанное клиентское приложение на базе графической библиотеки tkinter.*

Ключевые слова: информационная безопасность, PromptLock, локальные языковые модели, полиморфный код, абстрактное синтаксическое дерево, энтропия Шеннона, Threat Score, проактивная защита.

В современном мире проектирование систем информационной безопасности сталкивается с качественным изменением ландшафта киберугроз, обусловленным децентрализацией и доступностью генеративного искусственного интеллекта. Традиционные антивирусные архитектуры, характеризующиеся жесткой привязкой к статическим сигнатурам (хеш-суммовым базам), часто становятся узким местом: они с трудом адаптируются к динамически изменяемой среде и обладают нулевой эффективностью против угроз нулевого дня. На смену статическому поиску известных файлов приходит концепция PromptLock – класс полиморфных вымогателей, генерирующих уникальные итерации вредоносного кода (преимущественно на языке Lua) непосредственно в среде исполнения с помощью локальных ИИ-сервисов. Это представляет собой фундаментальную смену парадигмы угроз, требующую перехода от сигнатурного контроля к мгновенной реактивной оценке намерений и многоуровневому

поведенческому анализу.

В результате работы были изучены концептуальные основы генеративных кибератак, проанализирована их техническая специфика, а также систематизирована комплексная архитектура противодействия. Модель защиты, управляемая специализированным движком (Detection Engine), базируется на трех фундаментальных принципах: проактивном мониторинге ИИ-инфраструктуры, анализе намерений кода и автоматическом реагировании (Kill-switch). Анатомия разработанной распределенной системы включает семь функциональных модулей, среди которых ключевую роль играют агенты низкоуровневого перехвата вызовов: модуль мониторинга файловой системы (на базе watchdog) и сетевой анализатор трафика локальных LLM-портов (на базе psutil, отслеживающий аномалии API-запросов, например, к инстансам Ollama на порту 11434). В отличие от бинарных классификаторов, компоненты системы не принимают изолированных решений, а агрегируют метрики в рамках централизованной шкалы Threat Score (от 0 до 100), что обеспечивает гибкость оценки и снижает уровень ложных срабатываний.

Для математической и алгоритмической детекции полиморфных структур применяются две основные аналитические модели. AST-анализ (Abstract Syntax Tree) обеспечивает деконструкцию логики скриптов Python и Lua, выявляя инвариантные цепочки вызовов API (API Chaining), характерные для вымогателей: последовательное чтение дескрипторов, вызов криптографических примитивов и деструкцию оригинальных объектов метаданных. Потоковый эвристический анализ в реальном времени опирается на непрерывный расчет энтропии Шеннона, что позволяет фиксировать переход файлового массива в состояние максимального информационного хаоса, сигнализируя о начале массового несанкционированного шифрования. Техническая реализация верхнего уровня опирается на методы машинного обучения, где легковесный классификатор на базе логистической регрессии осуществляет предикативную оценку подозрительных текстовых и скриптовых массивов на наличие скрытых Jailbreak-инструкций типа «ignore all previous instructions».

Преимущества разработанной многокомпонентной модели для современных рабочих станций очевидны: высокая скорость изоляции угроз (среднее время автоматического ответа модуля AutoResponse составляет 3,2 секунды), способность детектировать полностью уникальные полиморфные структуры и минимизация ущерба за счет мгновенной блокировки скомпрометированных процессов. Однако внедрение данной архитектуры сопряжено с серьезными компромиссами. Главными из них являются высокая вычислительная нагрузка при непрерывном расчете энтропии больших файловых потоков и риск ложных срабатываний на легитимные процессы шифрования или архивации (например, при сборке игровых ресурсов), что потребовало внедрения жестких «правил изоляции» и нелинейных коэффициентов корреляции для одиночных категорий алертов. Кроме того, валидация гибридных весов в асинхронном режиме принятия решений усложнена, что делает обязательным использование строго сбалансированных матриц взаимного пересечения угроз.

Таким образом, в рамках исследования была проанализирована эволюция вредоносного программного обеспечения от статических структур к распределенным полиморфным ИИ-системам, изучены ключевые компоненты концепции PromptLock и математические паттерны их обнаружения. Установлено, что выбор стратегии защиты должен основываться на комплексном аудите угроз: для изолированных систем с неизменной средой выполнения достаточен классический сигнатурный подход, тогда как для ИТ-инфраструктур, активно интегрирующих локальные генеративные нейросети, разработанная эвристическая модель PromptLock Defender является оптимальным решением. Результаты работы демонстрируют практическую значимость гибридных эвристических подходов для создания современных, адаптивных и высокоскоростных систем компьютерной безопасности.

Список использованных источников

1. Первый ИИ-вымогатель в истории. Как PromptLock генерирует вредоносный код в реальном времени // SecurityLab.ru : [сайт]. – URL: https://www.securitylab.ru/news/573587.php (дата обращения: 24.04.2026). – Текст : электронный.
2. Бхаргава, А. Грокаем алгоритмы : иллюстрированное пособие для программистов и любопытствующих : пер. с англ. / А. Бхаргава. – Москва ; Санкт-Петербург ; Минск : Питер, 2024. – 288 с.

3. Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке С / Б. Шнайер. – Москва : Триумф, 2017. – 616 с.
4. Рашка, С. Python и машинное обучение : машинное и глубокое обучение с использованием Python, Scikit-Learn и TensorFlow 2 / С. Рашка, В. Мирджалили ; пер. с англ. Ю. Н. Артеменко ; ред. Ю. Н. Артеменко. – 3-е изд. – Москва ; Санкт-Петербург : Диалектика, 2020. – 846 с.

УДК 004.896

ОЦЕНКА АРХИТЕКТУРЫ LEGO EV3 КАК ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ АЛГОРИТМОВ АВТОНОМНОГО ПОВЕДЕНИЯ РОБОТОВ

Пожаринский А. А., студ., Черненко Д. В., ст. преп., Соколова А. С., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье анализируется вычислительная архитектура LEGO EV3 – популярной образовательной платформы по робототехнике, выпущенной около 2013 года. Рассматриваются её аппаратные ограничения: процессор ARM9 с частотой 300 МГц, 64 МБ ОЗУ, 16 МБ Flash-памяти, однопоточное выполнение и поддержка набора инструкций Thumb-1. Проводится сравнение с современными мобильными процессорами, одноплатными компьютерами (Raspberry Pi) и микроконтроллерами (STM32, Arduino). Показано, что, несмотря на низкую производительность, архитектура EV3 обладает высокой предсказуемостью и прозрачностью работы, что делает её идеальным инструментом для обучения системной логике управления, циклическим задержкам и оптимизации алгоритмов в условиях жёстких ресурсных ограничений.*

Ключевые слова: LEGO EV3, ARM9, Thumb-1, однопоточная архитектура, алгоритмы автономного поведения, образование в робототехнике, системы реального времени.

LEGO EV3 представляет собой доступную и широко распространённую платформу для обучения робототехнике. Однако её архитектура содержит устаревшие компоненты и ограниченную вычислительную мощность. В связи с этим возникает исследовательский вопрос: насколько EV3 пригодна для реализации базовых алгоритмов автономного поведения, включая задачи стабилизации, навигации и простые модели искусственного интеллекта?

Цель данной работы – количественно и качественно оценить возможности процессорного ядра ARM9, системной логики и набора команд Thumb-1, а также определить место EV3 среди современных платформ [1].

Центральным элементом EV3 является процессор ARM9 (ARM926EJ-S) с частотой 300 МГц, одно ядро, архитектура in-order (последовательное выполнение команд без спекулятивных механизмов). Объём оперативной памяти – 64 МБ, постоянной Flash – 16 МБ. Год разработки – около 2013. В сравнении с современными мобильными процессорами (2020–2024) с частотами 2–3 ГГц, 6–8 ядрами, 4–12 ГБ ОЗУ [2] и аппаратными блоками NPU, EV3 уступает в производительности в сотни раз. Даже одноплатный компьютер на базе ARM Cortex-A53 (2012 г.) с 1,2 ГГц, 4 ядрами и 1 ГБ ОЗУ опережает EV3 в 10–20 раз.

Однако такая слабость, как ни парадоксально, формирует специфическую ценность: EV3 становится модельной системой, где исследователь или студент может явно наблюдать влияние каждой архитектурной особенности на поведение робота.

Ядро ARM9 поддерживает два режима: полный 32-битный набор ARM и компактный 16-битный Thumb-1 (около 36 инструкций, урезанный по функциональности против Thumb-2). В EV3 критично использование Thumb-1, поскольку объём Flash-памяти всего 16 МБ. Плотность кода

повышается, что позволяет разместить больше логики, но ценой снижения гибкости адресации и производительности на некоторые операции.

В отличие от современных Cortex-A с out-of-order исполнением, NEON, DSP, MMU и кэшами L1/L2, ARM9 не имеет даже блока MMU (Memory Management Unit) и NEON. Отсутствие аппаратного ускорения ИИ исключает реализацию нейросетевых алгоритмов, но не препятствует выполнению простых сенсорных циклов, конечных автоматов и ПИД-регуляторов.

Однопоточность означает последовательное выполнение всей логики: чтение сенсоров → обработка → управление моторами. При усложнении алгоритма время цикла управления растёт, достигая 10–20 мс задержек. Это ограничивает:

– максимальную частоту работы стабилизаторов;
– точность навигации в динамических сценах;
– сложность алгоритмов поведения (например, одновременная обработка нескольких сенсоров и планирование траектории).

Thumb-1 дополнительно замедляет выполнение из-за ограниченного набора регистров (R0–R7) и необходимости расшивки некоторых операций в несколько инструкций. Тем не менее компактность кода обеспечивает энергоэффективность – важное свойство для учебных экспериментов на батарейном питании.

– Arduino (AVR) – быстрее в простых задачах реального времени, оптимален для минимальной логики и работы с датчиками, но крайне ограничен по памяти и архитектурно ещё проще.
– STM32 (ARM Cortex-M с Thumb-2) – современный MCU с эффективным набором команд, превосходит EV3 по производительности на инструкцию и поддерживает реальное время (real-time).
– Raspberry Pi (Cortex-A, Linux) – на порядки мощнее, позволяет запускать сложные ИИ-алгоритмы, мультимедиа и сетевые сервисы, но скрывает низкоуровневые детали под слоями абстракции ОС.

EV3 занимает промежуточную нишу: он слабее современных MCU и одноплатников, но сохраняет баланс между наглядностью работы «железа» и достаточной функциональностью для обучения алгоритмам поведения.

Дизассемблирование простых операций EV3 (например, загрузка значения сенсора, сравнение с порогом, переход, вызов функции мотора) показывает, как Thumb-1 разворачивает высокоуровневые команды в последовательности из 3–5 инструкций:

```
LDR R0, [R1];
CMP R0, #20;
BGT turn_right;
MOV R2, #30;
BL motor_run.
```

Циклическое обновление состояния мотора требует чтения, инкремента и записи обратно через LDR, ADD, STR, B.

Это наглядно демонстрирует причины задержек: даже простая логика превращается в цепочки операций, а отсутствие параллелизма заставляет сенсоры и моторы ждать очереди.

Почему же платформа остаётся актуальной спустя более 10 лет? Главный ответ – прозрачность. На EV3 студент видит:

– циклы управления и их временную стоимость;
– работу драйверов через файловую модель в EV3dev;
– влияние набора команд на компактность и скорость;
– отсутствие аппаратных оптимизаций, которые скрыты в Raspberry Pi или STM32.

ARM9 + Thumb-1 дают минимальную вариативность исполнения: робот ведёт себя одинаково при каждом запуске. Это критично для воспроизводимых экспериментов и обучения. EV3 учит работать с ограниченными ресурсами, оптимизировать алгоритмы и понимать прямую связь между архитектурой и физическим поведением робота.

По результатам исследования можно сделать вывод, что LEGO EV3 не предназначен для современных задач ИИ или высокоточной стабилизации с частотой более 100 Гц. Однако его ценность – не в мощности, а в прозрачности. Платформа позволяет разобрать робототехническую систему по слоям: от машинного кода Thumb-1 до циклов управления сенсорами и моторами. Для обучения архитектуре роботов, исследовательских экспериментов

с базовыми алгоритмами поведения и демонстрации принципов реального времени EV3 остаётся идеальной учебной системой.

Работа с EV3 формирует системное мышление, понимание компромиссов между компактностью кода и быстродействием, а также навыки разработки в условиях жёстких ограничений – что является отличной базой для перехода к более мощным платформам.

Список использованных источников

1. Добриборщ, Д. Э. Основы робототехники на Lego® Mindstorms® EV3 : учебное пособие для СПО / Д. Э. Добриборщ, К. А. Артемов, С. А. Чепинский, А. А. Бобцов. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 108 с.
2. Набор робототехники LEGO EV3 по курсу «Робототехника» // Инфоурок : [сайт]. – URL: https://infourok.ru/nabor-robototehniki-lego-ev3-po-kursu-robototehnika-4356983.html (дата обращения: 11.05.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.65:004.9

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕСТОРАНОМ БЫСТРОГО ПИТАНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ 1С:ПРЕДПРИЯТИЕ 8.3

Стукалова Д. А. студ., Быковский Д. И., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье выполнен анализ предметной области и существующих программных решений для ресторанов, обоснован выбор платформы 1С:Предприятие 8.3 как основы для создания интегрированной информационной системы. Разработана конфигурация «УправлениеРестораном», включающая подсистемы управления меню, заказами, складским учётом, персоналом, программой лояльности и аналитической отчётностью. Структура конфигурации включает справочники, документы, регистры накопления и сведений, отчёты с диаграммами и систему ролей доступа.*

Ключевые слова: 1С:Предприятие 8.3, ресторан быстрого питания, автоматизация учёта, складской учёт, программа лояльности, аналитическая отчётность.

Современная индустрия общественного питания характеризуется высокой конкуренцией и требованием к стабильному качеству обслуживания клиентов при одновременном сокращении издержек. В ресторанах быстрого питания ежедневно выполняется большое количество однотипных операций: оформление заказов на кассе, списание и поступление товаров, управление рабочими сменами и анализ финансовых показателей. Ведение этих процессов с использованием разрозненных программных средств приводит к дублированию информации, задержкам в получении аналитических данных и сложности контроля за работой персонала.

Как показал анализ существующих решений, специализированные POS-системы ориентированы преимущественно на кассовые операции и обладают ограниченными возможностями по складскому учёту и аналитике, тогда как крупные ERP-системы избыточны и требуют значительных затрат на внедрение и сопровождение. Платформа 1С: Предприятие 8.3 занимает промежуточное положение, предоставляя развитые механизмы учёта, язык встроенного программирования, конструктор отчётов и средства разграничения доступа, что делает её удобной для разработки специализированных конфигураций для малого и среднего бизнеса.

Цель исследования – разработка конфигурации 1С:Предприятие 8.3 для комплексной автоматизации управления рестораном быстрого питания McDonald’s.

Задачи исследования:

– анализ бизнес-процессов ресторана и формирование требований к информационной

системе;

– проектирование структуры конфигурации с использованием UML-диаграмм и ER-модели;

– реализация объектов конфигурации (справочники, документы, регистры, отчёты, модули) на платформе 1С:Предприятие 8.3;

– проведение тестирования основных сценариев работы системы и оценка полученных результатов.

Исследование связано с приоритетными направлениями цифровизации бизнеса, автоматизации учёта и внедрения аналитических инструментов в сфере общественного питания. Практическое применение разработанной конфигурации позволяет сократить объём ручного труда, повысить точность учёта и обеспечить доступ к оперативной аналитике для менеджера ресторана.

Инструментарий исследования – платформа 1С:Предприятие 8.3 (режим управляемого приложения), средства проектирования UML-диаграмм, механизмы регистров накопления и сведений, конструктор отчётов с поддержкой диаграмм, а также встроенный язык 1С для реализации бизнес-логики.

Ресторан быстрого питания McDonald's представляет собой предприятие, где бизнес-процессы можно условно разделить на шесть ключевых блоков: управление меню и номенклатурой, обслуживание клиентов и обработка заказов, складской учёт, управление персоналом и сменами, программа лояльности, а также аналитика и отчётность.

Процесс обслуживания клиентов начинается с формирования заказа на кассе. Кассир выбирает позиции меню, система автоматически рассчитывает стоимость заказа с учётом скидок и бонусов, после чего фиксируется способ оплаты (наличные, банковская карта, бонусные баллы). При проведении заказа должны быть отражены движения по продажам, списание товаров со склада и, при необходимости, начисление бонусных баллов по программе лояльности.

Программа лояльности реализуется через использование карт лояльности клиентов, по которым начисляются и списываются бонусные баллы при совершении покупок. Аналитика и отчётность обеспечивают формирование сводных показателей по выручке, популярности блюд, эффективности сотрудников, состоянию складских запасов и результатам бонусной программы с использованием таблиц и диаграмм.

Разрабатываемая конфигурация *«УправлениеРестораномМакдоналдс»* построена на платформе 1С:Предприятие 8.3 [1–3] и включает подсистемы «*Управление Меню», «Управление Заказами», «Складской Учет», «Управление Персоналом», «Программа Лояльности» и «Аналитика»*. В состав конфигурации входят 6 подсистем, 5 перечислений, 6 справочников, 6 документов, 3 регистра накопления, 2 регистра сведений, 6 отчётов, 4 общих модуля и 4 роли пользователей (рис. 1).

Документы конфигурации отражают основные хозяйственные операции ресторана. Документ *«ЗаказКлиента»* фиксирует продажи и формирует движения по регистрам *«Продажи», «ОстаткиТоваров»* и *«БонусныеБаллы»*, обеспечивая автоматический расчёт суммы заказа, скидок и начисленных бонусов. Документ *«ПоступлениеТоваров»* увеличивает остатки товаров, а документ *«СписаниеТоваров»* уменьшает их, контролируя невозможность списания сверх имеющегося остатка. Документы *«ОткрытиеСмены»* и *«ЗакрытиеСмены»* используются для учёта рабочего времени сотрудников, формируя записи в регистре сведений *«ГрафикРаботы»*. Документ *«НачислениеБонусов»* управляет начислением и списанием бонусных баллов по картам лояльности.

Бизнес-логика конфигурации реализована на встроенном языке 1С в модулях объектов и общих модулях. В модуле документа *«ЗаказКлиента»* реализована процедура проведения, которая формирует движения по регистрам и вызывает функции общих модулей для расчёта бонусов и проверки остатков. Общий модуль *«РаботаСЗаказами»* содержит функции для получения списка активных заказов и формирования сводки продаж, модуль *«РаботаСоСкладом»* – функции контроля остатков и поиска позиций с низким запасом, модуль *«РаботаСБонусами»* – функции расчёта и проверки бонусного баланса.

Тестирование конфигурации проводилось на наборе сценариев, охватывающих создание номенклатуры, оформление заказов, поступление и списание товаров, начисление и списание бонусов, открытие и закрытие смен, формирование отчётов и проверку ролевой модели

доступа. По результатам тестирования все сценарии были выполнены успешно: система корректно рассчитывает суммы заказов, отражает движения по регистрам, контролирует остатки и формирует отчёты с таблицами и диаграммами. Ролевой доступ обеспечивает разграничение прав между администратором, менеджером, кассиром и кладовщиком.

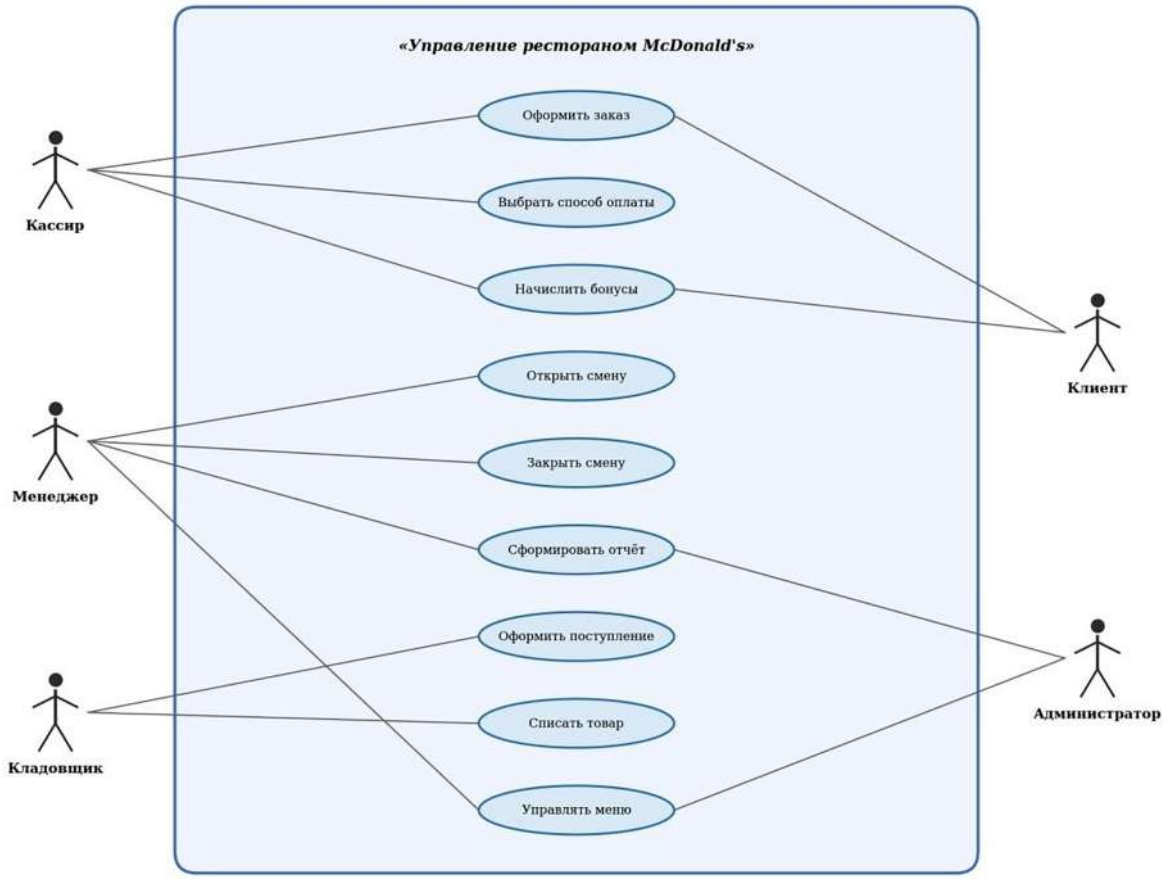


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования конфигурации *«УправлениеРестораномМакдоналдс»*

Проведённое исследование продемонстрировало возможность создания на платформе 1С:Предприятие 8.3 конфигурации, обеспечивающей комплексную автоматизацию управления рестораном быстрого питания McDonald’s. Разработанная конфигурация *«УправлениеРестораномМакдоналдс»* охватывает основные бизнес-процессы ресторана: управление меню, оформление заказов, складской учёт, управление персоналом, программу лояльности и аналитическую отчётность.

Дальнейшее развитие работы может быть связано с интеграцией конфигурации с системами онлайн-заказов и терминалами самообслуживания, расширением подсистемы аналитики и внедрением механизмов обмена данными с внешними системами учёта.

Список использованных источников

1. Документация 1С:Предприятие 8.3 // 1С:ИТС : [сайт]. – URL: https://its.1c.ru/db/v8doc (дата обращения: 01.04.2026). – Текст : электронный.
2. Радченко, М. Г. 1С:Предприятие 8.3 : практическое пособие разработчика : примеры и типовые приемы / М. Г. Радченко, Е. Ю. Хрусталева. – 3-е изд. – Москва : 1С-Паблишинг, 2023. – 982 с.
3. Хрусталева, Е. Ю. Разработка управляемого интерфейса в 1С:Предприятие 8.3 / Е. Ю. Хрусталева. – Москва : 1С-Паблишинг, 2022. – 297 с.

УДК 004.896

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ КОМПАКТНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ LEGO MINDSTORMS EV3 В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Сукорская А. Ф., студ., Черненко Д. В., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматривается процесс создания и интеграции нейросетевого алгоритма управления для робототехнической платформы LEGO MINDSTORMS EV3. В условиях жестких ограничений вычислительных ресурсов и памяти микрокомпьютера EV3 классические библиотеки машинного обучения оказываются неэффективными. Авторы предлагают архитектуру полносвязной нейросети 2→8→2, реализованной на языке C++ в среде ev3dev. Описан полный цикл работ: от сбора датасета с физических датчиков робота до обучения модели и интеграции её в исполняемый код. Экспериментально подтверждено повышение точности навигационных задач на 15–20 % по сравнению с пороговыми алгоритмами.*

Ключевые слова: LEGO EV3, Нейросетевой контроллер, C++, ev3dev, Адаптивное управление.

Платформа LEGO MINDSTORMS EV3 долгое время используется как образовательный инструмент для знакомства с основами робототехники и программирования [1]. Однако традиционные алгоритмы управления (например, конечные автоматы или ПИД-регуляторы) часто демонстрируют недостаточную гибкость при работе в динамически меняющейся среде. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью повышения адаптивности мобильных роботов без модернизации их аппаратной части.

Целью работы является разработка и внедрение компактной нейросети, способной обрабатывать данные с двух сенсоров и выдавать управляющие сигналы на моторы в реальном времени. В отличие от подходов, предлагаемых на образовательных порталах, где нейросети используются лишь для генерации текста программ [2], мы реализовали полноценный контроллер прямого действия, работающий внутри робота.

Исходной задачей являлся выбор языка программирования. Исследование показало, что высокоуровневые интерпретируемые языки создают критическую задержку при обработке сенсорных данных. Поэтому был выбран язык C++, обеспечивающий точный контроль над памятью и высокую производительность компилируемого кода. Операционной системой выступила ev3dev – дистрибутив Linux, позволяющий использовать стандартные инструменты C++.

Для обработки данных двух сенсоров (например, ультразвукового и инфракрасного или двух ультразвуковых датчиков) и формирования скорости двух независимых моторов была выбрана архитектура многослойного перцептрона (MLP) с конфигурацией 2→8→2. Выбор одного скрытого слоя с 8 нейронами обусловлен теоремой о полноте (универсальной аппроксимации): сеть способна аппроксимировать любую непрерывную функцию управления при минимальных вычислительных затратах на операции матричного умножения.

Ключевым этапом стало формирование обучающей выборки. В отличие от симуляторов, физический робот требует учета шумов реальных сенсоров. Сбор данных проводился в автоматическом режиме с частотой 10-20 Гц (интервал 50–100 мс). В датасет, содержащий ~5000 строк, вошли следующие параметры:

– Входные векторы: sensor_left, sensor_right (нормализованные показания препятствий).
– Целевые значения: motor_left, motor_right, зафиксированные с энкодеров.

Сценарии включали 10 режимов движения: прямолинейное движение, резкие и плавные повороты, движение вдоль стены, объезд препятствий и комбинированные маневры. Такой подход позволил собрать репрезентативную выборку, покрывающую пространство состояний робота.

Обучение модели производилось на внешнем ПК методом обратного распространения ошибки. Однако для инференса прямого прохода был разработан легковесный модуль на C++.

Алгоритм работы встроенного контроллера представляет собой цикл:

1. Чтение данных из файла.
2. Нормализация и подача вектора {left, right} в функцию predict().
3. Расчёт выходных значений.
4. Запись в драйвер моторов.

Одновременно сохранялись реальные значения скорости левого и правого моторов. Эти целевые данные, которые нейросеть должна научиться воспроизводить.

Каждый момент времени записывался как строка формата: sensor_left, sensor_right, motor_left, motor_right, формируя датасет, показанный на рисунке 1. Итоговый объём данных после выполнения всех сценариев ≈ 5000 строк данных. Этого достаточно для обучения компактной сети 2→8→2.

# sensor_left	# sensor_right	motor_left	motor_right
666	326	0.987083	-0.0170154
460	336	0.837298	0.997209
321	348	0.609053	0.998195
326	213	0.986588	-0.00884074
321	326	0.609139	0.998194
510	582	0.609043	0.998195
488	452	0.609154	0.998194
433	357	0.630843	0.998139
392	391	0.609075	0.998195
385	288	0.797989	0.997482
361	347	0.609295	0.998194

Рисунок 1 – Датасет для обучения нейросети

Испытания проводились на полигоне с препятствиями. Оценка эффективности нейросетевого контроллера проводилась по сравнению с пороговым алгоритмом.

– Точность навигации: снижение числа касаний препятствий уменьшилось на 15–20% .

– Адаптивность: робот демонстрировал способность к обобщению. Обученный на одних типах препятствий он успешно объезжал объекты с другой кривизной поверхности.

– Производительность: время полного цикла «сенсор – вычисление – мотор» не превышало 15 мс, что соответствует требованиям реального времени.

В результате исследования была доказана работоспособность и эффективность использования полносвязных нейросетей на ограниченном оборудовании класса LEGO MINDSTORMS EV3. Предложенная архитектура 2→8→2 на языке C++ позволяет реализовать сложное адаптивное поведение (например, следование вдоль стены в сантиметровом диапазоне или объезд динамических препятствий), недоступное для жестких алгоритмов. Полученные результаты подтверждают целесообразность дальнейшего развития самообучающихся систем в образовательной робототехнике как средства для изучения не только механики, но и основ искусственного интеллекта.

Список использованных источников

1. LEGO MINDSTORMS EV3. Образовательное решение [Electronic resource] // LEGO Education : [site]. – URL: https://education.lego.com/en-us/start/mindstorms-ev3/#Setting-Up (date of access: 10.04.2026).

2. Власенков, Д. Проект «Нейросеть – инструмент для создания программ на базе конструктора LEGO MINDSTORMS EV3» / Д. Власенков // Инфоурок : [сайт]. – URL: https://infourok.ru/proekt-nejroset-instrument-dlya-sozdaniya-programm-na-baze-konstruktora-lego-mindstorms-ev3-7837597.html (дата обращения: 10.04.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.75:004.4

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА КОРПОРАТИВНОЙ IAAS-ПЛАТФОРМЫ MTS CLOUD ПО ИТОГАМ ХАКАТОНА SPACE BSU WITH MTC

Токарь Г. М., студ., Мацуганова М. Д., преп.-стажёр
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматривается разработка учебно-практического прототипа корпоративной IaaS-платформы MTS Cloud, выполненного в рамках хакатона Space BSU with MTC. Актуальность работы обусловлена ростом потребности организаций в гибком управлении вычислительной инфраструктурой без необходимости закупки и обслуживания собственных серверов. Особое внимание уделено проблемам физической инфраструктуры, преимуществам модели Infrastructure as a Service, архитектуре веб-интерфейса, механизмам мультитенантности, управлению виртуальными машинами, квотами ресурсов, приглашениями пользователей, расчету стоимости и AI-помощнику для подбора конфигурации. Результатом проекта стал интерактивный UI-прототип облачной платформы, демонстрирующий ключевые сценарии работы заказчика и администратора.*

Ключевые слова: хакатон, Space BSU with MTC, MTS Cloud, IaaS, облачные вычисления, виртуальные машины, мультитенантность, TypeScript, React, Vite, Docker, AI-помощник, веб-прототип.

Хакатон Space BSU with MTC был ориентирован на решение прикладной задачи в области облачных вычислений: необходимо было спроектировать упрощенную корпоративную IaaS-платформу, которая показывает, как организация может получать вычислительные ресурсы через веб-интерфейс. В репозитории проекта указано, что мероприятие проходило 4–6 марта 2026 г., а задача заключалась в создании платформы с поддержкой мультитенантности, квот CPU, RAM, дискового пространства и виртуальных машин, а также жизненного цикла ВМ в демонстрационном режиме [1].

Проблематика проекта связана с ограничениями традиционной физической инфраструктуры. В презентационных материалах выделены затраты на покупку серверов, необходимость настройки сетей, управление виртуальными машинами и постоянный контроль ресурсов [2]. Эти факторы особенно существенны для компаний, которые быстро масштабируют цифровые сервисы, запускают тестовые среды или предоставляют инфраструктуру нескольким внутренним командам. В такой ситуации облачная модель IaaS позволяет заменить капитальные затраты более гибким подходом, при котором пользователь получает доступ к вычислительным ресурсам по требованию.

Модель Infrastructure as a Service предполагает предоставление базовой ИТ-инфраструктуры в виде сервиса. Пользователь получает возможность запускать виртуальные машины, изменять объем выделенных ресурсов, контролировать нагрузку и оплачивать фактическое использование. В презентации проекта эти преимущества представлены через управление инфраструктурой через веб, масштабирование ресурсов, запуск виртуальных машин и оплату только за реальное потребление [2]. Следовательно, IaaS выступает не только как техническая модель развертывания, но и как инструмент оптимизации организационных процессов.

Разработанное решение получило название MTS Cloud IaaS. Визуальная концепция проекта

строится вокруг корпоративной платформы, которая обеспечивает доступность, поддержку и быстрое развертывание инфраструктуры. На главном экране прототипа акцентированы показатели доступности 99,95 %, круглосуточной поддержки, масштабной пользовательской базы и быстрого развертывания. Такие элементы важны для восприятия платформы как надежного сервиса, ориентированного на бизнес-заказчиков, которым требуется понятный интерфейс для работы с инфраструктурой без глубокого погружения в администрирование серверов.

Одним из ключевых требований к облачной платформе является мультитенантность. В контексте данного проекта она означает логическую изоляцию организаций и распределение ресурсов между ними. Для администратора это выражается в возможности управлять арендаторами, задавать лимиты по CPU, памяти, диску и числу виртуальных машин, а также контролировать текущее потребление. Для клиента мультитенантность проявляется в безопасной работе внутри собственной организации, где пользователи видят только свои ресурсы, приглашения и конфигурации.

Функциональная часть прототипа включает клиентский портал и административную панель. Клиентский портал ориентирован на пользователя организации и содержит список виртуальных машин, их статусы, фильтры, поиск, просмотр деталей, а также действия запуска, остановки и удаления. Административная панель предназначена для контроля арендаторов, квот и общего состояния платформы. Согласно структуре репозитория, проект содержит директории src и server, Dockerfile для фронтенда, docker-compose.yml, конфигурационные файлы Vite и package.json, что указывает на ориентацию решения на современную веб-разработку и контейнеризованный запуск [1].

Технологический стек проекта выбран с учетом скорости разработки в условиях хакатона. Основная часть кода репозитория написана на TypeScript, что повышает предсказуемость интерфейсной логики и снижает риск ошибок за счет статической типизации [1]. Использование Vite позволяет быстро поднимать среду разработки, а запуск через команды npm i и npm run dev делает проект воспроизводимым для команды и жюри. Наличие Dockerfile.frontend и docker-compose.yml важно для демонстрации принципов переносимости: прототип можно собрать и запустить в изолированной среде, что соответствует идеологии облачных сервисов.

Особое место в решении занимает модуль статистики и контроля. На слайдах показана панель обзора платформы с карточками арендаторов, виртуальных машин, загрузки CPU и аварийных событий, а также графиком нагрузки и списком последних активностей [2]. Такой интерфейс помогает администратору быстро оценивать состояние системы и принимать решения: увеличивать квоты, выявлять перегруженные участки или анализировать активность пользователей. Для корпоративной IaaS-платформы это критически важно, поскольку управление ресурсами невозможно без наблюдаемости.

Модуль управления виртуальными машинами демонстрирует типовой сценарий работы пользователя: просмотр списка ВМ, фильтрация по статусам, выбор конфигурации и выполнение базовых действий жизненного цикла. В учебном прототипе операции выполняются в mock-режиме, однако сама логика интерфейса приближена к реальным облачным панелям. Пользователь видит состояние машины, объем CPU, RAM и диска, что формирует прозрачность потребления и делает инфраструктуру более понятной для неадминистративных ролей.

Дополнительным преимуществом проекта является механизм быстрых приглашений. В презентации показан сценарий создания ссылки-приглашения и форма принятия приглашения новым пользователем [2]. Такая функция упрощает подключение сотрудников к организации и делает прототип ближе к реальным SaaS- и IaaS-сервисам, где важны не только ресурсы, но и удобная организация совместной работы. С точки зрения безопасности эта функция также подчеркивает необходимость разграничения прав и изоляции пользователей внутри тенанта.

Наиболее инновационной частью решения является AI-помощник для подбора конфигурации. Пользователь вводит параметры задачи: тип приложения, нагрузку, ожидаемое число пользователей, интенсивность запросов и требования к хранению данных. После этого система предлагает рекомендованные значения процессора, оперативной памяти и дискового пространства. В презентации эта функция описана как подбор нужной конфигурации за несколько секунд [2]. Подобный подход снижает порог входа для клиентов, которые не обладают экспертными знаниями в инфраструктуре, но должны быстро выбрать подходящий тариф.

Связанным с AI-помощником является модуль расчета стоимости в реальном времени. Он позволяет пользователю заранее понимать, сколько может стоить выбранная конфигурация, и сравнивать варианты до создания ресурса. Для бизнеса это важно, поскольку облачная модель эффективна только при контроле расходов. Интерактивный расчет делает процесс выбора прозрачным, помогает избежать избыточного выделения ресурсов и поддерживает принцип оплаты за фактическое использование.

Результатом хакатона стал не промышленный облачный провайдер, а демонстрационный прототип, раскрывающий ключевую логику корпоративной IaaS-платформы. Его ценность заключается в том, что команда смогла связать бизнес-проблему, пользовательский интерфейс и техническую реализацию. Проект показывает, как можно объединить мультитенантность, управление квотами, жизненный цикл виртуальных машин, мониторинг, приглашения пользователей, рекомендации на основе ИИ и расчет стоимости в единую систему.

Таким образом, разработка MTS Cloud IaaS в рамках Space BSU with MTC демонстрирует практическое применение современных веб-технологий для моделирования облачной инфраструктуры. Проект имеет учебную, презентационную и продуктовую значимость: он позволяет объяснить принципы IaaS, показать роль интерфейса в управлении ресурсами и продемонстрировать потенциальные направления развития корпоративных облачных сервисов. Перспективами дальнейшей работы являются подключение реального backend API, интеграция с гипервизором или облачным оркестратором, расширение ролевой модели, добавление биллинга, журналов аудита и более точной рекомендательной модели для AI-помощника.

Список использованных источников

1. Glcskl/Mtsclouds : репозиторий проекта MTS Cloud IaaS : [сайт]. – 2026. – URL: https://github.com/glcskl/Mtsclouds (дата обращения: 05.04.2026). – Текст : электронный.
2. Cloud IaaS : презентация проекта хакатона Space BSU with MTC : [сайт]. – 2026. – 11 с. – URL: https://github.com/glcskl/Mtsclouds (дата обращения: 05.05.2026). – Текст : электронный.
3. Vite : Next Generation Frontend Tooling : [сайт]. – 2026. – URL: https://vite.dev/ (дата обращения: 05.04.2026). – Текст : электронный.
4. Docker Documentation : [сайт]. – 2026. – URL: https://docs.docker.com/ (дата обращения: 05.05.2026). – Текст : электронный.
5. TypeScript Documentation : [сайт]. – 2026. – URL: https://www.typescriptlang.org/docs/ (дата обращения: 05.04.2026). – Текст : электронный.

УДК 378.147:004.4

ХАКАТОН КАК ИНСТРУМЕНТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ НОВЫХ ФРЕЙМВОРКОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

Токарь Г. М., студ., Проскочилов М. Д., студ., Мацуганова М. Д., преп.-стажёр
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматривается роль хакатонов как эффективного инструмента ускоренного освоения новых фреймворков и технологий в процессе профессиональной подготовки ИТ-специалистов. Анализируются педагогические механизмы, обеспечивающие интенсификацию обучения в условиях временных ограничений и командной работы. Выявляются ключевые факторы, способствующие повышению эффективности изучения технологических инноваций в рамках соревновательных мероприятий.*

Ключевые слова: хакатон, интенсификация обучения, фреймворки, веб-технологии, проектное обучение, командная разработка.

В современной системе высшего профессионального образования, ориентированной на подготовку ИТ-специалистов, сохраняется противоречие между высокими темпами обновления технологического стека и инерционностью традиционных учебных планов. Освоение новых фреймворков и технологий, появляющихся на рынке с периодичностью несколько месяцев, требует от обучающихся способности к самоорганизации и быстрому вхождению в незнакомый инструментарий. Хакатон как формат интенсивного проектного обучения представляет собой инструмент, позволяющий минимизировать разрыв между академической подготовкой и требованиями индустрии.

Интенсификация изучения новых технологий в рамках хакатона обеспечивается комплексом взаимосвязанных факторов. Прежде всего, жесткие временные рамки (24–48 часов) создают искусственный дефицит времени, выступающий катализатором когнитивных процессов. Обучающийся не имеет возможности последовательно изучать документацию по фреймворку традиционным способом – он вынужден переходить к практическому применению, осваивая инструмент «в действии». Данный подход коррелирует с теорией конструктивизма, согласно которой знание эффективнее формируется через непосредственный опыт решения реальной задачи, нежели через пассивное усвоение теоретического материала.

Вторым значимым фактором выступает коллективный характер работы. Большинство современных фреймворков (React, Vue.js, Angular, Spring Boot, Django) предполагают разделение функциональных зон между несколькими разработчиками. В процессе хакатона участники распределяют между собой освоение различных компонентов технологического стека: один член команды фокусируется на клиентской логике, второй – на верстке и адаптивной стилизации, третий – на интеграции с API и бэкенд-составляющей. Это позволяет в сжатые сроки охватить более широкий спектр технологий, чем при индивидуальном обучении, и одновременно формирует навыки работы с системой контроля версий (Git), неизбежные при коллаборативной разработке.

Освоение фреймворков на хакатоне отличается от академической линейной модели, предполагающей последовательное чтение документации, выполнение упражнений и реализацию проекта. Вместо этого применяется итеративный подход: участник выделяет минимальные требования к функционалу, находит в документации способ решения конкретной задачи, реализует его и корректирует ошибки. Это ускоряет закрепление материала благодаря включению в контекст практически значимой задачи [1].

Практическим подтверждением эффективности хакатона как инструмента интенсификации обучения служит опыт участия студентов Витебского государственного технологического университета в хакатоне Space Hackathon with Great Stone & MIRAN (рис. 1).

В ходе соревнования перед командой была поставлена задача по разработке чат-бота для автоматизации проверок на производстве. Техническое задание включало создание программного модуля, способного фиксировать состояние оборудования, контролировать чистоту рабочих мест и отслеживать соблюдение техники безопасности на промышленном объекте [2]. В условиях ограниченного времени (24 часа) участникам потребовалось освоить фреймворки для разработки чат-ботов (в том числе библиотеки для интеграции с мессенджерами и системы управления диалоговыми сценариями), инструменты для работы с API внешних сервисов. В результате студентами УО «ВГТУ» был представлен работающий прототип чат-бота, позволяющий сократить время проведения производственных проверок и минимизировать человеческий фактор при оформлении отчетной документации (рис. 2).



Рисунок 1 – Участие студентов УО «ВГТУ» в хакатоне Space Hackathon with Great Stone & MIRAN

Данный опыт демонстрирует, что хакатон позволяет за короткий

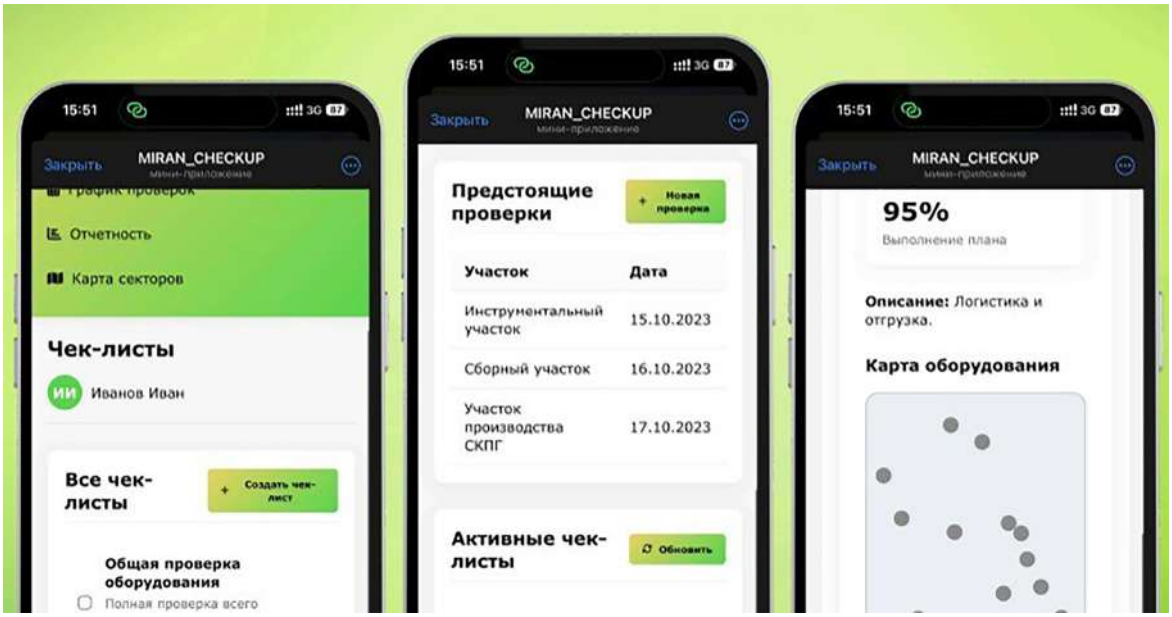


Рисунок 2 – Прототип чат-бота

срок не только освоить новые технологические инструменты, но и применить их для решения прикладной задачи из реального сектора экономики [3].

Хакатон представляет собой эффективный инструмент интенсификации изучения новых фреймворков и технологий, основания которого лежат в комплексе психолого-педагогических механизмов: тайм-депривации, практико-ориентированном контексте, социальной фасилитации и коллективной кодификации знаний. Успешное участие студентов Витебского государственного технологического университета в хакатоне Space Hackathon with Great Stone & MIRAN подтверждает применимость данного формата для решения реальных производственных задач и освоения востребованных технологий разработки чат-ботов. Наиболее высокие результаты достигаются при интеграции хакатонов в учебный процесс в качестве дополнения к систематической подготовке, а не ее замены.

Список использованных источников

1. Зверев, А. В. Оценка эффективности хакатонов в формировании профессиональных компетенций ИТ-специалистов / А. В. Зверев, М. И. Петрова // Современные информационные технологии. – 2025. – № 1. – С. 42–48.
2. The Industrial Park hosted the Space Hackathon with Great Stone & MIRAN : [сайт] // Great Stone Industrial Park. – 2025. – Nov. – URL: https://en.industrialpark.by/news/2025/the-industrial-park-hosted-the-space-hackathon-with-great-stone-miran/ (date of access: 28.04.2026). – Text : electronic.
3. Matsuganova, M. Hackathons as a tool for attracting promising young specialists to the IT sphere. Experience of international and Belarusian companies / M. Matsuganova ; D. Chernenko // ECON-2025: World Economy and International Business : abstracts of the Third International Student Scientific Conference, April 18, 2025 / Ministry of Education of the Republic of Belarus, Belarus State Economic University, [etc]. – Minsk, 2025. – P. 151–153. – Текст : электронный.

УДК 004.9:677.025

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЁТА И ИНТЕРАКТИВНОЙ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТРИКОТАЖНЫХ ПЕРЕПЛЕТЕНИЙ

Франц А. А., студ., Гилевская В. Д., студ., Быковский Д. И., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрена проблема автоматизации инженерных расчётов параметров трикотажных полотен в условиях цифровизации лёгкой промышленности. Проанализированы ограничения существующих десктопных CAD-систем, такие как привязка к ОС Windows, необходимость лицензирования и высокие требования к аппаратному обеспечению. Разработано кросс-платформенное веб-приложение на стеке PHP/MySQL/JavaScript для автоматизированного расчёта геометрических и физико-механических характеристик трикотажа. Реализована модульная архитектура с серверной обработкой математических зависимостей А.С. Далидовича, системой аутентификации и ведением истории расчётов. Интегрирован модуль интерактивной 3D-визуализации на базе библиотеки Three.js, позволяющий в реальном времени генерировать параметрические модели трикотажа. Установлено, что веб-подход обеспечивает доступность инструмента для образовательных учреждений и малых предприятий без затрат на специализированное ПО.*

Ключевые слова: трикотажные переплетения, 3D-визуализация, Three.js, PHP, MySQL, параметрическое моделирование

В современных условиях цифровой трансформации текстильной промышленности [1] особую актуальность приобретает внедрение информационных технологий в процессы проектирования трикотажных изделий. Традиционные методы ручного вычисления параметров петель, плотностей и модулей требуют значительных временных затрат и сопряжены с риском возникновения математических погрешностей, что негативно сказывается на качестве проектируемых изделий и эффективности производственного процесса. Существующие решения для 3D-моделирования трикотажа, такие как ProCAD и прикладные библиотеки для САПР «КОМПАС-3D», демонстрируют высокую функциональность, однако имеют существенные ограничения: зависимость от операционной системы Windows, необходимость приобретения дорогостоящих лицензий, повышенные требования к вычислительным ресурсам и необходимость специализированной подготовки пользователей. Указанные факторы создают барьеры для малых предприятий, образовательных учреждений и индивидуальных разработчиков.

Целью работы является разработка кросс-платформенного веб-приложения для автоматизированного расчёта параметров трикотажа переплетений кулирная гладь, платированная гладь и плюшевого с интеграцией интерактивной 3D-визуализации на базе JavaScript-библиотеки Three.js. Для достижения цели решён комплекс задач, включающий исследование теоретических основ геометрического моделирования трикотажа, проектирование клиент-серверной архитектуры, реализацию серверной логики на PHP с применением математических моделей, разработку динамического пользовательского интерфейса и внедрение модуля трёхмерной визуализации.

Основой для расчёта параметров трикотажных полотен служит геометрическая модель петли, аппроксимирующая фактическую структуру трикотажа и форму его петель. В инженерной практике наибольшее распространение получила модель, разработанная А. С. Далидовичем, которая лежит в основе современных методов расчёта трикотажных структур. В геометрической модели приняты допущения о постоянстве толщины нити на всех участках петли, круглой форме сечения и усреднённом характере диаметра [2, 3, 4]. Физико-механические характеристики сырья оказывают прямое воздействие на структурные параметры формируемого трикотажа,

поэтому в серверной части приложения реализован встроенный справочник констант для шестнадцати видов сырья, включая натуральные и синтетические нити, в том числе текстурированные.

Разработанное приложение построено по классической клиент-серверной архитектуре с использованием стека технологий, широко применяемого в промышленных веб-системах. Серверная часть реализована на языке PHP [5] и включает модуль аутентификации с хэшированием паролей функцией `password_hash()` и проверкой через `password_verify()`, расчётный модуль, обрабатывающий математические формулы структурных параметров, и модуль работы с реляционной базой данных MySQL [6]. Структура базы данных включает таблицы `users` и `calculations`, связанные внешним ключом `user_id`, что обеспечивает изоляцию данных пользователей и каскадное удаление записей. Все запросы к базе данных выполняются через подготовленные выражения (Prepared Statements), что исключает возможность SQL-инъекций. Клиентская часть разработана с применением HTML5, CSS3 и JavaScript (ES6+). Интерактивная форма ввода параметров обеспечивает динамическое отображение полей в зависимости от выбранного типа переплетения: для кулирной глади скрываются поля грунтовой нити и высоты ворса, для платированной и плюшевой глади они активируются автоматически. Валидация данных осуществляется как на стороне клиента, так и на сервере, что повышает надёжность обработки запросов.

Важным технологическим решением проекта стала интеграция интерактивной 3D-визуализации с использованием библиотеки Three.js [7]. Модуль визуализации получает рассчитанные сервером геометрические параметры через JSON API и генерирует параметрические трёхмерные модели трикотажных полотен в реальном времени. Алгоритм построения включает создание параметрической кривой `CatmullRomCurve3`, проходящей через контрольные точки, определяющие форму петли «подковы», и построение трубчатой геометрии `TubeGeometry` вдоль кривой с радиусом, соответствующим рассчитанному диаметру нити (рис. 1).

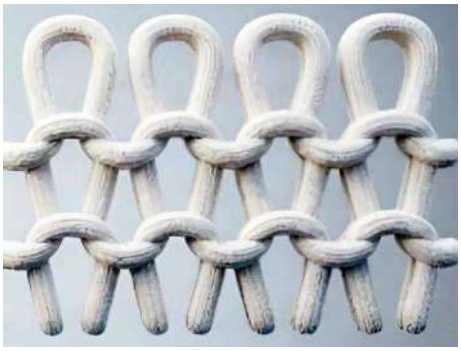


Рисунок 1 – Кулирная гладь в 3D

Петли размещаются в сетке с учётом шага A и высоты ряда B, при этом для предотвращения визуального перекрытия ряды смещаются по оси Z. Для кулирной глади применяется единый материал, для платированной глади визуализируются две нити с разными цветами (лицевая и изнаночная), для плюшевого переплетения дополнительно генерируются цилиндрические элементы, имитирующие ворс. Управление камерой реализовано через `OrbitControls`, обеспечивающий вращение, масштабирование и перемещение модели мышью. Освещение сцены формируется комбинацией направленного и фонового источников света с включённой теневой картой, что повышает наглядность структуры переплетения.

Архитектура модуля позволяет масштабировать систему: добавлять новые типы переплетений, расширять справочник материалов и адаптировать рендеринг под мобильные устройства без изменения ядра логики. Проведённое практическое тестирование подтвердило высокую эффективность разработанного решения. Сравнительный анализ методов расчёта параметров трикотажа представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов расчёта параметров трикотажа

Критерий сравнения	**Ручной расчёт**	**Табличные процессоры**	**Десктопные САПР для работы с текстилем**	**Разработанное веб-приложение**
1	**2**	**3**	**4**	**5**
Среднее время выполнения	15–20 мин	3–5 мин	1–2 мин	< 0,1 мин

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Точность вычислений	Зависит от квалификации	Высокая	Высокая	Высокая (автоматизированная)
Требования к оборудованию	Минимальные	Средние	Высокие	Минимальные (браузер)
Доступность и установка	Локально, без ПО	Локально, требуется офисный пакет	Требуется лицензия и ОС Windows	Любой браузер, установка не требуется
Сохранение и управление данными	Отсутствует	Ручное, фрагментар-ное	Ограничено возможностями САПР	Автоматическое в БД, история, избранное

Как видно из таблицы, веб-приложение обеспечивает ускорение процесса расчёта в 9000–12000 раз по сравнению с ручным методом и в 30–50 раз по сравнению с табличными процессорами.

Разработанное решение может быть внедрено в учебный процесс для наглядной демонстрации особенностей переплетений, использовано в научно-исследовательской работе при разработке новых видов трикотажа, а также применяться на производстве для ускорения процесса проектирования изделий. Научная новизна состоит в адаптации математических моделей расчёта трикотажных структур для веб-среды и создании архитектуры, позволяющей масштабировать систему и интегрировать дополнительные модули визуализации без переработки ядра логики.

Список использованных источников

1. Каюмова, Р. Ф. Некоторые аспекты цифровизации текстильного производства / Р. Ф. Каюмова, Н. Б. Девятьярова // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. – 2025. – № 1 (51). – С. 79–86.
2. Быковский, Д. И. Разработка библиотеки для 3D-моделирования многослойного гибридного трикотажа управляемой структуры / Д. И. Быковский, А. В. Чарковский // Материалы и технологии. – 2021. – № 2 (8). – С. 24–30.
3. Чарковский, А. В. Основы процессов вязания / А. В. Чарковский. – Витебск : УО «ВГТУ», 2005. – 165 с.
4. Кудрявин, Л. А. Основы технологии трикотажного производства : учебное пособие для вузов / Л. А. Кудрявин, И. И. Шалов. – Москва : Легпромбытиздат, 1991. – 496 с.
5. PHP: Hypertext Preprocessor. Официальная документация // PHP : [сайт]. – URL: https://www.php.net/manual/ru/ (дата обращения: 01.03.2026). – Текст : электронный.
6. MySQL 8.0 Reference Manual // MySQL : [сайт]. – URL: https://dev.mysql.com/doc/ (дата обращения: 01.03.2026). – Текст : электронный.
7. Three.js Documentation // Three.js : [сайт]. – URL: https://threejs.org/docs/ (дата обращения: 01.03.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.774:004.89

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ «НЕЙРОПРОДЮСЕР»

Шкредов Г. И., студ., Титов Д. А., студ., Бизюк А. Н., ст. преп., Быковский Д. И., ст. преп., Мацуганова М. Д. преп.-стажёр
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены архитектурные и функциональные подходы к разработке веб-приложения «Нейропродюсер». Создание приложения обусловлено ростом объемов информации и необходимостью предоставления авторам интеллектуальных инструментов для аналитики контента. Описан компонентный подход к построению клиентской части, а также алгоритм расчета индекса популярности на основе Engagement Rate.*

Ключевые слова: веб-приложение, Нейропродюсер, компонентный подход, фронтенд-архитектура, индекс популярности, вовлеченность.

В современном веб-пространстве пользователи потребляют огромные объемы информации из социальных сетей. Ключевая задача современных приложений – предоставить авторам удобный интерфейс для работы с публикациями и продвинутую аналитику контента, именно под эти требования разработано приложение «Нейропродюсер».

Предметная область проекта – приложение для обмена пользовательским контентом, сочетающее черты социальной сети и блога. Основные сценарии использования (Use Case): просмотр ленты, создание постов, работа с медиафайлами, получение аналитики профиля. Архитектура прецедентов спроектирована для минимизации количества кликов до целевого действия и представлена (рис. 1).

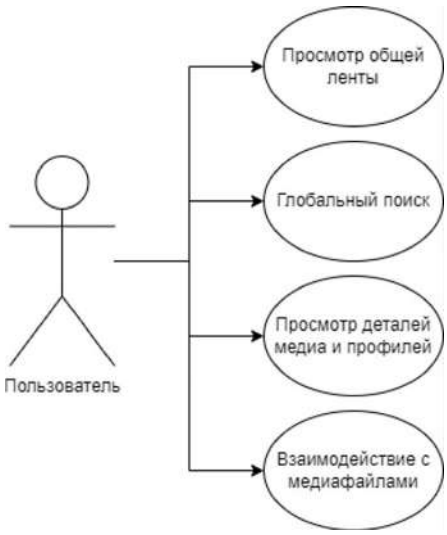


Рисунок 1 – Use Case диаграмма приложения «Нейропродюсер»

Клиентская часть (фронтенд) реализована с использованием современных веб-технологий. В основу архитектуры заложен строгий компонентный подход, при котором каждый логический блок интерфейса вынесен в отдельный файл. Данное решение значительно упрощает чтение кода, поиск возможных ошибок и дальнейшее масштабирование системы.

Для обеспечения изоляции стилей каждому компоненту назначен свой файл стилей, что исключает их конфликты при сборке. Визуальная часть интерфейса (UI) построена с применением технологий Flexbox и CSS Grid, обеспечивающих полную адаптивность элементов на любых устройствах.

Поскольку основной упор в системе «Нейропродюсера» делается на ленту постов, то в проекте реализована плавная подгрузка и рендеринг контента. Для обработки реальных данных приложение интегрировано со сторонними REST API сервисами. Это позволяет поставлять в систему реальные данные для обработки: глобальный поиск, детали медиа и метрики профилей (рис. 2).

Ключевой аналитической функцией «Нейропродюсера» выступает модуль «Анализ популярности поста». Имея доступ к сырым метрикам публикаций , система использует алгоритм вычисления коэффициента вовлеченности (Engagement Rate). Формула суммирует количество лайков и комментариев, делит эту сумму на общее количество просмотров (или подписчиков) и умножает результат на 100 для вычисления процентного соотношения.

Итогом работы алгоритма является наглядный индекс популярности – полноценный аналитический инструмент, демонстрирующий реальный вес контента и его восприятие аудиторией.

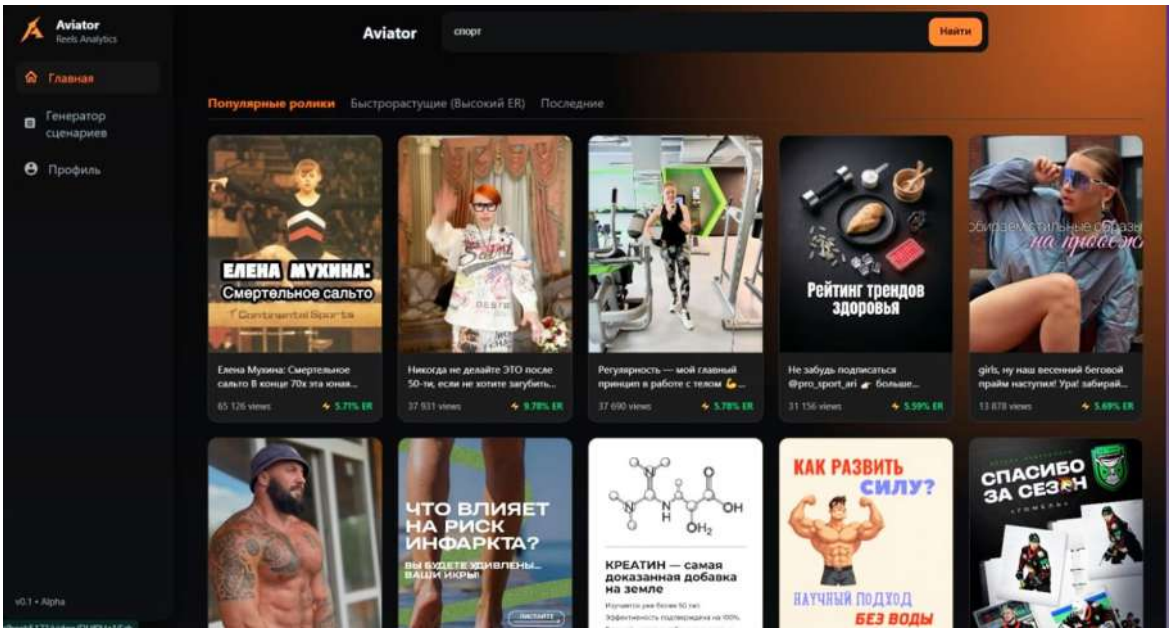


Рисунок 2 – Пример ленты постов в приложении «Нейропродюсер»

Разработанный фронтенд отличается грамотной модульной архитектурой и успешной интеграцией сложного внешнего API. Приложение корректно обрабатывает JSON-данные и масштабируется: возможна интеграция новых нейросетевых моделей и дополнительных графиков аналитики.

Список использованных источников

1. React : [сайт]. – [Menlo Park], 2013. – URL: https://react.dev/ (дата обращения: 22.02.2026). – Текст : электронный.
2. CSS Grid Layout Module Level 1 : [сайт] / W3C. – URL: https://www.w3.org/TR/css-grid-1/ (дата обращения: 22.02.2026). – Текст : электронный.
3. RapidAPI : [сайт]. – [San Francisco], 2015. – URL: https://rapidapi.com/ (дата обращения: 20.02.2026). для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.
4. Instagram Looter 2 : [сайт] / RapidAPI. – URL: https://rapidapi.com/ugoaugusto/api/instagram-looter2/ (дата обращения: 21.02.2026). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.
5. Engagement Rate: Metrics for Social Media Analysis : [сайт]. – URL: https://social-analytics.com/er-calculation (дата обращения: 19.02.2026). – Текст : электронный.

УДК 339.37:004.9

ОПТИМИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

Васехо К. В., студ., Мандрик О. Г., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В данной работе рассматриваются теоретические основы и методологические подходы к оптимизации бизнес-процессов в сфере электронной коммерции. Проведен анализ текущего состояния белорусского рынка электронной коммерции на примере деятельности компании 21vek.by. Выявлены ключевые проблемные зоны, такие как недостаточная автоматизация и высокая стоимость логистики «последней мили». Предложены направления оптимизации бизнес-процессов через внедрение ERP, WMS и CRM-систем, а такжеразвитие сети пунктов выдачи заказов.*

Ключевые слова: электронная коммерция, бизнес-процесс, оптимизация, логистика, автоматизация.

В современных условиях стремительной цифровой трансформации глобальной экономики электронная коммерция выступает одним из ключевых драйверов роста Республики Беларусь. Согласно данным Национального статистического комитета, охват домашних хозяйств широкополосным интернетом в стране превысил 80 %, что создало прочную основу для развития онлайн-торговли. Существенным катализатором рынка стала пандемия COVID-19, закрепившая омниканальную модель поведения потребителей и ускорившая пересмотр операционных моделей компаний. Вместе с тем, несмотря на рост рынка, многие отечественные предприятия сталкиваются с низкой эффективностью внутренних бизнес-процессов, что в условиях конкуренции с международными платформами отрицательно сказывается на их рыночных позициях и прибыльности. Дополнительное значение приобретают изменения в потребительском поведении, связанные с ростом доверия к цифровым каналам продаж и повышением требований к скорости обслуживания. Это означает, что предприятиям необходимо не только наращивать присутствие в сети, но и системно повышать качество внутренних процедур. В таких условиях особую актуальность приобретает совершенствование операционной модели интернет-магазинов с учетом специфики белорусского рынка. Практика показывает, что именно комплексная оптимизация позволяет снижать издержки, повышать скорость обработки заказов и усиливать конкурентные позиции компании.

Теоретический базис исследования опирается на классические труды М. Хаммера и Дж. Чампи, согласно которым бизнес-процесс в цифровой среде требует не только автоматизации, но и глубокого реинжиниринга, то есть радикального перепроектирования деятельности для достижения существенного улучшения ключевых показателей. В научной литературе бизнес-процесс понимается как устойчивая совокупность взаимосвязанных действий, преобразующих входные ресурсы в результат, имеющий ценность для потребителя. Спецификой процессов в электронной торговле является их дистанционный и преимущественно асинхронный характер, что требует надежной IT-инфраструктуры и четкой регламентации каждого этапа взаимодействия с клиентом. Процессы принято классифицировать на основные, вспомогательные и управленческие; к основным в электронной коммерции относятся привлечение трафика, оформление заказов, складская обработка, доставка последней мили и возвраты. Современные подходы к оптимизации, помимо реинжиниринга, включают философию кайдзен, методологию Lean, концепцию Six Sigma и моделирование в нотации BPMN. Использование этих подходов позволяет снижать издержки и одновременно повышать управляемость процессов.

Важным фактором оптимизации является соблюдение нормативно-правовой базы Республики Беларусь. Деятельность интернет-магазинов регулируется законом «Об электронной торговле», требующим обязательной регистрации в торговом реестре, а также нормами в области защиты персональных данных и прав потребителей. Специфической чертой белорусского рынка выступает обязательное подключение к системе ЕРИП, что

формирует устойчивую инфраструктуру безналичных расчетов и требует интеграции платежных процессов компании с общереспубликанской системой. Декрет № 8 заложил правовые основы для развития инновационных форм торговли, цифровых платформ и маркетплейсов, а также создал более благоприятные условия для внедрения современных моделей дистанционной коммерции. Таким образом, правовое регулирование не только задает рамки деятельности, но и непосредственно влияет на структуру внутренних бизнес-процессов интернет-магазинов.

Белорусский рынок электронной коммерции характеризуется высокой рыночной концентрацией. Лидером сегмента остается онлайн-гипермаркет 21vek.by, который конкурирует с крупными российскими маркетплейсами, такими как Wildberries и OZON, активно наращивающими свое присутствие в республике. 21vek.by является крупнейшим универсальным интернет-магазином Беларуси и развивает широкий ассортимент товаров, собственную логистику и сеть пунктов выдачи заказов. Ключевыми трендами развития рынка являются рост доли мобильной коммерции, развитие модели маркетплейса, омниканальность, расширение логистической инфраструктуры и персонализация торгового опыта на основе искусственного интеллекта. На примере 21vek.by видно, что эффективная операционная модель строится на сквозном управлении заказами, системах адресного хранения и собственном парке транспортных средств. При этом важную роль играет способность быстро адаптироваться к изменениям спроса и корректировать ассортимент под поведение покупателей.

Анализ деятельности отечественных компаний выявил ряд критических «узких мест». Одной из наиболее острых проблем остается недостаточный уровень автоматизации, когда значительная часть операций по обработке заказов и управлению складом выполняется вручную, что ведет к росту ошибок комплектации и задержкам. Также наблюдается неэффективность управления запасами: одновременно возникают дефицит ходовых товаров и избыток неликвидных остатков из-за слабого прогнозирования спроса. В логистике сохраняется высокая стоимость «последней мили» и критический уровень невыкупов заказов при доставке наложенным платежом, что создает дополнительную нагрузку на оборотные средства. Проблему усугубляют низкое качество товарного контента на сайтах и использование устаревших IT-платформ с низким уровнем интеграции систем, включая ERP, CRM и WMS. В результате компании несут не только прямые операционные потери, но и сталкиваются со снижением удовлетворенности клиентов.

Для системной оптимизации данных процессов необходимо внедрение интегрированных IT-решений. Ядром бизнеса должны стать ERP-системы, например, 1С или Microsoft Dynamics, объединяющие закупки, финансы и продажи в едином информационном контуре. WMS-системы позволяют автоматизировать складскую логистику через адресное хранение и пакетную комплектацию, сокращая время обработки заказов и устраняя складские «заторы». Применение CRM-систем и AI-технологий, таких как чат-боты, обеспечивает автоматизацию сценариев, включая напоминания о брошенной корзине, и снижает нагрузку на контакт-центры. В логистической сфере приоритетом должно стать развитие собственной сети пунктов выдачи заказов и постаматов, а также использование скоринговых моделей для прогнозирования вероятности отказа от покупки. Такое сочетание цифровых инструментов повышает управляемость процессов и улучшает клиентский опыт.

Эффективность предложенных мер подтверждается расчетами инвестиционных показателей, таких как ROI, NPV и IRR. Для комплексной оценки рекомендуется использовать систему сбалансированных показателей, учитывающую не только финансовые выгоды от сокращения затрат, но и рост удовлетворенности клиентов, а также развитие компетенций персонала. Внедрение современных систем автоматизации склада при значительных оборотах обычно окупается в срок от одного до трех лет. Таким образом, непрерывная оптимизация бизнес-процессов является необходимым условием для сохранения и укрепления конкурентных позиций белорусских компаний на динамичном цифровом рынке.

Список использованных источников

1. Хаммер, М. Реинжиниринг корпорации: манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Дж. Чампи. – Санкт-Петербург : Манн, Иванов и Фербер, 2006. – 288 с.
2. Козиева, Е. В. Управление бизнес-процессами в организации / Е. В. Козиева. – Минск : БГУ, 2020. – 214 с.

3. Адамчук, Н. А. Электронная коммерция: теория и практика / Н. А. Адамчук. – Минск : Вышэйшая школа, 2021. – 256 с.
4. Войтко, А. В. Электронная торговля в Республике Беларусь: современное состояние и перспективы развития / А. В. Войтко // Экономика Беларуси. – 2023. – № 4. – С. 45–52.
5. Клявин, А. А. Бизнес-процессы в электронной коммерции: особенности и подходы к оптимизации / А. А. Клявин // Экономика и управление. – 2022. – № 6. – С. 88–95.
6. Тарасевич, В. М. Логистика интернет-торговли: проблемы и пути решения / В. М. Тарасевич // Белорусский экономический журнал. – 2021. – № 3. – С. 67–74.
7. Лебедева, И. П. Цифровая трансформация торговли в условиях белорусского рынка / И. П. Лебедева // Вестник БГУ. Серия 3. – 2022. – № 2. – С. 101–109.
8. Шиманович, С. В. Автоматизация бизнес-процессов интернет-магазина / С. В. Шиманович // Молодой учёный. – 2023. – № 18. – С. 124–128.
9. Бондаренко, Н. В. ERP-системы в управлении торговым предприятием / Н. В. Бондаренко. – Минск : Тесей, 2019. – 198 с.
10. Якубович, А. С. WMS-системы как инструмент повышения эффективности складской логистики / А. С. Якубович // Логистика и управление цепями поставок. – 2021. – № 2. – С. 31–37.
11. Петров, Д. А. CRM-системы в электронной торговле / Д. А. Петров. – Москва : Юрайт, 2020. – 240 с.
12. Электронная торговля в Республике Беларусь : статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск : Белстат, 2024. – 86 с.

УДК 79.05

МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПЕРСОНАЖЕЙ В ИНТЕРАКТИВНЫХ ВИДЕОИГРАХ

Козырев Д. С., студ., Куксевич В. Ф., ст. преп., Черненко Д. В., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматриваются вопросы визуализации психоэмоционального состояния персонажей в видеоиграх. Авторская идея предлагает систему, динамически формирующую окружение на принципах цветовой психологии. В качестве базы для генерации цветовых полей в реальном времени предполагается использование ахроматического (белого) пространства. Взаимодействия между персонажами осуществляются через смешение или поглощение цветов, что позволяет передавать атмосферу игрового пространства без текста.*

Ключевые слова: видеоигры, эмоциональные состояния, геймдизайн.

Индустрия видеоигр начала свое активное развитие с начала 70-х годов прошлого столетия. Однако в то время технические возможности видеоигр были еще очень ограничены, и на первое место в них ставилась простая игровая механика, а не сюжет. Создание глубокого рассказа в игре из-за сложности программирования было достаточно дорогим и не являлось главным приоритетом.

В настоящее время подход к разработке видеоигр основательно изменился. Игры превратились в новую форму искусства. Благодаря развитию технологий основное внимание смещается на создание сложных психологических портретов персонажей и детализированных художественных миров; игры позиционируются в виде интерактивных систем, в которых визуальный язык и программные алгоритмы играют главную роль в выражении замысла автора.

С развитием интерактивных систем появилась возможность внедрять в геймдизайн сложные психологические идеи. Например, цвет в психологии часто используют, чтобы показать

внутреннее состояние человека и его восприятие мира. Эту идею можно попробовать применить в видеоиграх для создания системы, динамично отображающей через цвет характеры игровых персонажей.

В современных видеоиграх цвет иногда используется, как способ рассказать историю. Например, в игре Gris разные цвета показывают этапы внутренней борьбы героя и его путь к целостности; в Disco Elysium персонажей изображают абстрактно и выразительно с помощью особых цветовых схем, которые отражают их внутренний мир; в Journey цвет помогает передать настроение путешествия и эмоции на разных его этапах (рис. 1).

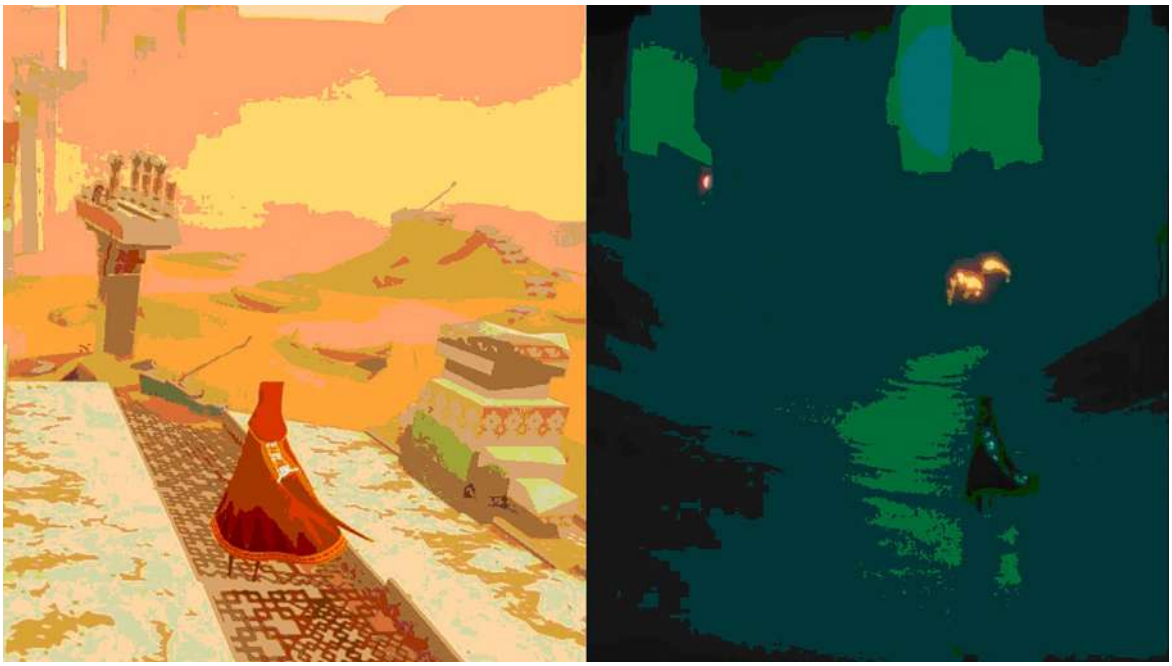


Рисунок 1 – Цвет как символ преодоления этапов в Journey

В приведенных примерах изменение цветовой палитры происходит по заранее заданному сценарию или скрипту, а иногда цвет просто не меняется совсем: визуальные элементы жестко привязаны к прогрессу игрока или интерфейсу и не обладают собственной динамикой.

Авторская идея предлагает сделать игровой мир изначально лишенным цвета (монохром). Каждый персонаж в такой системе становится активным источником цвета, который отражает его тип личности и текущее настроение. Например, гнев проявляется в ярких красных оттенках, радость – в жёлтых, а меланхолия или апатия – в глубоких синих тонах.

Новизна идеи заключается в том, что цвета персонажей не просто существуют рядом, а взаимодействуют – они могут либо конкурировать, либо гармонично сочетаться. По заложенному алгоритму одни состояния могут преобладать над другими: например, «цвет гнева» (красный) может вытеснять или поглощать менее насыщенный «цвет радости» (жёлтый). Это визуально показывает смену настроения группы или поддержку одной из сторон в игровом конфликте. Главному герою отведена особая роль: масштаб его цветного влияния меняется вместе с развитием сюжета. В обычных игровых моментах его воздействие на окружение примерно равно влиянию других персонажей, но в кульминационных сценах цвет главного героя становится ярче и сильнее. В такие моменты его эмоциональное состояние начинает доминировать, и его цвет может полностью менять цветовую палитру локации. Это подчёркивает важность внутренних переживаний героя, которые на данном этапе рассматриваются сильнее внешних обстоятельств.

Совокупность описанных взаимодействий формирует интерактивную карту мира. Цвет локации становится индикатором её «социальной атмосферы». Напрмер, в бедном квартале, где преобладают трагические сценарии, пространство будет перманентно погружено в синий

спектр. Игрок теперь понимает «атмосферу» локации без слов – если район «посинел», значит, там царит уныние. В зонах активных споров и агрессии мир приобретет буро-красный оттенок. Это позволяет игроку считывать контекст ситуации на уровне визуальной составляющей, минуя текстовые пояснения.

Данная визуальная концепция тесно связана со звуковой составляющей игры: общий цветовой тон локации напрямую влияет на параметры адаптивного саундтрека. В зависимости от доминирующих цветов музыка меняется в реальном времени, становясь более агрессивной, минорной или торжественной, что помогает создать целостное восприятие игрового видео и звука.

Чтобы избежать «цветового шума» и беспорядка, когда на экране много персонажей, система опирается на строгую иерархию и математические модели смешения цветов. Вместо традиционного смешения, которое может привести к неаккуратным и грязным цветам, лучше использовать аддитивную модель RGB. Кроме того, алгоритмы используют цветовые гармонии, мягко корректируя оттенки соседних персонажей, приводя их к близким по тону цветам. Это помогает сохранить визуальную чистоту изображения даже при большом скоплении персонажей [1].

Цвета, отображающие настроение каждого из игровых персонажей, смешиваются, вытесняются и поглощаются в зависимости от множества факторов, а, следовательно, должны обладать определенной физикой. Механизм их взаимодействия во многом повторяет модель симуляции жидкостей, где задействованы параметры вязкости, давления и диффузии. Важно отметить, что в поведении цветовых потоков должна наблюдаться художественная составляющая: цвета должны не только подчиняться математической модели, но и выглядеть эстетически приятно для игрока. Следовательно, необходимо соблюдать баланс между реализмом поведения цветов и эстетическим видом: игрок видит перед собой динамичный «управляемый хаос» цветовых потоков, который служит интуитивно понятным индикатором психоэмоционального состояния персонажей.

Для технического исполнения поставленных задач необходимо использовать графические процессоры (GPU) для расчёта диффузионных шейдеров и систем частиц в реальном времени. В отличие от обычных методов текстурирования, здесь предлагается работать с буфером кадра и тепловыми картами (heatmap). Однако у них есть минус – они сильно нагружают систему, что проблематично для разработки игр [2]. Более перспективным вариантом считается применение вычислений на Compute Shaders, что даст возможность обрабатывать сотни источников цвета без падения частоты кадров. В итоге GPU будет не просто рисовать статичные объекты, а создавать живую, постоянно меняющуюся визуальную среду, которая прямо отражает психологию игрового мира.

Список использованных источников

1. Колористика в живописи: искусство использования цвета. – URL: https://skillsupschool.ru/articles/koloristika-v-zhivopisi-iskusstvo-ispolzovanija-cveta (дата обращения 17.03.2026). – Текст : электронный.
2. Руководство по heatmap для анализа игрового уровня. – URL: https://habr.com/ru/companies/serverspace/articles/858006/ (дата обращения 17.03.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.65:339.13

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ТРЕХУРОВНЕВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА АССОРТИМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЯ

Мацуганова М. Д., магистрант, Черненко Д. В., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматривается применение трехуровневой архитектуры при проектировании информационной системы анализа ассортимента предприятия. Обоснована необходимость разделения внешнего, концептуального и внутреннего уровней для обеспечения гибкости и независимости данных.*

Ключевые слова: трехуровневая архитектура, база данных, информационная система, анализ ассортимента, независимость данных.

Современный рынок характеризуется высокой динамикой, усилением конкуренции и постоянным изменением потребительских предпочтений. В этих условиях управление ассортиментом предприятия переходит из разряда вспомогательных функций в категорию стратегических задач, напрямую влияющих на финансовую устойчивость и конкурентоспособность бизнеса. Эффективность принятия решений о выводе новых продуктов, оптимизации товарных категорий и управлении запасами напрямую зависит от качества информационной поддержки, которая должна обеспечивать не только оперативное хранение данных, но и возможность проведения многофакторного аналитического моделирования.

В основе построения таких информационных систем лежит фундаментальная проблема организации данных: как сделать структуру хранения одновременно и достаточно гибкой для адаптации к изменяющимся бизнес-требованиям, и достаточно формализованной для обеспечения производительности аналитических запросов, и достаточно безопасной для разграничения доступа между различными группами пользователей. Решение этой проблемы предлагает концепция трехуровневого проектирования базы данных. Данный методологический подход позволяет разделить пользовательское представление информации, логическую структуру данных и физическую организацию их хранения, обеспечивая тем самым независимость данных и гибкость системы [1].

Трехуровневая архитектура включает три уровня абстракции: внешний, концептуальный и внутренний. Каждый из этих уровней решает свой круг задач и взаимодействует со смежными уровнями через строго определенные интерфейсы.

Внешний уровень представляет собой совокупность пользовательских представлений данных. Его основное назначение заключается в обеспечении персонализированного доступа к информации для различных категорий пользователей в соответствии с их функциональными обязанностями. На этом уровне определяются экранные формы, отчеты, запросы и визуализации, с которыми работают конечные пользователи. Для системы анализа ассортимента на внешнем уровне формируются различные представления для менеджеров по закупкам, маркетологов-аналитиков, руководителей и финансовых контролеров.

Концептуальный уровень описывает логическую структуру всей базы данных в целом. Он определяет полный набор сущностей предметной области, их атрибуты, связи и ограничения целостности, абстрагируясь от физических аспектов реализации. Для системы анализа ассортимента на концептуальном уровне выделяются такие сущности, как товарные позиции, категории, поставщики, складские запасы, продажи, заказы на пополнение, цены и маржинальность. На этом уровне задаются бизнес-правила, например, правило расчета рентабельности товара как разности между ценой реализации и полной себестоимостью, или правило автоматического пересмотра категории товара при изменении объема продаж.

Внутренний уровень отражает физическую реализацию хранения данных. Здесь определяются структуры таблиц с конкретными типами данных, индексы для ускорения

выполнения запросов, методы партиционирования больших таблиц, параметры сжатия данных и настройки буферизации. Для систем аналитики, работающих с большими объемами исторических данных по продажам, правильный выбор стратегии индексирования и партиционирования на внутреннем уровне критически влияет на скорость выполнения сложных отчетов [2].

Применение трехуровневой архитектуры в процессе разработки информационной системы анализа ассортимента предприятия обеспечивает ряд значимых преимуществ. Во-первых, это независимость данных: изменения на внутреннем уровне, такие как миграция на другую СУБД или изменение структуры таблиц для повышения производительности, не требуют переработки прикладных модулей и пользовательских интерфейсов, поскольку логическая схема остается неизменной. Аналогичным образом, корректировки на концептуальном уровне, например, добавление новых атрибутов для описания товара, не нарушают работу существующих пользовательских представлений.

Во-вторых, трехуровневая архитектура существенно повышает безопасность системы. На внешнем уровне можно реализовать детальное разграничение прав доступа, предоставляя аналитикам данные о продажах в разрезе товарных категорий без доступа к конфиденциальной информации о закупочных ценах, а менеджерам по закупкам – доступ к информации о поставщиках и остатках без возможности изменения цен реализации.

В-третьих, такое разделение существенно упрощает процесс разработки и последующего сопровождения системы. Команда разработчиков может вести параллельную работу над различными уровнями: одни специалисты занимаются проектированием логической модели данных и бизнес-логикой, другие разрабатывают пользовательские интерфейсы, третьи оптимизируют физическую структуру хранения. Это сокращает сроки разработки и снижает риски при внесении изменений.

Практическая реализация концепции трехуровневого проектирования в системе анализа ассортимента реализуется следующим образом. На концептуальном уровне строится расширенная логическая модель, включающая все необходимые сущности и связи. Товарные позиции связываются с категориями, поставщиками, складскими остатками и историей продаж. Для поддержки аналитики в модель вводятся вычисляемые атрибуты, такие как скорость продаж, показатель оборачиваемости и маржинальность. На основе концептуальной модели формируются внешние представления. Для маркетолога создается представление, содержащее информацию о структуре продаж, динамике спроса и позиционировании товаров в категориях. Для руководителя – агрегированные дашборды по ключевым показателям эффективности ассортимента. На внутреннем уровне выбирается реляционная СУБД, оптимизированная для аналитических нагрузок, проектируются таблицы с учетом нормализации, создаются индексы по полям, часто используемым в критериях отбора и группировки, реализуется стратегия партиционирования таблицы продаж по временным периодам для ускорения выполнения запросов за длительные интервалы.

Описанный подход был применен при разработке информационной системы анализа ассортимента для торгового предприятия, работающего в сегменте непродовольственных товаров. Первоначально требования к системе были достаточно общими: обеспечить просмотр структуры ассортимента по категориям и формирование стандартных отчетов. Однако в процессе эксплуатации возникла потребность в новых аналитических функциях – прогнозировании спроса на основе временных рядов и кластеризации товаров по динамике продаж для выявления перспективных категорий. Благодаря применению трехуровневой архитектуры, внедрение этих функций потребовало доработки только на концептуальном уровне и добавления новых внешних представлений, в то время как физическая структура хранения и существующие пользовательские интерфейсы остались неизменными. Это позволило реализовать новые возможности в сжатые сроки без остановки работы системы.

Таким образом, концепция трехуровневого проектирования базы данных обеспечивает методологическую основу для создания информационных систем анализа ассортимента, отвечающих современным требованиям гибкости, масштабируемости и безопасности. Разделение внешнего, концептуального и внутреннего уровней позволяет эффективно управлять сложностью разработки, адаптироваться к изменяющимся бизнес-потребностям и поддерживать высокую производительность системы при росте объемов данных. В условиях цифровой трансформации предприятий, когда скорость принятия решений становится

критическим фактором конкурентоспособности, использование данной архитектуры является не просто желательным, а необходимым условием успешной реализации аналитических систем.

Список использованных источников

1. Куликов, С. С. Реляционные базы данных в примерах / С. С. Куликов. – Версия 1.0.27 от 07.07.2025. – URL: https://svyatoslav.biz/relational_databases_book_download/src_rdb.zip (дата обращения: 04.0.2026). – Текст : электронный.
2. Казаков, В. Е. Базы данных : методические указания по выполнению расчетно-графической работы / сост. В. Е. Казаков, Д. В. Черненко. – Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – 28 с.

УДК 004.89:006.3

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА TELEGRAM-БОТА ДЛЯ КОНТЕКСТНОГО ПОИСКА В НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ (ГОСТ)

Мацуганова М. Д., преп. ст., Медведев Р. Д., студ.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматривается применение трехуровневой архитектуры при проектировании информационной системы анализа ассортимента предприятия. Обоснована необходимость разделения внешнего, концептуального и внутреннего уровней для обеспечения гибкости и независимости данных.*

Ключевые слова: RAG, telegram-бот, нормативно-техническая документация, ГОСТ, векторный поиск, языковая модель, контекстный поиск.

В инженерной и проектной деятельности обращение к нормативно-технической документации (ГОСТ и др.) представляет собой рутинную, но критически важную операцию, от корректности выполнения которой зависит качество и безопасность проектных решений. Специфика работы с ТНПА заключается в необходимости точного воспроизведения требований: любое отклонение или неверная интерпретация может повлечь за собой существенные риски.

В последние годы активно развиваются инструменты поиска на основе технологий искусственного интеллекта. Однако, как показала практика, при работе с нормативной документацией генеративные модели склонны к так называемым «галлюцинациям» – формированию ответов, ссылающихся на несуществующие стандарты или содержащих искажение нормативных формулировок. Это существенно ограничивает применимость подобных решений в задачах, где точность должна стремиться к единице. Экспертное сообщество высказывает обоснованную критику в адрес использования ИИ-инструментов без верификации результатов [1].

В этих условиях актуальной становится разработка инструментов точного поиска, функционирующих на принципах прямого обращения к тексту документа с учётом его лингвистических и структурных особенностей. Такой подход гарантирует достоверность результата и позволяет пользователю верифицировать найденную информацию по первоисточнику.

Цель и задачи исследования

Для реализации прототипа был выбран минимально жизнеспособный подход, ориентированный на решение ключевой задачи поиска с максимальной точностью. Архитектура включает следующие модули:

Модуль загрузки и препроцессинга документов. Реализован на основе библиотеки pdfplumber, обеспечивающей извлечение текстового содержимого из PDF-файлов с сохранением структуры абзацев. Для текстовых форматов предусмотрена прямая загрузка содержимого.

Модуль морфологического анализа. В основе модуля лежит библиотека pymorphy2,

реализующая лемматизацию слов русского языка. При индексировании документа для каждого термина определяется его начальная форма, что позволяет при поиске по запросу пользователя находить все словоизменительные варианты независимо от их грамматического оформления (например, запрос «сварка» даёт совпадения с «сварку», «сварки», «сваркой» и т. д.). Такой подход существенно расширяет охват поиска без снижения его точности [2].

Модуль хранения данных. Использована СУБД SQLite в качестве встраиваемого хранилища. Выбор обусловлен минимальными требованиями к инфраструктуре, достаточной производительностью для оценочных нагрузок и простотой интеграции [3].

Интерфейсный модуль. Пользовательское взаимодействие организовано посредством Telegram Bot API с применением асинхронной библиотеки aiogram. Выбор Telegram в качестве платформы обусловлен доступностью, повсеместным распространением и отсутствием необходимости в разработке отдельного клиентского приложения.

Логика работы прототипа представлена следующим образом:

– Загрузка документа. Пользователь направляет боту файл (PDF или TXT). Производится извлечение текста и его семантическая сегментация на абзацы. Текст каждого абзаца подвергается лемматизации; для каждой леммы формируется запись в поисковом индексе с указанием идентификатора документа, номера абзаца и оригинального фрагмента.

– Обработка запроса. Пользователь вводит ключевое слово или фразу. Запрос также лемматизируется. Бот выполняет выборку из индекса всех абзацев, содержащих искомую лемму, сортирует результаты по релевантности (с учётом количества вхождений) и выводит их пользователю с указанием источника.

Сравнительный анализ с генеративными подходами

Принципиальной особенностью представленного прототипа является отказ от использования генеративных моделей на этапе формирования ответа. Это отличает его от RAG-систем, которые, несмотря на свою эффективность в решении широкого круга задач, демонстрируют низкую достоверность в предметно-ориентированных областях со строгой терминологией. Экспериментальная проверка подтвердила, что генеративные модели при запросах по нормативной документации выдают неверные сведения, включая ссылки на несуществующие документы, что делает их неприменимыми в области стандартизации и метрологии.

Напротив, предлагаемый подход, основанный на прямом обращении к исходным текстам, гарантирует точность выдаваемой информации и позволяет пользователю осуществлять верификацию через обращение к первоисточнику.

Разработан прототип Telegram-бота для информационного поиска по нормативно-технической документации. Отказ от генеративных моделей в пользу точного морфологического поиска по исходным текстам позволяет обеспечить стопроцентную достоверность выдаваемых результатов, что критично в задачах работы со стандартизированными документами. Реализованный MVP демонстрирует практическую применимость предлагаемого подхода и может служить базой для дальнейшего развития в направлении семантического поиска и создания полноценного инструмента для инженерных и проектных подразделений.

Список использованных источников

1. Проблема галлюцинаций в больших языковых моделях и подходы к её решению / В. А. Егоров. – URL: https://habr.com (дата доступа: 09.07.2026). – Текст : электронный
2. Pymorphy2 – морфологический анализатор для русского языка. – URL: https://pymorphy2.readthedocs.io (дата доступа: 09.07.2026). – Текст : электронный
3. SQLite – встраиваемая реляционная база данных. – URL:https://sqlite.org (дата доступа: 09.07.2026). – Текст : электронный

UDC 004.415

DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF THE REAL-TIME VITAL SIGNS MONITORING SYSTEM

Chen Yifan, master's degree student,
Dunina E., PhD in Physics and Mathematics, associate professor,
Bykouski D., senior lecturer
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

Abstract. *This project aims to design and implement a real-time vital signs monitoring system to simplify the real-time monitoring and data management of human vital signs information by users, and improve the efficiency, timeliness and security of modern medical health monitoring.*

Keywords: real-time vital signs monitoring, information system, microservice architecture, database design.

The global aging population and the increasing demand for mobile medical care have made real-time health monitoring an important development in modern medical care. Traditional vital signs monitoring methods have problems such as delayed data feedback, scattered data storage, low alarm efficiency, and difficulty in remote tracking, which can no longer meet the needs of real-time health management. This project aims to realize the informatization, digitization and networking of vital signs monitoring management through information technology means, and improve the overall efficiency and accuracy of health monitoring work.

The project first conducted a systematic industry research and user requirement analysis, then selected the appropriate software development technology stack, and then carried out functional module design, system architecture design, database design and front-end page design. The designed system model can meet various business needs of real-time vital signs monitoring, including real-time data collection, visual display, abnormal alarm, historical data query, data statistics and equipment management.

The system is developed based on Node.js and Express framework, and uses MongoDB database for all data storage and management. The front-end adopts Bootstrap responsive framework to build user interaction interface.

Combined with the actual scenarios of real-time vital signs monitoring, this methodology constructs a complete system conceptual model, which includes nine core business entities and their corresponding logical relationships:

User: System operation users, including super administrators, doctors, nurses, patients and family members, with different operation permissions and functional scopes.

Patient: Core monitoring objects, including basic personal information, health status, medical history and bound monitoring equipment information.

Vital Signs Data: Core monitoring data, including real-time and historical data of heart rate, blood oxygen, blood pressure, body temperature and respiratory rate.

Monitoring Sensor: Data collection equipment, responsible for real-time collection of patient vital signs data and transmission to the system.

Device Management: Monitoring equipment information, including equipment number, operating status, binding relationship and maintenance records.

Real-Time Monitoring: Real-time data display module, responsible for visual display of real-time vital signs data.

Abnormal Alarm: Abnormal data warning module, triggering alarms when vital signs exceed the normal range and pushing notifications.

Data Statistics: Data analysis module, counting and analyzing historical vital signs data and generating reports.

Notification: System message push, including abnormal alarm notifications, equipment status reminders and health management announcements.

The overall business logic of the conceptual model is clear. The monitoring sensor collects vital signs data in real time and transmits it to the system. The system stores, displays and analyzes

the data; when the data is abnormal, an alarm is triggered and a notification is pushed. Users log in to the system and view, manage and track data according to their permissions. The equipment management module maintains the normal operation of monitoring sensors, realizing the closed-loop management of real-time vital signs monitoring.

Based on the analysis of the actions, a relational database schema was created. This schema displays all database relationships, as well as the connections between foreign and primary keys.

Thus, key attributes and relationships between relationships were identified, and data integrity was ensured. The final step was the creation of the schema for the database being developed (fig. 1).

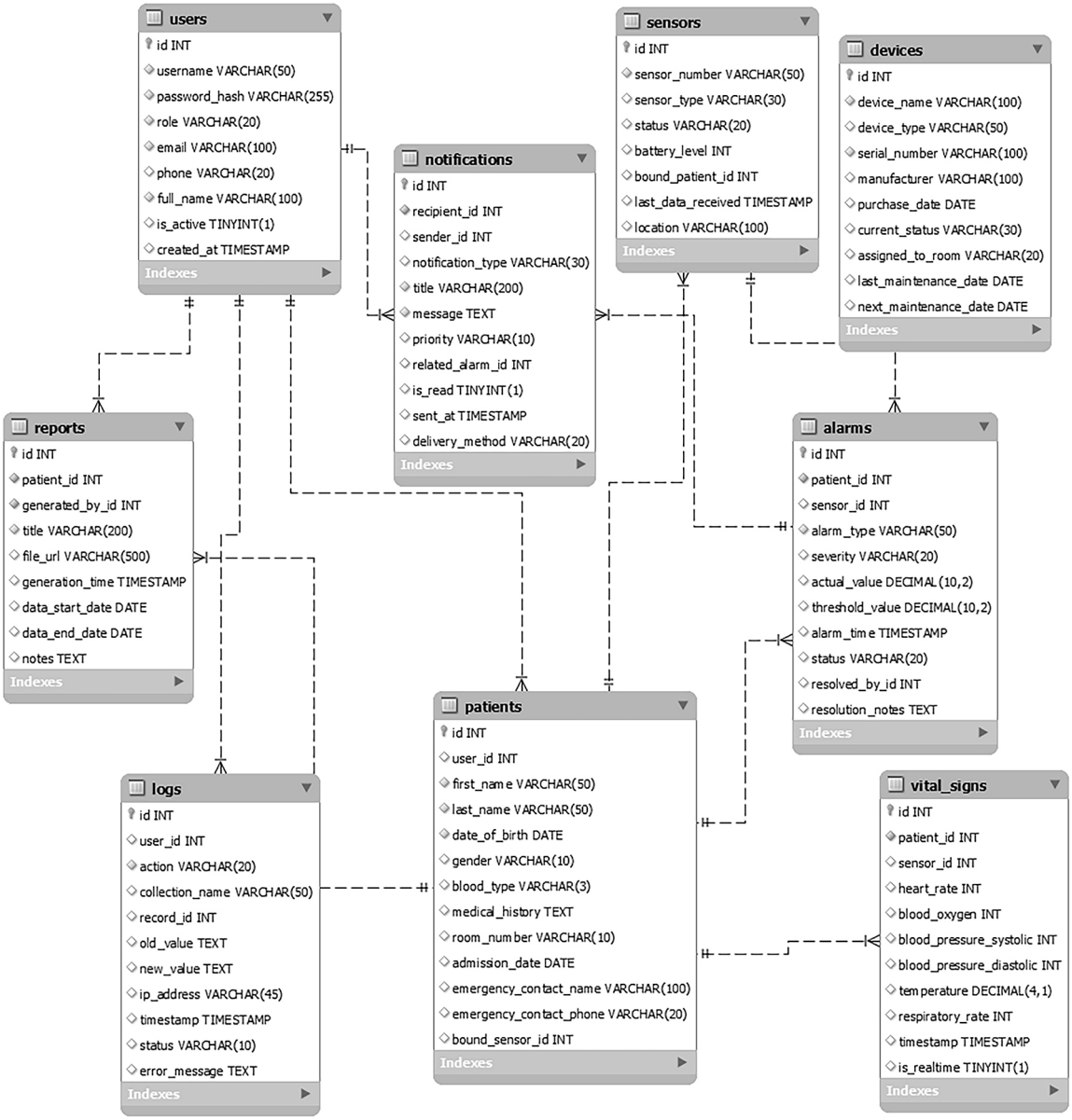


Figure 1 – Database schema

The developed database model covers the basic information, such as system users, patient information, vital signs data, monitoring equipment and alarm records is designed, which builds a stable and standardized data support system for the whole monitoring business.

A simple and easy-to-operate responsive user interface is designed to realize multi-terminal adaptive display, which reduces the operation threshold of users and improves the use experience.

In the follow-up work, we will further optimize the system functional logic, add intelligent health prediction modules and mobile terminal adaptive functions, and continuously improve the security.

References

1. Express.js Official Documentation // Express.js : [site]. – URL: https://expressjs.com/ (date of access: 01.04.2026). – Text : electronic.
2. MongoDB Official Documentation // MongoDB : [site]. – URL: https://www.mongodb.com/ (date of access: 01.04.2026). – Text : electronic.
3. Bootstrap Official Documentation // Bootstrap : [site]. – URL: https://getbootstrap.com/ (date of access: 02.04.2026). – Text : electronic.
4. Docker Official Documentation // Docker : [site]. – URL: https://www.docker.com/ (date of access: 05.04.2026). – Text : electronic.

UDC 004.415

DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF THE SYSTEM FOR DIAGNOSING AND PREDICTING INDUSTRIAL EQUIPMENT MALFUNCTIONS

Shi Chengyu, master's degree student,
Dunina E., PhD in Physics and Mathematics, associate professor,
Sokalava H., senior lecturer
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

Abstract. *This project aims to design and implement a system for diagnosing and predicting industrial equipment malfunctions to solve the problems of traditional equipment management such as delayed fault discovery, low diagnosis accuracy, lack of predictive early warning and scattered data management, and improve the efficiency, stability and intelligence level of industrial equipment operation and maintenance management. The system adopts B/S architecture, microservice design and hybrid database mode, and realizes the informatization, digitization and intelligentization of the whole life cycle management of industrial equipment.*

Keywords: industrial equipment malfunction, fault diagnosis, fault prediction, information system, microservice architecture, database design

The development of the system for diagnosing and predicting industrial equipment malfunctions is to meet the intelligent management needs of industrial equipment under the background of Industry 4.0 and intelligent manufacturing. With the wide application of industrial equipment in production and operation, the traditional manual inspection and regular maintenance mode can no longer meet the requirements of modern industrial management. Therefore, it is particularly important to develop an efficient, intelligent and secure equipment fault diagnosis and prediction system. This project aims to realize the real-time collection, intelligent diagnosis, hidden danger prediction and standardized management of industrial equipment operation data through information technology means, and improve the efficiency and safety of industrial equipment management.

The project first conducted a systematic domain analysis and requirement research, and then selected the corresponding software technology stack, and then carried out functional module design, system architecture design, database design and user interface design. The system can meet various needs of industrial equipment full-cycle management, including user and permission management, equipment information management, data collection, fault diagnosis, fault prediction, report statistics, log management and notification early warning.

The system is developed based on Node.js and Express framework, adopts MongoDB and MySQL hybrid database for data storage, and uses Bootstrap as the front-end interface framework. The main modules of the system include:

– user management module: realizes functions such as user account addition, editing, deletion, query and role division,

– equipment management module: realizes the management of equipment basic information, status query, maintenance records and scrap management,

– data collection management module: realizes the real-time collection, storage, filtering and calibration of equipment sensor data and operation parameters,

– fault diagnosis module: realizes intelligent fault type identification, location positioning and cause analysis,

– fault prediction module: realizes equipment potential fault prediction and remaining service life analysis based on machine learning algorithms,

– report management module: realizes the automatic generation, query, export and printing of equipment operation and fault statistical reports,

– log management module: realizes the recording, query, screening and audit of system operation and user operation logs,

– permission management module: realizes the fine-grained configuration and hierarchical control of user operation permissions,

– notification management module: realizes the real-time push and recording of equipment fault alarms and prediction early warning information.

Based on the analysis of the activities, a relational database schema was created (Fig. 1)

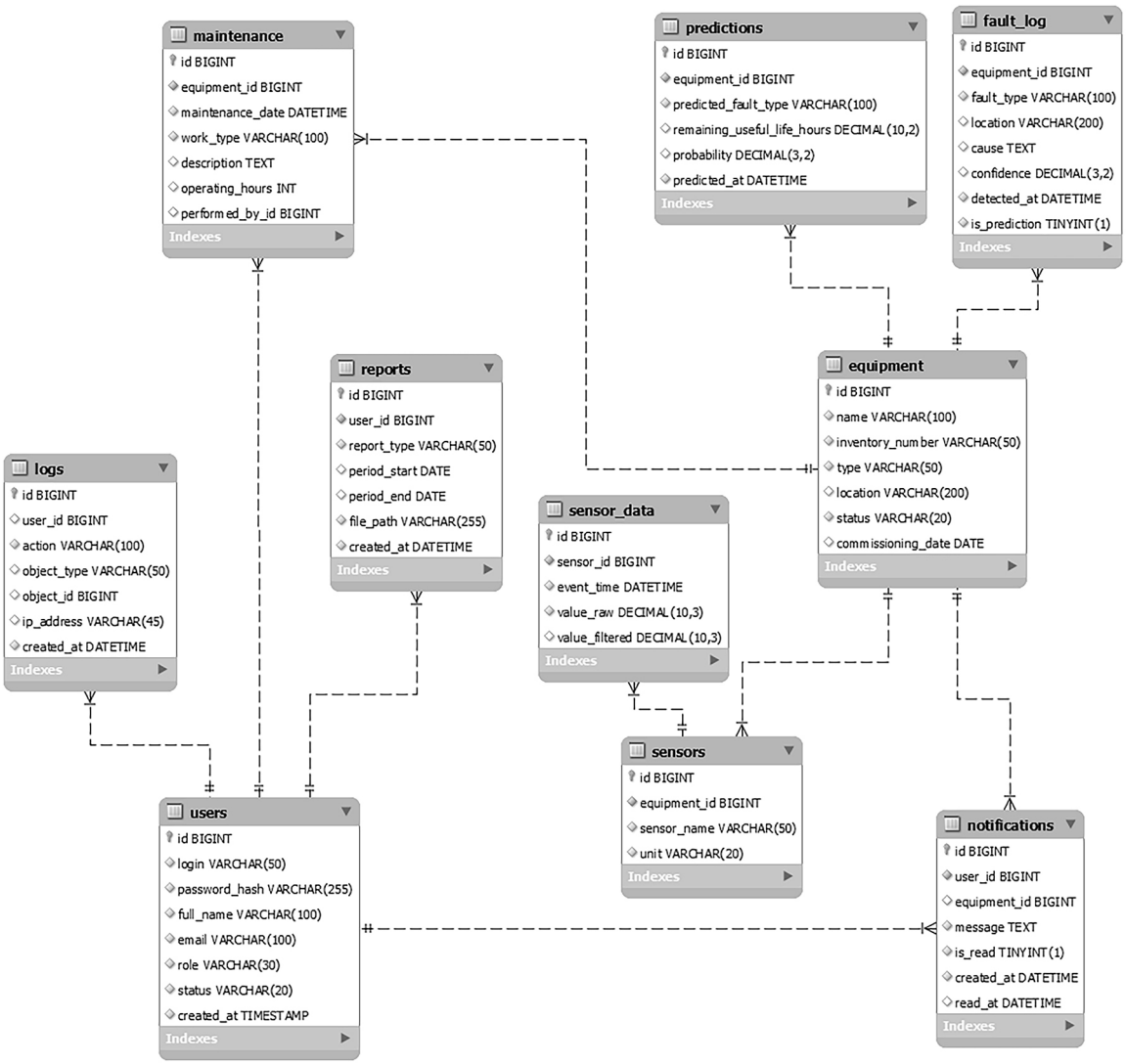


Figure 1 – Database schema

This schema displays all relationships in the database. A database schema is the structure and organization of a database, defining its tables, fields, relationships, constraints, and data types. It serves as a blueprint for organizing and accessing data, providing developers, administrators, and users with a roadmap for working with the database. A schema is essential for effective data management, which leads to improved database performance and easier maintenance.

A user-friendly and responsive user interface was developed, facilitating users to monitor equipment status, query data, view diagnostic and prediction results, and generate statistical reports.

The work will further optimize the functions of the system and improve the security and reliability of the system. The algorithmic model for predicting faults will be further optimized, access to various types of equipment will be expanded, and the system's security and reliability will be improved.

References

1. Express.js Official Documentation // Express.js : [site]. – URL: https://expressjs.com/ (date of access: 13.04.2026). – Text : electronic.
2. Node.js Official Documentation // Node.js : [site]. – URL: https://nodejs.org/en (date of access: 15.04.2026). – Text : electronic.
3. MongoDB Official Documentation // MongoDB : [site]. – URL: https://www.mongodb.org.cn/ (date of access: 15.04.2026). – Text : electronic.
4. Bootstrap Official Documentation // Bootstrap : [site]. – URL: https://getbootstrap.com/ (date of access: 20.04.2026). – Text : electronic.
5. Docker Official Documentation // Docker : [site]. – URL: https://docs.docker.com/ (date of access: 20.04.2026). – Text : electronic.
6. Nginx Official Documentation // Nginx : [site]. – URL: https://nginx.org/en/docs/ (date of access: 20.04.2026). – Text : electronic.

UDC 004.415

DEVELOPING OF THE UNIVERSITY GRADUATE RECRUITMENT INFORMATION AND PROFESSIONAL INFORMATION SHARING SYSTEM

Lan Min, master's degree student,
Dunina E., PhD in Physics and Mathematics, associate professor,
Sokalava H., senior lecturer
Vitebsk State Technical University, Vitebsk, Republic of Belarus

Abstract. *This paper introduces a full-stack information management system for university admissions, specifically designed for graduate enrollment. The article details the system's layered architecture based on domain-driven design, its multi-role functional modules, and the integrated application of artificial intelligence technologies. The system employs a front-end-back-end separation paradigm: the backend utilizes Spring Boot 3 to deliver distributed service capabilities, while the frontend provides dual portals for administrators and students. It also enables conversational intelligent consulting services powered by large language models through the HTTP SSE protocol. Practical implementation demonstrates that the system's architecture and functionality exhibit high usability and ease of use.*

Keywords: collaborative filtering algorithm, artificial intelligence, admissions information system, domain-driven design, microservices architecture

With the continuous expansion of higher education and the accelerated internationalization process, the traditional university admissions management model faces multiple challenges, including efficiency bottlenecks, information silos, and inadequate user experience. As crucial training bases for engineering and technical professionals, universities' admissions processes encompass various stages such as institutional and program information management, student applications, admission tracking,

and grade management. In this context, developing an admissions information system that integrates data management, process automation, and intelligent interaction has become particularly urgent.

The design objective of the University Graduate Admissions Information System is to establish a full-stack information management platform serving both administrators and students. Administrators use the backend management interface to maintain institutional and program data, publish admissions announcements, and handle application and admission processes; students access the student portal to browse admissions information, complete online applications, and check admission results. Additionally, the system innovatively integrates an AI assistant powered by large language models, providing students with 24/7 intelligent admissions consulting services.

From a technological evolution perspective, early university information systems predominantly employed monolithic architectures, which posed challenges for functional expansion and complex deployment. The university graduate admissions information system adopted a layered architecture with separated front-end and back-end components. The back-end was divided into independent modules-including authentication, admissions, and AI-based on domain-driven design principles, while the front-end was split into a dedicated management console and student portal, significantly enhancing the system's maintainability and scalability.

The University Graduate Admissions Information System employs a typical front-end and back-end separation architecture, with its overall design illustrated in Figure 1.

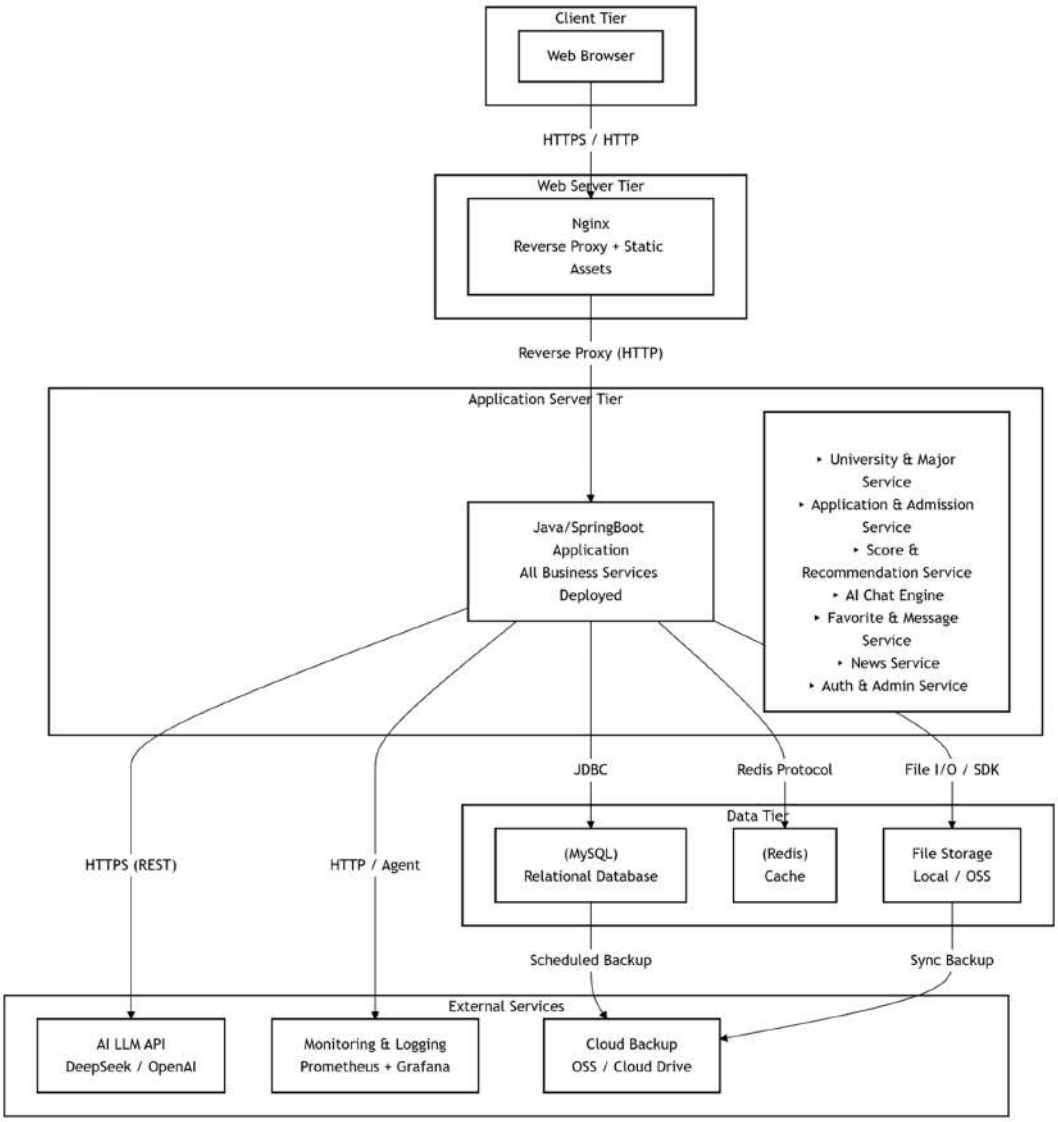


Figure 1 – System Architecture Diagram
of the University Graduate Admissions Information System

The backend service is built on Spring Boot 3 and MyBatis-Plus, organized into nine business domains according to DDD principles: auth (Authentication and Authorization), admission (Admission and Enrollment), ai (AI Large Model Integration), application (Registration Management), account (Account System), content (Content Management), file (File Upload), interaction (Interaction Features), and legacy (Legacy System Compatibility Layer). Each module has clearly defined responsibilities and supports independent development and testing.

The front-end application consists of two independent Vue 3 projects, both developed in TypeScript, utilizing Vite as the build tool and Pinia for state management. The administrator backend integrates the Element Plus component library, offering a professional data management interface, while the student portal is optimized for end-user interaction experience.

The data persistence layer utilizes the MySQL 8.x database, with core tables covering business entities such as users, schools, majors, enrollments, admissions, and grades. Data related to AI chat is stored separately and supports flexible horizontal scaling.

The enrollment workflow of the University Graduate Admissions Information System enables end-to-end management through predefined workflow nodes. Taking the student application process as an example: after submitting an application via the portal, the system automatically triggers a series of operations including information validation, status progression, and notification delivery. Administrators can monitor pending tasks, update admission statuses, and announce admission results through the backend review interface. All status changes throughout the process are coordinated and completed via backend services.

This design transforms the traditional manual, paper-based enrollment process into a paperless, traceable automated workflow, significantly reducing manual intervention and information delays.

The system achieves front-end back-end decoupling and integration with third-party services through RESTful APIs. All APIs share a unified prefix of /api/v1/*, and their documentation is automatically generated via the swagger UI, facilitating developer integration and debugging.

The AI module adopts a universal HTTP API template design paradigm, independent of any specific vendor. It currently supports the DeepSeek large model, while other vendors (such as OpenAI and Alibaba BaiLian) can integrate quickly by modifying the request templates. The streaming response is implemented using the SSE protocol, ensuring real-time and seamless dialogue.

The system's security design adheres to the principle of least privilege: API Keys are not displayed in plaintext; the student AI context contains only the user's own data; the student chat interface verifies identity through JWT Tokens from the backend, eliminating front-end injection risks; and the logging system records critical operation sequences for audit traceability and anomaly troubleshooting.

The AI intelligent assistant stands out as one of the key features of the university graduate admissions information system. Students can initiate an AI conversation by clicking the floating button in the lower-right corner of the portal, receiving intelligent responses regarding admission policies, program descriptions, and application procedures. The system backend generates HTTP requests based on predefined templates, sends them to the designated large language model API, and returns the generated answers in real-time via the SSE streaming protocol.

The AI module enables administrators to configure model parameters, interface addresses, and streaming protocol text paths via the backend, while providing a test connection feature to verify configuration validity. This design approach allows the system to flexibly accommodate the AI deployment requirements of various institutions.

The collaborative filtering algorithm is widely used in recommendation systems, analyzing user behavior and preference data to identify similar "neighbor" users for predictions. In university graduate admission information systems, the student collection feature records users' interests in schools and majors, providing a data foundation for personalized recommendations. By implementing user-based or project-based collaborative filtering algorithms, a specialized recommendation engine can be developed to help students discover potential academic directions that align with their educational background and interest profiles.

Academic research indicates that recommendation service architectures incorporating collaborative filtering achieve higher accuracy and user satisfaction in professional selection counseling. The current data model of the University Graduate Admissions Information System incorporates channels for collecting behavioral data such as preferences and interactions, laying a solid foundation for algorithmic expansion.

The system integrates with large language models via the universal HTTP SSE streaming

protocol, enabling intelligent dialogue capabilities in admissions consultation scenarios. Unlike traditional keyword searches or form-based inquiries, large language models can comprehend the semantics of complex queries and generate context-relevant natural language responses.

To ensure data security, the system sends only the user-specific information as a controlled context to the backend during AI session initialization, preventing cross-user data leakage. The API Key is stored in an anonymized format in the management console, enhancing credential security.

The University Graduate Admissions Information System features a modern technical architecture and well-defined functional modules, providing a comprehensive digital solution for university admissions management. Incorporating technical principles such as front-end-back-end separation, domain-driven design, and JWT-based security authentication, the system ensures high maintainability, scalability, and security. The integration of an AI-powered assistant further enhances the system's intelligence and improves the student service experience.

The next phase will focus on implementing collaborative filtering algorithms to develop a specialized recommendation engine, enhancing the data visualization dashboard, and optimizing the international application process for Belarus's higher education system to better serve multilingual and cross-cultural enrollment scenarios.

References

1. Vitebsk State Technical University official website. Information for Postgraduate Applicants // Vitebsk State Technical University : [site]. – URL: https://www.vstu.by (date of access: 28.04.2026). – Text : electronic.
2. Research on the application of collaborative filtering in intelligent school selection systems // XDF.cn : [site]. – URL: https://mtoutiao.xdf.cn/kaoyan/202508 (date of access: 01.05.2026). – Text : electronic.
3. Spring Boot Reference Documentation // Spring : [site]. – URL: https://docs.spring.io/spring-boot/docs/3.3.x/reference/html/ (date of access: 05.05.2026). – Text : electronic.
4. Koren, Y. Matrix Factorization Techniques for Recommender Systems / Y. Koren, R. Bell, C. Volinsky // IEEE Computer. – 2009. – Vol. 42, No. 8. – P. 30–37. – DOI: 10.1109/MC.2009.263. – URL: https://doi.org/10.1109/MC.2009.263 (date of access: 08.05.2026). – Text : electronic.

UDC 004.415

DEVELOPMENT OF A PROGRAM CONTROL AND MANAGEMENT SYSTEM FOR ONLINE COURSE TESTING

Yi Zhiwei, master's degree student,
Zhyzneuski V., PhD in Physics and Mathematics, associate professor,
Biziuk A., senior lecturer
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

Abstract. *As digital education grows rapidly, online testing is vital for programming courses. To solve traditional systems' low automation, poor anti-cheating and real-time feedback issues, we built a Vue+SpringBoot system with front-back separation and full lifecycle control, boosting assessment efficiency, fairness and blended teaching.*

Keywords: online course testing, program control, vue.js, springboot, automated grading; process management.

Against the backdrop of global digital transformation, online testing is crucial for programming courses, yet existing systems lack fine-grained programmatic control and automation, increasing teachers' workload. This paper develops a modular, stable and scalable system with mature open-source technology stacks to meet higher education programming assessment needs.

The system is designed for three types of users: administrators, teachers, and students, each with different functional permissions:

Administrators: Responsible for user management, role permission assignment, system configuration, and data backup and recovery. They ensure the normal operation and data security of the entire system.

Teachers: The main users of the system, who can manage the question bank, create and manage test papers, release tests, monitor the testing process in real time, grade subjective questions, and view performance statistics and analysis reports.

Students: Can participate in online tests and exercises, view their test results and answer details, and manage their personal wrong question banks for targeted review.

In terms of non-functional requirements, the system must ensure high security, adopting measures such as multi-factor authentication, encrypted data transmission, and SQL injection prevention. It should also have good concurrency performance, supporting at least 500 students taking tests simultaneously without system crashes or data loss. In addition, the system should be easy to maintain and expand, with a modular design that allows for the addition of new functions as needed.

The system adopts a classic front-end and back-end separation architecture, which effectively decouples the presentation layer from the business logic layer, improving development efficiency and system maintainability. The overall architecture is shown in Figure 1.

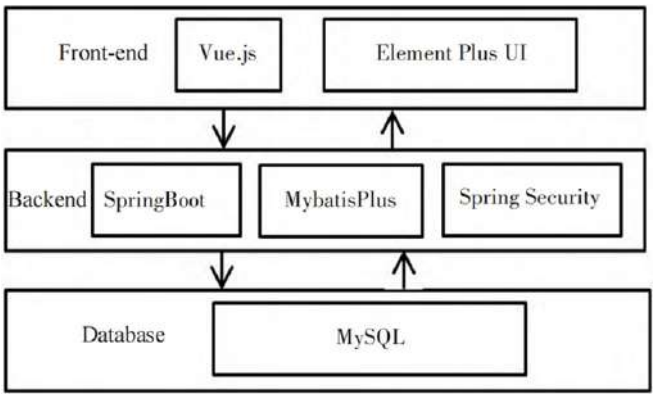


Figure 1 – System Architecture

Front-end layer: Built using the Vue.js progressive JavaScript framework and the Element Plus UI component library. Vue.js's responsive data binding and virtual DOM features provide a smooth user interaction experience, while Element Plus offers a rich set of pre-built components such as forms, tables, and charts, greatly accelerating front-end development. The front-end communicates with the back-end through RESTful APIs, sending requests and receiving data in JSON format.

Back-end layer: Developed based on the SpringBoot framework, which simplifies the configuration and deployment of Spring applications. The back-end is divided into multiple modular components according to business functions, including the user management module, question bank management module, test management module, grading module, and statistical analysis module. Spring Security is used for identity authentication and authorization control, ensuring that only authorized users can access corresponding resources. MybatisPlus, as an enhancement tool for Mybatis, simplifies database operations and improves the efficiency of data persistence.

Data layer: Uses the MySQL relational database to store all system data, including user information, question bank data, test paper information, test records, and answer details. The database design follows the principles of normalization, reducing data redundancy and ensuring data integrity and consistency.

The system database mainly consists of the following core tables (Fig. 2).

This system E-R diagram depicts core entity relationships: One administrator manages multiple teachers and students; one teacher assigns multiple exam papers; each paper is taken by many students and contains multiple questions. Eight core tables store data including user, role, question, paper, exam and answer record information.

This system leverages a mature open-source technology stack with front-back separation. The front-end uses Vue.js, a lightweight progressive JavaScript framework adopting the MVVM architecture for two-way data binding, which greatly simplifies interactive interface development for all pages including login, question bank management and test pages. Element Plus, a Vue 3-based desktop UI library with over 50 unified components, is widely used for form validation and data display to ensure a consistent user experience.

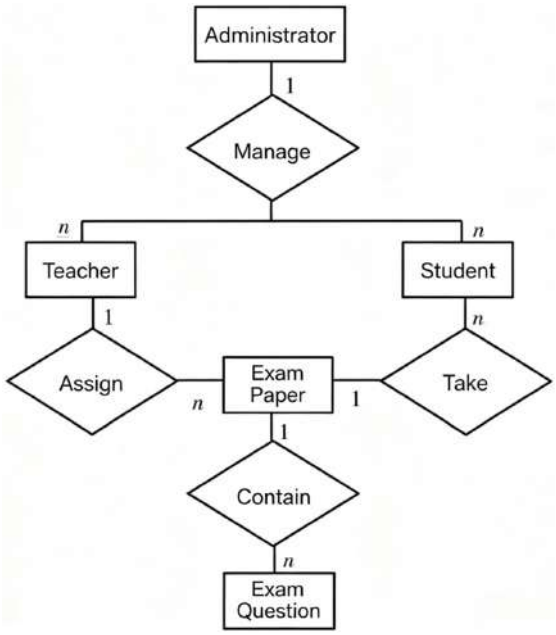


Figure 2 – System E-R Diagram

The back-end is built on Spring Boot, which eliminates cumbersome XML configuration via "convention over configuration". It integrates Spring MVC for HTTP request handling, Spring Security for security control, and MybatisPlus for database operations, with built-in Tomcat and monitoring modules simplifying deployment and maintenance.

Spring Security implements JWT-based authentication and role-based access control. It generates tokens upon successful login, which are verified by back-end filters to prevent unauthorized access. MybatisPlus enhances Mybatis by encapsulating basic CRUD operations, supporting paging and conditional queries. It allows custom SQL for complex scenarios, significantly improving database development efficiency.

The system consists of four core functional modules. The permission management module, based on Spring Security, implements a role-based access control (RBAC) model. Administrators can create roles, assign permissions, and map roles to users. Upon login, user roles and permissions are storedin the security context, and fine-grained access checks ensure system data security and isolation.

The question bank management module allows teachers to perform CRUD operations on six question types, set difficulty levels and knowledge points, and import questions in batches via Excel. It also supports multi-dimensional filtering and question version tracking for easy management.

The test program control module, the system's core, automates the entire testing process. Teachers can configure test rules including anti-cheating measures. The system controls test timing, monitors real-time student behaviors (e.g., tab switching), issues warnings for anomalies, auto-submits unfinished papers on timeout, and automatically grades objective questions.

The grading and statistical analysis module provides an online interface for subjective question grading with side-by-side standard answers. It generates comprehensive performance reports with score distributions and class comparisons, while students can view results and manage personal error question banks for targeted review.

This Vue.js and SpringBoot-based online course test control system with front-back separation manages the full testing lifecycle. It performed well in programming course trials, reducing teachers' workload and boosting test efficiency, fairness and students' initiative. Future work includes AI grading, workflow integration, and better concurrency and anti-cheating capabilities.

References

1. Huang, R. Design and Implementation of an Online Testing System for Programming Courses Based on Vue and SpringBoot / R. Huang, X. Chen // Henan Science and Technology. – 2026. – Vol. 45, No. 6. – P. 43–46.
2. Spring Boot Official Documentation // Spring : [site]. – URL: https://spring.io/projects/spring-boot (date of access: 15.04.2026). – Text : electronic.
3. Vue.js Official Guide // Vue.js : [site]. – URL: https://vuejs.org/guide/introduction.html (date of access: 18.04.2026). – Text : electronic.
4. MybatisPlus Official Website // MybatisPlus : [site]. – URL: https://baomidou.com/ (date of access: 20.04.2026). – Text : electronic.
5. Spring Security Reference // Spring : [site]. – URL: https://docs.spring.io/spring-security/reference/index.html (date of access: 22.04.2026). – Text : electronic.
6. Element Plus Reference // Element Plus : [site]. – URL: https://element-plus.org/zh-CN/guide/design (date of access: 22.04.2026). – Text : electronic.

UDC 004

ANALYSIS AND DESIGN OF AIRCRAFT MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM

Zhang Baosheng, master's degree student,
Kornienko A., Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, professor,
Sokalava H., senior lecturer
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

Abstract. *The article analyzes the design and implementation of an Aircraft Maintenance Management System. The paper introduces the core architecture and functional modules of the system, including task management, tool management, material management, and permission control. The system improves maintenance efficiency and enhances information management in aircraft maintenance operations. The study concludes that the system has good practicality, scalability, and operational stability.*

Keywords: aircraft maintenance, management system, workflow management, information system, digital maintenance

Aircraft maintenance management is an essential part of aviation safety and operational efficiency. Traditional aircraft maintenance processes often rely heavily on manual record keeping and fragmented information management, resulting in low efficiency, delayed information transmission, and increased operational risks. With the rapid development of information technology and intelligent management systems, digital aircraft maintenance platforms have become an important solution for improving maintenance quality and reducing operational costs.

An Aircraft Maintenance Management System integrates maintenance tasks, personnel management, material tracking, and tool management into a unified platform. Compared with traditional paper-based maintenance methods, digital systems provide real-time information synchronization, automated task allocation, and centralized data storage. These features significantly improve maintenance efficiency and reduce human operational errors.

From the perspective of technological development, early maintenance systems mainly focused on basic database storage and manual input operations. Modern systems increasingly adopt web-based architectures and cloud technologies, allowing multi-user collaboration and remote access. In recent years, artificial intelligence and data analytics technologies have also been gradually integrated into maintenance systems, enabling predictive maintenance and intelligent fault diagnosis.

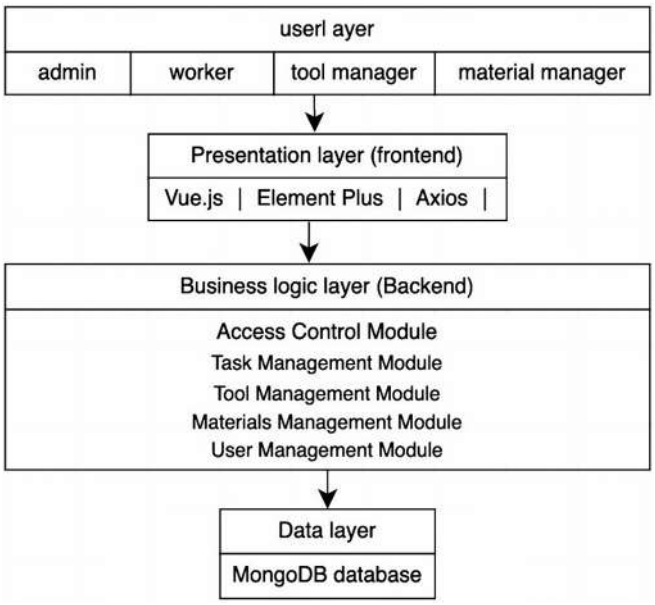


Figure 1 – Aircraft Maintenance Management System architecture

A complete Aircraft Maintenance Management System generally consists of several core functional modules (Fig. 1).

1. User Login and Authentication Module: This module is responsible for user identity verification and system security. Different users such as administrators, maintenance engineers, and operators access the system through authenticated accounts and passwords. The system supports role-based access control to ensure data security and operational authority management.

2. Task Management Module: The task management module is the core

component of the system. It allows administrators to create, assign, modify, and track maintenance tasks. Maintenance personnel can update task progress and submit maintenance records in real time. The system automatically records task execution history, improving maintenance traceability and management efficiency.

3. Tool Management Module: Aircraft maintenance requires strict management of maintenance tools. This module records tool information, status, and usage history. The system supports tool borrowing and return operations while monitoring tool availability. Maintenance managers can quickly identify damaged or unavailable tools and arrange maintenance or replacement.

4. Material Management Module: This module manages aircraft maintenance materials and spare parts. It supports material storage, outbound operations, inventory updates, and data querying. Real-time inventory monitoring helps reduce material shortages and prevents excessive stock accumulation. The module improves warehouse management efficiency and ensures the timely supply of maintenance materials.

5. Permission Management Module: To ensure operational security, the system implements a permission control mechanism based on user roles. Administrators have full system operation permissions, while ordinary users can only access authorized functions. This mechanism effectively prevents unauthorized operations and protects sensitive maintenance data.

Although the Aircraft Maintenance Management System improves management efficiency, several technical challenges remain during implementation.

Multiple users may operate the system simultaneously, leading to potential data conflicts. The system solves this problem by adopting database transaction mechanisms and real-time synchronization technologies to ensure data consistency.

Aircraft maintenance data contains sensitive operational information. Therefore, the system applies password encryption, identity authentication, and access control technologies to improve information security and prevent unauthorized access.

As maintenance business requirements continue to expand, the system must support future functional upgrades. A modular software architecture is adopted to improve scalability and simplify system maintenance.

With the continuous development of intelligent technologies, aircraft maintenance management systems are evolving toward automation and intelligence.

Machine learning algorithms can analyze historical maintenance records and predict potential equipment failures. Intelligent diagnosis systems can assist engineers in identifying abnormal operating conditions and generating maintenance recommendations automatically.

Cloud computing technologies allow maintenance personnel to access the system remotely through mobile devices. Real-time maintenance data synchronization improves operational flexibility and collaboration efficiency.

Future maintenance systems may combine digital twin technology with aircraft operational data to simulate aircraft conditions in real time. This technology can improve predictive maintenance accuracy and reduce unexpected equipment failures.

The Aircraft Maintenance Management System effectively improves the efficiency and standardization of aircraft maintenance operations. By integrating task management, tool management, material management, and permission control into a unified platform, the system enhances operational coordination and reduces management complexity. Experimental results show that the system has good stability, practicality, and scalability. With the development of artificial intelligence and cloud technologies, aircraft maintenance management systems will become increasingly intelligent and automated in the future.

References

1. Aircraft Maintenance Management Systems Overview // IBM : [site]. – URL: https://www.ibm.com/topics/asset-management (date of access: 20.04.2026). – Text : electronic.
2. Web-Based Information Management Systems // Oracle : [site]. – URL: https://www.oracle.com/database/ (date of access: 21.04.2026). – Text : electronic.
3. Role-Based Access Control in Enterprise Systems // Microsoft Learn : [site]. – URL: https://learn.microsoft.com/en-us/security/ (date of access: 22.04.2026). – Text : electronic.
4. Intelligent Predictive Maintenance Technologies // AWS : [site]. – URL: https://aws.amazon.com/what-is/predictive-maintenance/ (date of access: 03.05.2026). – Text : electronic.

УДК 004.94

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: СУЩНОСТЬ, ПРИНЦИПЫ И ВИДЫ

Власова С. А., студ., Антошков А. В., ст. преп.
Гатчинский государственный университет, г. Гатчина, Российская Федерация

Реферат. *В статье рассматривается имитационное моделирование как современный метод исследования сложных систем. Раскрывается сущность имитационного моделирования и его ключевые отличия от аналитических и физических методов. Подробно описаны фундаментальные принципы построения имитационных моделей: абстрагирование и упрощение, дискретизация времени, стохастическое моделирование, верификация и валидация, проведение экспериментов и итерации.*

Представлена классификация типов имитационного моделирования с описанием каждого подхода: дискретно-событийное моделирование (discrete event simulation, DES), агентное моделирование (agent-based modeling, ABM) и системная динамика (system dynamics, SD), а также возможности гибридных подходов.

Практические области применения метода – производство, логистика, здравоохранение, городское планирование и финансы – анализируются на конкретных примерах эффективности (сокращение времени цикла на 15–20 %, снижение затрат на перемещение на 25 %, сокращение времени ожидания на 30 % и т. д.).

Ключевые слова: имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование, системная динамика, верификация модели, валидация модели, стохастическое моделирование, оптимизация процессов, большие данные, искусственный интеллект, сложные системы, компьютерное моделирование.

С ростом сложности современных систем и процессов имитационное моделирование стало ключевым инструментом научных исследований и практического управления. Этот метод позволяет анализировать поведение сложных систем, не проводя дорогостоящие и рискованные полевые эксперименты, заменяя их виртуальными испытаниями на компьютерных моделях. Цель этой статьи – раскрыть суть имитационного моделирования, описать его основные принципы, классифицировать виды моделирования и продемонстрировать его практическое применение и преимущества.

Имитационная модель – это логическое и математическое описание объекта, которое используется для компьютерных экспериментов с целью проектирования, анализа и оценки функционирования объекта. В отличие от аналитического моделирования, при котором результат выражается в виде формул, демонстрирующих взаимосвязь между параметрами системы, имитационное моделирование предоставляет набор числовых данных. Эти данные позволяют получить устойчивую статистику о поведении системы при различных сценариях. Имитационное моделирование применяется в случаях, когда:

– эксперименты на реальном объекте дорогостоящие или невозможные;
– система содержит временные зависимости, причинно-следственные связи, нелинейности и стохастические переменные;
– необходимо воспроизвести поведение системы в динамике.

Ключевыми принципами имитационного моделирования являются:

Абстрагирование и упрощение. Модель не воспроизводит реальность до мельчайших деталей, а скорее выделяет наиболее значимые элементы и взаимосвязи. Например, при моделировании работы аэропорта не обязательно учитывать цвет стен, но важно отразить поток пассажиров и расписание рейсов.

Дискретизация времени. Процессы делятся на этапы или события. Существует два подхода:

– пошаговый (с фиксированными интервалами для изменения времени в модели);
– событийно-ориентированный (интервалы определяются возникновением событий, что более эффективно при низкой частоте событий).

Стохастическое моделирование. Случайные факторы учитываются с помощью генераторов случайных чисел. Например, время ожидания клиента в банке может варьироваться в

пределах заданного диапазона, что отражает реальную неопределенность.

Проверка и валидация. При проверке проверяется корректность модели (соответствует ли код логике системы), а при валидации результаты моделирования сравниваются с реальными данными для подтверждения точности модели.

Проведение экспериментов. Многократное выполнение модели с различными параметрами позволяет проанализировать чувствительность системы и найти оптимальные решения.

Итеративный подход. Модель дорабатывается на основе результатов экспериментов и новых данных, что повышает ее точность и полезность.

Существует три основных типа имитационного моделирования:

– моделирование дискретных событий (Discrete Event Simulation, DES). Оно предполагает абстрагирование от непрерывного характера событий и фокусирование на ключевых событиях в системе, таких как «ожидание», «обработка заказа», «перемещение груза», «разгрузка» и т. д. Этот тип моделирования особенно эффективен для производственных процессов, логистики, систем массового обслуживания и транспортных систем. Инструменты: Arena, Simul8, AnyLogic;

– агентное моделирование (АММ). Оно изучает децентрализованные системы, в которых глобальное поведение формируется из индивидуальных действий агентов. Агент – это автономная сущность, которая может принимать решения на основе заранее заданных правил, взаимодействовать с окружающей средой и развиваться. Этот метод используется для анализа социальных процессов, распространения эпидемий, пешеходного и автомобильного движения. Примеры: моделирование эвакуации из здания, где каждый человек – это агент со своими правилами поведения. Инструменты: NetLogo, Repast, AnyLogic;

– системная динамика (System Dynamics, SD). Позволяет строить графические диаграммы причинно-следственных связей и глобальных влияний параметров с течением времени, а затем моделировать их на компьютере. Подходит для анализа долгосрочных тенденций в экономике, экологии, управлении ресурсами, городском развитии и эпидемиях. Пример: модель роста населения, учитывающая уровень рождаемости, смертности и миграции. Инструменты: Vensim, Stella, AnyLogic.

На практике имитационное моделирование используется в самых разных областях. В производстве оно помогает выявлять узкие места на производственных линиях, оптимизировать использование оборудования и сокращать время простоев. Например, с помощью имитационного моделирования сборочной линии можно определить оптимальное количество рабочих мест и распределение задач, сократив время цикла на 15–20 %. В логистике этот метод используется для оптимизации маршрутов доставки, управления запасами и анализа цепочек поставок. Имитационное моделирование склада позволяет выявить неэффективное размещение товаров и предложить схему реорганизации, которая снизит транспортные расходы на 25 %.

В сфере здравоохранения имитационное моделирование оптимизирует потоки пациентов в больницах, прогнозирует нагрузку на отделения и помогает планировать ресурсы. Например, с помощью модели отделения неотложной помощи можно оценить, как повлияет увеличение количества коек или персонала на время ожидания, сократив его на 30 %. В городском планировании этот метод используется для анализа транспортных потоков, оптимизации работы светофоров и оценки последствий строительства новых дорог. Моделирование дорожной сети может помочь внести изменения в организацию дорожного движения, которые позволят снизить загруженность дорог в часы пик на 20 %. В финансовой сфере имитационное моделирование используется для стресс-тестирования инвестиционных портфелей, прогнозирования рыночных тенденций и оценки рисков. Например, моделирование поведения рынка в кризисных сценариях помогает скорректировать стратегии управления активами, чтобы минимизировать убытки.

Преимущества имитационного моделирования:

– безопасность: тестирование критических сценариев без риска для реальной системы;

– экономия ресурсов: снижение затрат на эксперименты по сравнению с реальными испытаниями;

– гибкость: возможность быстро менять параметры и условия для анализа нескольких гипотез;

– визуализация: визуализация результатов (графики, анимация) облегчает понимание

динамики системы;

– точность прогнозирования: учет стохастических факторов и сложных взаимосвязей повышает надежность прогнозов.

Однако у этого метода есть ограничения: разработка сложных моделей требует значительных вычислительных ресурсов и квалифицированных специалистов, а точность результатов зависит от качества исходных данных. Тем не менее развитие компьютерных технологий и программного обеспечения сделало имитационное моделирование более доступным. Перспективными направлениями являются интеграция с большими данными для обработки больших массивов информации и использование искусственного интеллекта для автоматической настройки моделей, что позволит создавать еще более точные и адаптивные инструменты анализа.

Таким образом, имитационное моделирование – это мощный и универсальный метод изучения сложных систем. Его принципы обеспечивают гибкость и точность, а разнообразие типов позволяет адаптировать подход к задачам любой сложности. Практическое применение этого метода дает ощутимые преимущества в оптимизации процессов, снижении затрат и повышении эффективности решений, что делает его незаменимым инструментом в науке, бизнесе и управлении.

Список использованных источников

1. Бойко, А. А. Имитационное моделирование: виды и области применения / А. А. Бойко, С. А. Евдокимова, Т. П. Новикова // Новые аспекты моделирования систем и процессов : материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 26 мая 2023 года / отв. ред. В. К. Зольников, А. И. Заревич. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2023. – С. 18–26. – DOI 10.58168/NAMSP_18-26.
2. Кобелев, Н. Б. Имитационное моделирование / Н. Б. Кобелев, В. А. Половников, В. В. Девятков. – Москва : КУРС, 2005. – 368 с.
3. Колекина, А. О. Имитационное моделирование: сущность, методы и особенности / А. О. Колекина, Ю. В. Потекаева // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. – № 2. – С. 4.
4. Лёвина, А. П. Обзор метода имитационного моделирования / А. П. Лёвина // Современная техника и технологии. – 2017. – № 5. – URL: https://technology.snauka.ru/2017/05/13530 (дата обращения: 27.02.2026). – Текст : электронный
5. Маклаков, С. В. Моделирование бизнес-процессов с помощью BPwin 4.0 / С. В. Маклаков. – Москва : Диалог-МИФИ, 2002. – 223 с.
6. Строгалев, В. П. Имитационное моделирование / В. П. Строгалев, И. О. Толкачева. – Москва : Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, 2008. – 240 с.
7. Хемди, А. Таха. Введение в исследование операций = Operations Research: An Introduction / А. Таха Хемди. – 7-е изд. – Москва : Вильямс, 2007. – С. 697–737.

УДК 378

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СФЕРУ ОБРАЗОВАНИЯ

Глазкова М. И., студ., Лысак О. Г., к.п.н., доц.
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
г. Орёл, Российская Федерация

Реферат. *В статье рассматриваются вопросы, связанные с возможностью использования искусственного интеллекта в образовании. Описываются положительные и отрицательные стороны искусственного интеллекта в образовательном процессе, а также влияния его внедрения на преподавателей и обучающихся.*

Ключевые слова: искусственный интеллект, сфера образования, нейросеть, технологии, образование.

Эра искусственного интеллекта (ИИ) активно вошла в нашу жизнь. Люди стали теряться между реальным и виртуальным миром. Многие не только заинтересовались возможностями ИИ, но и усматривают в этом огромную выгоду, активно используя в своей жизни и деятельности. Использование ИИ позволяет сэкономить большое количество времени. С помощью нейросети создается огромное количество изображений, видео. Здесь и «ожившие» старые фотографии, и «мгновенный» переход из детства во взрослую жизнь. Все это используется в развлекательных целях. Попробовать что-то подобное может каждый. Однако, многие научились это использовать не только в личных целях, но и для продажи. Достаточное количество компаний уже используют искусственный интеллект, меняя процесс производства на новые технологии. Фрилансеры нашли в этом возможность облегчить свою работу.

Сфера образования не стала исключением. Во многих заведениях среднего общего и высшего образования, можно увидеть, как педагоги используют материалы созданные нейросетью. При этом, важно использовать эти разработки так, чтобы для обучающихся это был не просто материал, а пример правильного использования ИИ. Рассмотрим какие положительные и отрицательные стороны несет в себе использование данной технологии в образовании, а также как он сможет изменить подход к обучению в целом.

Вопросом влияния ИИ на сферу образования занимаются многие исследователи. Так, например, О. А. Зайцев, К. Ю. Поглазов в своей статье «Положительное влияние нейросети на сферы жизни деятельности человека в наше время» утверждают, что нейросети являются очень полезными в современной жизни и без них мы не только бы не ощутили мир современных технологий в полной мере, то и не смогли прочувствовать тот комфорт, который ощущаем сейчас [3]. А. А. Короткая, в своих исследованиях утверждает, что искусственному интеллекту пророчат огромное будущее и именно эта технология на данный момент является быстроразвивающейся и перспективной. Она говорит: «Умные голосовые помощники, нейросети, которые рисуют картины, пишут тексты и музыку – этим сегодня уже никого не удивишь. Все больше разговоров ведётся и о применении искусственного интеллекта в образовании: есть уже и такие кейсы» [5]. Анисимов А. С., Ястребов С. А., Хмелёв Е. Г., говоря о ИИ как технологии, занимающей лидирующие позиции в мире, хотя совсем недавно являлась фантастикой, задаются вопросом, принесет ли он положительные результаты или все же старая школа не заменима [2]. Норицына О. В. в статье «Использование искусственного интеллекта в образовании» поднимает проблему его этической стороны и потенциальных преимуществ в улучшении процесса обучения, в помощи преподавателям и в эффективности индивидуализации [7]. А. Н. Исаева, Н. М. Чернышевский, исследуя вопрос влияния искусственного интеллекта на сферу образования выяснили: «К сожалению, вместе с неоспоримой пользой ИИ несет в себе множество противоречий, затрагивающих этические, технические и социальные вопросы. Так и получается, что тема ИИ в связке с образованием довольно интересна и злободневна….» [4].

Чтобы более глубоко понять этот вопрос, следует начать с определения термина «искусственный интеллект». В словаре научной грамотности, данный термин (от англ. Artificial Intelligence) – усовершенствованные компьютерные системы, способные решать сложные

задачи, распознавать образы и принимать ответственные решения, то есть делать то, что сейчас в состоянии выполнить только человеческий разум [8]. Исходя из определения, можем сделать вывод, что искусственный интеллект – это имитация знаний и способностей, которые способен принимать только человек.

В основе искусственного интеллекта лежит использование эвристики – совокупности приемов и методов, позволяющих ускорить процесс принятия решений задач. Именно поэтому, задавая вопрос или требования, необходимо подробно описать то, какой продукт вы хотите получить. Учитывая все показатели, ИИ обрабатывает информацию, как человеческий мозг, после чего предлагает вариант своей работы, которую вы можете изменить, поменяв требования к продукту.

В образовательном процессе можно рассмотреть технологии, которые применяются для персонализации. Существуют платформы адаптивного обучения. Они помогают изучать новый материал или оценивать имеющиеся знания. Такие приложения или сайты считывают ваш прогресс и подбирают вам задание исходя из ваших знаний [1]. Для педагогов существуют программы, которые могут проверять письменные задания и оценивать тестовые материалы. Это учителям позволяет сократить время на проверку заданий, а для обучающихся это возможность быстрее узнать свой результат. Тестирование может производиться с использованием платформ как в игровом формате, так и с использованием Гугл форм. Также в школах появляются автоматизированные системы тестирования, которые могут проверить даже эссе. Чат-боты могут служить отличным помощником для обучающихся, при возникновении вопросов, которые требуют быстрого нахождения ответа. Многие используют это при выполнении домашнего задания, а также для того, чтобы искать подходящий материал к занятию [6].

Существуют также приложения, которые помогают сконцентрироваться на выполнении определенных задач. В течении, например, 30 минут вы не получаете никаких уведомлений, сконцентрированы на работе или выполнении задания, в то время как у вас вырастает дерево или же растет питомец. Желание, чтобы это произошло, позволяет ребятам школьного возраста затратить большее время на подготовку и получить желаемый результат. Для педагогов порой трудно создать новый учебный план или генерировать новый материал. Искусственный интеллект может стать хорошим помощником в этом, по необходимым запросам создать учебный план или тест. Это облегчает работу, сокращая количество затраченного времени, что способствует улучшению производительности.

Использование искусственного интеллекта также может являться поддержкой инклюзивного образования. Уже есть приложения и устройства, благодаря которым дети с ограниченными возможностями, могут участвовать в образовательном процессе, не имея ограничений. Так, например, для детей с нарушением слуха, есть программы для распознавания речи и перевода её в текст. Отличным примером использования искусственного интеллекта и виртуальной реальности является демонстрация сложных концепций, например, при изучении биологии – изучить виды почв или же рассмотреть анатомию строения человека.

Однако использование искусственного интеллекта имеет свои минусы, а именно, нехватка знаний и умений у педагогов, не каждый педагог сможет перестроиться и начать менять свои принципы и привычки в обучении. Многие родители считают, что внедрение данной технологии, заменяет полностью учителя, делая его «невидимым» для учеников, так они получают знания через устройства, а не от педагога.

Таким образом, использование ИИ в образовании – это персонализация обучения, мгновенная обратная связь и автоматизация рутины, доступность в любое время, снятие психологического барьера. Однако, при этом ИИ – это отсутствие человеческого фактора и эмоций, проблема плагиата и критического мышления, «черный ящик» и предвзятость алгоритмов и др. Следовательно, необходимо найти баланс между традиционным методом обучения и обучением с использования современных технологий, а именно активного внедрения искусственного интеллекта в систему образования.

Список использованных источников

1. Акбаева, Х. Б. Использование искусственного интеллекта на занятиях иностранного языка в эпоху цифровых технологий / Х. Б. Акбаева // Мировая наука. – 2022. – № 4 (61). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-

na-zanyatiyah-inostrannogo-yazyka-v-epohu-tsifrovyh-tehnologiy (дата обращения: 28.01.2026). – Текст : электронный.
2. Анисимов, А. С. Будущее искусственного интеллекта в системе образования / А. С. Анисимов, С. А. Ястребов, Е. Г. Хмелёв // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 86-8. – С. 139–142.
3. Зайцев, А. О. Положительное влияние нейросетей на сферы жизни деятельности человека в наше время / А. О. Зайцев, К. Ю. Поглазов // Актуальные вопросы современного естественно-научного и математического образования в XXI веке : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Уфа, 2025. – Уфа, 2025. – С. 117–121.
4. Исаева, А. Н. Искусственный интеллект в сфере образования / А. Н. Исаева, Н. М. Чернышев // Цифровые технологии в науке и образовании : сборник статей по материалам XI Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 2025. – Нижний Новгород, 2025. – С. 13–16.
5. Короткая, А. А. Искусственный интеллект в образования / А. А. Короткая // Информационные и инновационные технологии в науке и образовании : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. С. С. Белоконова, Е. С. Арапина-Арапова. – 2020. – С. 56–57.
6. Майорова, Ю. А. Применение искусственного интеллекта в современной школе / Ю. А. Майорова // Образование и воспитание. – 2025. – № 1 (53). – С. 10–12. – URL: https://moluch.ru/th/4/archive/278/9670 (дата обращения: 28.01.2026). – Текст : электронный.
7. Норицына, О. В. Использование искусственного интеллекта в образовании / О. В. Норицына // Педагогические чтения, посвященные памяти проф. В. П. Манухина : материалы научно-практической конференции, Казань, 2024. – Казань, 2024. – С. 214–223.
8. Интеллект искусственный // Терминологический словарь автоматизации строительства и производственных процессов. – URL: https://slovar-avt.ru/intellekt-iskusstvennyj// (дата обращения: 28.01.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.056:378

ПОДГОТОВКА КАДРОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК УСЛОВИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Нечай А. А., к.пед.н.
Санкт-Петербургский университет МВД России,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. *В статье рассматриваются проблемы и перспективы подготовки специалистов по информационной безопасности в условиях цифровой трансформации высшего образования. На основе анализа современных исследований и собственного педагогического опыта автора обосновывается необходимость трансформации подходов к обучению в связи с эволюцией киберугроз и развитием цифровой инфраструктуры университетов. Определены ключевые компетенции, необходимые специалисту для расследования преступлений в сфере компьютерной информации и обеспечения защиты образовательной среды. Сформулированы рекомендации по совершенствованию образовательных программ с учетом требований профессиональных стандартов и вызовов цифровой экономики.*

Ключевые слова: информационная безопасность, цифровая трансформация образования, подготовка кадров, киберугрозы, образовательная среда, компетенции специалиста.

Цифровая трансформация, охватившая все сферы жизни современного общества, предъявляет новые требования к системе высшего образования. С одной стороны, она

открывает беспрецедентные возможности для персонализации обучения, развития электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС) и внедрения инновационных педагогических технологий [8]. С другой стороны, активная цифровизация порождает серьезные риски, связанные с обеспечением информационной безопасности (ИБ) всех участников образовательного процесса. В этих условиях подготовка квалифицированных кадров в области защиты информации становится не просто образовательной задачей, а фактором национальной безопасности и устойчивого развития организаций и регионов, что полностью соответствует тематике конференции ESTES-2026 [1, 4]. Цифровая инфраструктура непрерывного образования требует особого внимания к вопросам кибербезопасности, а сама подготовка специалистов должна учитывать реалии современной цифровой среды [2].

Современное состояние кадрового обеспечения в сфере информационной безопасности характеризуется парадоксальной ситуацией. Ежегодно российские вузы выпускают тысячи специалистов, однако потребности рынка труда, особенно в государственных органах и организациях критической информационной инфраструктуры, остаются неудовлетворенными [3]. Причина кроется в стремительном развитии технологий, приводящем к быстрому устареванию знаний. Фундаментальная академическая подготовка зачастую расходится с конкретными практическими запросами работодателей, которым требуются специалисты, готовые к реагированию на инциденты, работе со специфическим программным обеспечением и нормативной базой [4]. Особую сложность представляет подготовка кадров для расследования преступлений в сфере компьютерной информации, где необходимы глубокие междисциплинарные знания на стыке юриспруденции, IT и криминалистики. Анализ научных исследований показывает, что формирование профессиональных компетенций будущих специалистов в области ИБ должно строиться на принципах опережающего обучения и практико-ориентированности [5]. Важно не просто передать сумму знаний, а развить способность к непрерывному самообразованию и адаптации к новым угрозам. Эффективность такого подхода подтверждается и зарубежным опытом, где геймификация и симуляционные тренажеры (киберполигоны) становятся неотъемлемой частью учебного процесса [6].

Развитие ЭИОС университетов, в свою очередь, также требует соблюдения баланса между доступностью и безопасностью. Мантуленко В. В. подчеркивает необходимость разработки отказоустойчивых систем с заранее заложенными механизмами защиты, чтобы снизить риски нарушения целостности образовательного процесса [7]. Цифровая трансформация образования не должна идти в ущерб защите персональных данных и информационной безопасности [9]. Проектирование электронных образовательных ресурсов (ЭОР) для подготовки специалистов в области информационной безопасности должно отвечать повышенным требованиям к достоверности, интерактивности и технической реализации, чтобы моделируемые на них угрозы были максимально приближены к реальным [10].

На основе проведенного анализа можно выделить ключевые направления формирования компетенций в процессе подготовки современных специалистов по информационной безопасности. Правовая подготовка предполагает глубокое изучение законодательства Российской Федерации в области информационной безопасности, основ оперативно-розыскной деятельности и порядка расследования киберпреступлений. Наиболее эффективно эти знания усваиваются через разбор конкретных кейсов, анализ судебной практики и проведение деловых игр, имитирующих реальные следственные действия. Техническая составляющая подготовки связана с администрированием средств защиты информации, выявлением и реагированием на инциденты, а также расследованием компьютерных атак. Здесь незаменимыми инструментами обучения выступают лабораторные работы на реальном оборудовании и киберполигоны, позволяющие в контролируемых условиях отработать навыки защиты от атак. Управленческий аспект деятельности специалиста требует навыков организации защиты информации на уровне предприятия или учреждения, включая управление рисками, аудит информационной безопасности и работу с персоналом. Эти навыки лучше всего формируются в ходе проектной работы и решения комплексных управленческих задач. Цифровые компетенции современного специалиста включают работу с большими данными, основы OSINT-анализа, умение анализировать вредоносный код и принципы безопасной разработки программного обеспечения. Хакатоны и мастер-классы от индустриальных партнеров позволяют студентам освоить эти передовые направления в формате, максимально приближенном к реальной профессиональной деятельности.

Подготовка кадров для сферы информационной безопасности является сложной, динамично развивающейся задачей, от решения которой напрямую зависит безопасность цифровой экономики и образовательной среды. Необходим пересмотр образовательных программ в сторону усиления практической составляющей и междисциплинарности, особенно в части расследования компьютерных преступлений. Требуется активное внедрение в учебный процесс киберполигонов, симуляторов и тренажеров, позволяющих отрабатывать навыки реагирования на инциденты в условиях, приближенных к реальным. Развитие ЭИОС вузов должно осуществляться параллельно с подготовкой кадров, способных эту среду защищать, обеспечивая тем самым синергетический эффект. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку частных методик преподавания отдельных дисциплин специализации и изучение возможностей применения технологий искусственного интеллекта в процессе подготовки специалистов по информационной безопасности.

Список использованных источников

1. Нечай, А. А. Цифровая инфраструктура и её информационная безопасность в системе непрерывного образования / А. А. Нечай // Непрерывное образование: проблемы, решения, перспективы : материалы IV Всероссийской научной конференции (с международным участием), Санкт-Петербург, 20 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург : Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина, 2025. – С. 145–149. – EDN GLURDH.
2. Нечай, А. А. Цифровая трансформация образования с приоритетом на информационную безопасность / А. А. Нечай // Образование как фактор развития интеллектуально-нравственного потенциала личности и современного общества : материалы XIV Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 08 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург : Ленинградский государственный университет им. А. С. Пушкина, 2025. – С. 29–33.
3. Нечай, А. А. Особенности подготовки специалистов для расследования преступлений в сфере компьютерной информации / А. А. Нечай, А. В. Ничагина // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. – 2025. – № 4 (108). – С. 251–261.
4. Нечай, А. А. Информационная безопасность в условиях цифровой трансформации образовательной среды / А. А. Нечай, А. В. Ничагина // Школа будущего. – 2024. – № 5. – С. 160–173. – DOI 10.55090/19964552_2024_5_160_173.
5. Нечай А. А. Формирование профессиональных компетенций будущего учителя информатики в области информационной безопасности в условиях цифровизации образования : диссертация на соискание ученой степени кандидата педагогических наук : специальность 5.8.7 – Методология и технология профессионального образования / Нечай Александр Анатольевич ; Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина ; науч. рук. В. С. Фёдорова. – Санкт-Петербург, 2023. – 193 с.
6. Mantulenko, V. V. Information Security in the Context of Education / V. V. Mantulenko, S. P. Bortnikov // Proceedings of the XI International Scientific Conference "Digital Transformation of the Economy: Challenges, Trends and New Opportunities" (ISCDTE 2024), Samara, 24–25 мая 2024 года. – Cham : Springer, 2024. – Vol. 1064-1. – P. 146–152.
7. Митрошин, П. А. Разработка отказоустойчивой электронной информационно-образовательной среды учебного заведения с учётом требований информационной безопасности / П. А. Митрошин // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 3 (93). – С. 73–87.
8. Стариченко, Б. Е. Цифровизация образования: иллюзии и ожидания / Б. Е. Стариченко // Педагогическое образование в России. – 2020. – № 3. – С. 49–58.
9. Frolova, E. V. Digitalization of Education in Modern Scientific Discourse: New Trends and Risks Analysis / E. V. Frolova, O. V. Rogach, T. M. Ryabova // European Journal of Contemporary Education. – 2020. – Vol. 9, No. 2. – P. 313–336.
10. Popov, G. A. The conceptual scheme of information security in the object protection model / G. A. Popov, A. G. Popov, N. D. Shishkin, M. F. Rudenko // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics. – 2017. – No. 4. – P. 45–53.

УДК 616-77

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ МОТОРНЫХ НАМЕРЕНИЙ В БИОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗАХ НА ОСНОВЕ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ЭМГ И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Долгов Я. В., студ., Судаков Д. Е., ст. преп.
Тамбовский государственный технический университет,
г Тамбов, Российская Федерация

Реферат. *Данная работа посвящена анализу текущих ограничений бионических протезов верхних конечностей и поиску путей их преодоления. Современные миоэлектрические протезы, управляемые сигналами мышц, стали отраслевым стандартом, однако их функционал зачастую сводится к примитивным операциям (хват/разжим), что не позволяет в полной мере компенсировать утрату руки. Ключевая мысль исследования заключается в том, что прорыв в данной сфере станет возможным благодаря внедрению технологий искусственного интеллекта, а именно – глубоких нейронных сетей. В материале описывается механизм работы многоканальных ЭМГ-датчиков в тандеме с нейросетевыми алгоритмами, способными расшифровывать сложные паттерны биоэлектрической активности мышц. Это позволяет преобразовывать тонкие моторные намерения человека (например, определенные жесты или движения пальцев) в команды для протеза. Применение машинного обучения трансформирует протез из грубого механического инструмента в органичное продолжение тела, что напрямую влияет на автономность пациента и его уровень жизни. В заключении обозначены главные векторы развития отрасли: создание энергоэффективных алгоритмов для работы на компактных процессорах и улучшение методов сбора биометрических данных. Применение машинного обучения трансформирует протез из грубого механического инструмента в органичное продолжение тела, что напрямую влияет на автономность пациента и его уровень жизни.*

Ключевые слова: бионическое протезирование, электромиография (ЭМГ), нейронные сети, распознавание паттернов, качество жизни, человеко-машинное взаимодействие.

Ампутация или врожденное недоразвитие кисти приводит к значительному ограничению мобильности и бытовой автономности человека, что негативно сказывается на его психоэмоциональном состоянии и социальной активности. В современной реабилитационной практике ведущую роль в восстановлении утраченных функций играют бионические протезы, управляемые посредством электромиографии (ЭМГ) – считывания биоэлектрических потенциалов с мышц культи [1]. Однако, являясь технически сложными изделиями, текущие модели протезов не лишены серьезных недостатков.

Помимо проблем с износостойкостью механических компонентов и необходимостью частой подзарядки, главным минусом остается крайне скудный репертуар движений – как правило, пациенту доступны лишь базовые функции сжатия и разжатия. Это превращает протез в приспособление для выполнения ограниченного перечня действий, а не в полноценную замену руки.

Если вопросы автономности и механической надежности решаются путем совершенствования элементной базы (аккумуляторов, микродвигателей и полимерных материалов), то проблема точного и интуитивного позиционирования остается острой. Традиционные алгоритмы управления, основанные на линейной зависимости между амплитудой ЭМГ-сигнала и усилием сжатия, неспособны интерпретировать сложные моторные команды, требующие скоординированной работы пальцев и запястья [2]. Возникает необходимость в интеллектуальных системах, способных распознавать многообразие двигательных намерений человека (рис. 1).

Эффективным решением этого противоречия является интеграция алгоритмов искусственного интеллекта и глубинного машинного обучения непосредственно в управляющую электронику протеза. Развитие микроэлектроники сделало возможным создание миниатюрных многоканальных ЭМГ-сенсоров с высоким разрешением. Такие датчики способны улавливать

широкий спектр биоэлектрических сигналов от различных мышечных групп культи.

Традиционные системы используют амплитуду сигнала как аналоговую меру усилия. Однако информация, закодированная в ЭМГ, гораздо богаче. Нейросетевые модели, предварительно обученные на обширных массивах данных ЭМГ, научаются выявлять уникальные пространственно-временные паттерны мышечной активности. Эти закономерности соотносятся не только с простейшими действиями, но и с более тонкими двигательными намерениями – например, желанием выставить указательный палец, совершить щипковый захват или повернуть кисть [2]. В процессе калибровки под конкретного пользователя алгоритм создает персонализированную и самообучающуюся модель управления, которая со временем адаптируется к особенностям пациента.



Рисунок 1 – Активность мышцы при сокращении и расслаблении.
Слева – сокращена, справа – расслаблена

Для эффективного распознавания жестов и намерений применяются различные архитектуры глубоких нейронных сетей, каждая из которых имеет свои особенности при работе с ЭМГ-сигналами. Процесс обработки обычно состоит из нескольких этапов: предобработка (фильтрация, удаление артефактов), сегментация сигнала на временные окна, выделение признаков и классификация.

Применение алгоритмов глубинного обучения в контуре управления бионическими протезами означает смену основной парадигмы: происходит переход от жестко заданного силового контроля к адаптивному распознаванию двигательных намерений пользователя. Данный подход позволяет преодолеть главное ограничение современных миоэлектрических систем – узкий диапазон доступных функций. Развитие этой концепции направлено на создание протезов, интегрирующихся в схему тела человека в качестве естественного продолжения, а не внешнего инструмента. Это не только расширяет моторные возможности пациента, но и напрямую влияет на уровень его социализации и бытовой самостоятельности.

Дальнейшее развитие отрасли связано с решением прикладных задач: адаптация нейросетевых моделей для работы на маломощных и компактных процессорах, а также совершенствование методик сбора и увеличения обучающих ЭМГ-выборок, в том числе с применением перспективных биомеханических систем регистрации движений [3].

Список использованных источников

1. Micera, S. Control of hand prostheses using peripheral information / S. Micera, J. Carpaneto,

S. Raspopovic // IEEE Reviews in Biomedical Engineering. – 2010. – Vol. 3. – P. 48–68.
2. Яцун, С. Ф. Разработка системы управления кистевого протеза с тактильной обратной связью / С. Ф. Яцун, А. В. Мальчиков, А. Н. Рукавицын // Медицинская техника. – 2024. – № 1. – С. 7–9.
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. – DOI 10.25791/pribor.5.2021.1262. – EDN HHLYAD.
4. Акопян, Ф. Г. Нейросеть в биопротезировании / Ф. Г. Акопян, В. В. Дубровин // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы IX Всероссийской научно-технической конференции с международным участием для студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 19 октября 2022 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2022. – С. 154–156. – EDN IKXOFX.

УДК 615.478

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОГО КАБИНЕТА

Евстигнеева Е. П., студ., Кузнецова А. В., студ., Судаков Д. Е., к.т.н.
Тамбовский государственный технический университет,
г. Тамбов, Российская Федерация

Реферат. В статье рассматривается проблема оснащения современного офтальмологического кабинета высокоточным диагностическим оборудованием. Актуальность темы обусловлена сложностью выбора приборов на современном рынке, характеризующемся широким разнообразием моделей, различиями в технических характеристиках и ценовых сегментах, а также отсутствием унифицированных критериев оценки. Целью работы является анализ существующих подходов к комплектации кабинета для оптимизации процесса выбора и повышения качества диагностики. В статье выделены и подробно охарактеризованы два основных подхода: индивидуальный подбор оборудования на основе детального анализа технических параметров и выбор готовых комплексных решений, классифицированных по ценовым сегментам. Особое внимание уделено критериям оценки приборов, включая технические характеристики, эргономику, надежность, а также рейтинги, основанные на профессиональных отзывах.

Ключевые слова: офтальмологический кабинет, диагностическое оборудование, оснащение клиники, комплексные решения, ценовые сегменты, надежность оборудования.

Базой для результативной офтальмологической практики служит грамотно сформированное рабочее пространство [1-4]. Сегодня диагностическая техника – это не просто вспомогательный инструмент, а фундамент, на котором строится точность исследований и репутация специалиста. Но превращение обычного кабинета в высокотехнологичный медицинский пункт – процесс, требующий системного подхода. Это не механическое приобретение устройств, а поиск баланса между профессиональными запросами врача, профилем клиники и экономической целесообразностью.

Перед специалистом, приступающим к закупкам оборудования, возникает целый ряд вопросов. Рынок перенасыщен предложениями: десятки производителей, сотни моделей с разными оптическими схемами и типами освещения. К этому добавляется сложность поиска объективных данных – сравнительных обзоров от независимых экспертов катастрофически мало. Выбор изделия медицинской техники – сложная задача, при решении которой надо обращаться к потребностям здравоохранения. Недостаточно обдуманный выбор ведет к

неверному использованию или к простою, а как следствие – к пустой трате финансовых средств.

Между тем, каждое принятое решение напрямую проецируется на качество приема. Эргономичность прибора экономит минуты врача, которые он может провести с пациентом, а четкость визуализации позволяет выявить патологию на ранней стадии. Ошибиться здесь — значит рисковать не только бюджетом, но и репутацией, ведь от надежности техники зависит здоровье людей.

Чтобы свести к минимуму возможные ошибки и превратить поиск оборудования из утомительной обязанности в прозрачный процесс, мы разработали два принципиально разных пути комплектации кабинета. Первый вариант – проектирование «под ключ», где каждый прибор подбирается под индивидуальные задачи врача. Второй – готовые комплексные решения, позволяющие одномоментно получить полностью укомплектованный кабинет, не вникая в тонкости совместимости устройств.

Стратегия индивидуального проектирования дает возможность глубоко погрузиться в технические нюансы: сравнить типы осветителей, изучить эргономику корпусов и сопоставить оптические схемы разных производителей. Врач здесь выступает в роли архитектора собственного рабочего пространства, собирая комплект, идеально подогнанный под его повседневные сценарии работы – будь то углубленная диагностика глаукомы или исследования сосудистой патологии.

В повседневной рутине офтальмолога есть прибор, к которому руки тянутся чаще всего – это щелевая лампа или офтальмоскоп для тех, кто предпочитает мобильность. Именно они становятся «глазами» врача, позволяя заглянуть в глубину структур, разглядеть малейшие изменения сетчатки, оценить состояние зрительного нерва и сосудов. Но при выборе конкретной модели приходится лавировать между типами освещения, эргономикой корпуса, источником питания и возможностями оптики. Идеальное решение для одного специалиста может оказаться неудобным для другого.

Для повышения эффективности процесса выбора медицинского оборудования предлагается разработать специализированную веб-платформу (рис. 1), которая облегчит процесс поиска, сортировки и сравнительного анализа технических характеристик и параметров оборудования. Реализация подобной платформы создаст условия для оперативного выбора наиболее подходящего оборудования, минимизирует риски ошибочного выбора и повысит общую обоснованность принимаемых решений.

Предлагаемая платформа должна обладать следующими функциональными возможностями:

– Гибкая система фильтрации, позволяющая искать оборудование по ключевым характеристикам (производительность, надежность, совместимость с другим оборудованием, сертификация и др.).

– Полное покрытие базы производителей и моделей, регулярно обновляемая база данных и наглядное сравнение оборудования по множеству параметров.

– Экспертные рекомендации и обзоры оборудования, подготовленные квалифицированными специалистами.

Помимо технических характеристик, для принятия взвешенного решения важно учитывать опыт коллег. Выделяется три категории, основанные на оценках специалистов.

Лучший по отзывам: модели, получившие высокую оценку пользователей за удобство работы, качество изображения и долговечность.

Самый надежный: офтальмоскопы с минимальным количеством поломок и длительным сроком службы.

Самый популярный: приборы, которые чаще всего выбирают офтальмологи благодаря оптимальному соотношению цены и качества.

Альтернативный путь – сделать ставку на комплексные решения. Если детальный разбор характеристик каждой единицы кажется вам слишком трудоемким, готовые комплекты оснащения станут точкой опоры. Они сформированы на основе обратной связи от врачей и включают только проверенные приборы, необходимые для полного диагностического цикла. Это особенно актуально для тех, кто только открывает кабинет или выходит в самостоятельное плавание: готовый набор страхует от ошибок в подборе и гарантирует, что все элементы системы будут работать в связке без сюрпризов.

Существует несколько вариантов оснащения, отличающихся по ценовому сегменту и функциональным возможностям:

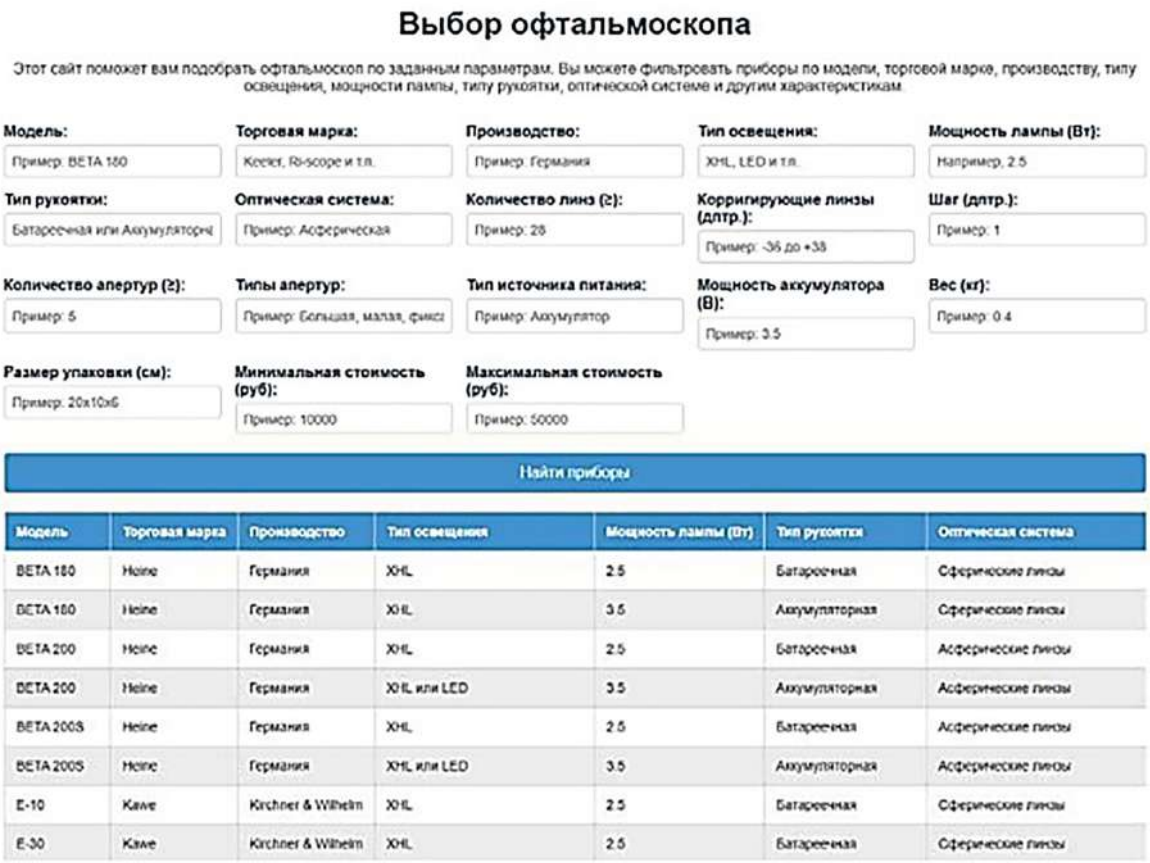


Рисунок 1 – Фрагмент веб-платформы для выбора офтальмоскопа

Бюджетный выбор: надежный «рабочий инструмент» для ежедневных задач. Стандарт качества, необходимый для уверенного старта в профессии или оснащения кабинетов первичного приема. Средний ценовой диапазон: золотая середина для требовательных специалистов. Здесь функциональность встречается с комфортом: автоматизация процессов сокращает время диагностики, сохраняя ювелирную точность. Премиальный сегмент: технологии премиум-класса. Максимальная цифровая интеграция и эргономика для ведущих клиник, где важна не только достоверность результатов, но и безупречный сервис на каждом этапе обследования.

Предлагаемая платформа выбора оптимальной модели вида изделия медицинской техники может быть использована в учреждениях здравоохранения для оперативного планирования технического оснащения лечебного учреждения, а также для нужд производителей и торговых посредников.

Список использованных источников

1. Коновалова, К. Н. Перспективы использования достижений робототехники в офтальмологии / К. Н. Коновалова, Т. А. Фролова // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тезисы 3-й международной конференции с элементами научной школы, Тамбов, 2016. – Тамбов, 2016. – С. 399–400.
2. Карпенко, Ф. Е. Компьютерные технологии в офтальмологии / Ф. Е. Карпенко, Т. А. Фролова // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 2018 г. / ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов : Издательство Першина Р. В., 2018. – С. 387–388.
3. Фролов, С. В. Моделирование пульсирующих потоков крови для офтальмологических задач оптической когерентной томографии / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, Т. А. Фролова,

С. Г. Проскурин // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2020. – С. 47–55. – DOI: 10.25586/RNU.V9187.20.05.P.047.
4. Евстигнеева, Е. П. Выбор офтальмологической щелевой лампы / Е. П. Евстигнеева, М. А. Любавина ; науч. рук. Т. А. Фролова // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 24–25 апр. 2025 г. : в 2 ч. / Гомельский государственный технологический университет им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Ч. 1. – С. 197–200.

УДК 004.032.26

АВТОНОМНОСТЬ ВМЕСТО ОБЛАКА: ОФЛАЙН-РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧИ В УМНЫХ ОЧКАХ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С НАРУШЕНИЯМИ СЛУХА

Кузнецова А. В., студ., Петров И. Э., студ., Евстигнеева Е. П., студ., Фролов С. В., д.т.н., проф.
Тамбовский государственный технический университет,
г. Тамбов, Российская Федерация

Реферат. *В статье рассматривается переход специализированных умных очков для людей с нарушениями слуха от облачных сервисов распознавания речи (Yandex SpeechKit) к локальным офлайн-решениям на базе открытых библиотек. Анализируются факторы, обуславливающие необходимость такого перехода: зависимость от интернет-соединения, экономические издержки, конфиденциальность данных и ограниченная кастомизация. Особое внимание уделяется аппаратным ограничениям носимых устройств и выбору опенсорсных моделей для периферийных вычислений.*

Ключевые слова: умные очки, транскрибирование речи, ассистивные технологии, офлайн-распознавание, Yandex SpeechKit, опенсорс, периферийные вычисления.

Умные очки с функцией транскрибации речи, преобразующие устную речь собеседника в текст на линзах, являются перспективным ассистивным инструментом для людей с нарушениями слуха. На начальном этапе разработки закономерно используются коммерческие облачные API (Yandex SpeechKit, Google Cloud Speech-to-Text), обеспечивающие высокую точность и простоту интеграции [1–7]. Однако при переходе к серийному продукту для повседневного использования возникает ряд противоречий между возможностями облачных технологий и требованиями к носимому ассистивному устройству.

В данной работе будет проанализирована специфика перехода умных очков с функцией транскрибации от Yandex SpeechKit (YS) к офлайн-распознаванию на базе открытых библиотек, выявлены ключевые технические и пользовательские особенности такого перехода.

Yandex SpeechKit – облачный сервис, предоставляющий потоковое распознавание в реальном времени, нормализацию результатов и адаптацию для людей с ограниченными возможностями здоровья. Принцип связи YS с кодом на языке Python, взаимодействующий с программой в среде Arduino IDE представлен на рисунке 1.

Однако использование облачного API в контексте умных очков обнаруживает существенные ограничения.

1. Зависимость от сетевой инфраструктуры. Устройство теряет функциональность при отсутствии стабильного интернет-соединения, что для пользователя с нарушением слуха означает полную коммуникативную изоляцию.

2. Экономическая модель масштабирования. При ежедневном многочасовом использовании операционные расходы становятся значительной статьей затрат. Масштабирование API-затрат является серьезной проблемой для массового продукта.

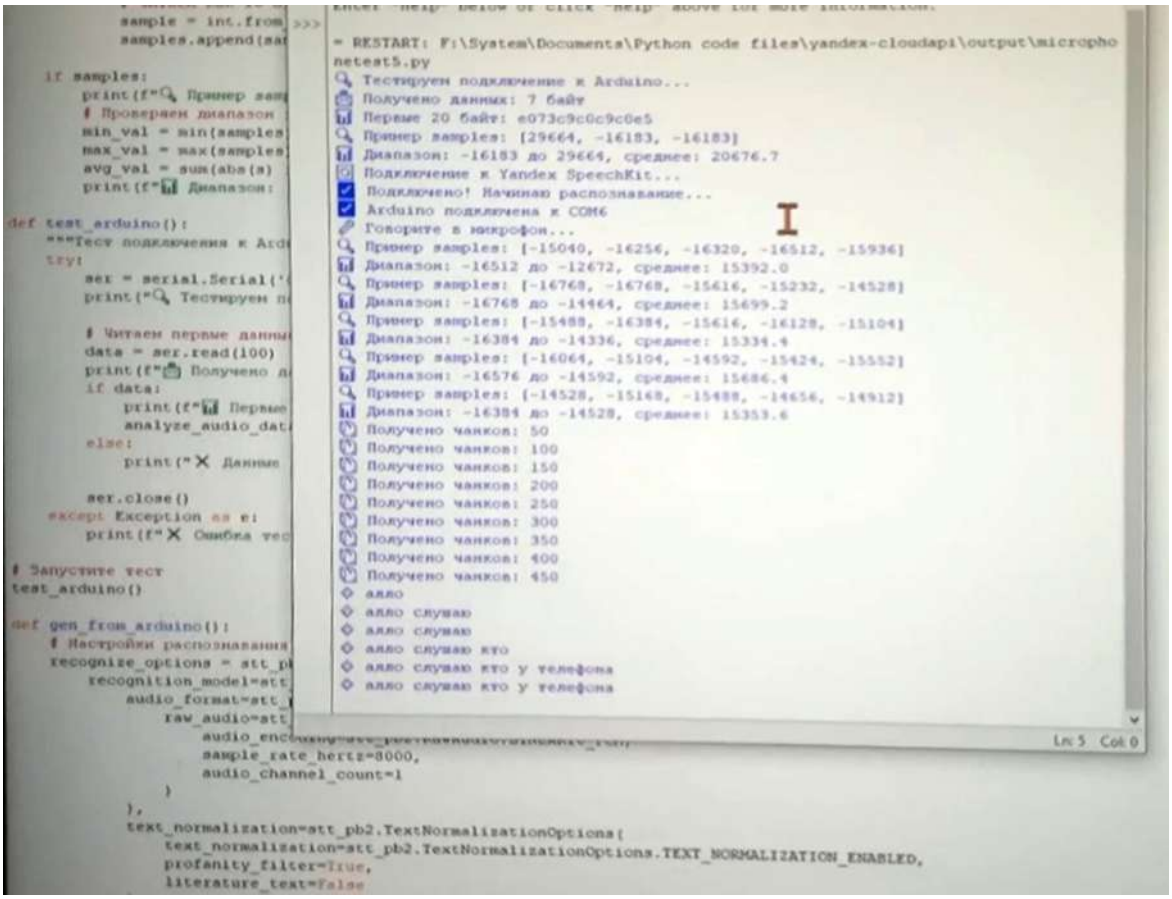


Рисунок 1 – Интерфейс работы с Yandex SpeechKit

3. Конфиденциальность. Передача аудиопотока в облако для обработки на серверах третьей стороны вызывает обоснованные опасения, особенно в корпоративной или медицинской среде.

4. Латентность. Каждый этап (захват звука, сжатие, передача, обработка и возврат результата) добавляет задержку, создающую дискомфорт при синхронизации текста с живой речью.

Переход на локальную обработку речи продиктован стремлением устранить недостатки облачной модели.

– Автономность и надежность. Устройство должно работать везде, независимо от доступа к сети – базовое требование к ассистивной технологии.

– Предсказуемая экономика. Локальное распознавание не требует поминутной оплаты; предельные издержки на дополнительного пользователя стремятся к нулю.

– Приватность по умолчанию. Аудиоданные не покидают устройство, что снимает вопросы безопасности личных разговоров.

– Контроль над моделью. Открытые библиотеки позволяют дообучать модели под специфические акценты и акустические условия.

Умные очки имеют жесткие ограничения по энергопотреблению и физическим размерам. Типичная платформа включает маломощный процессор (ARM Cortex ~1.8 ГГц) и ограниченную оперативную память (2 ГБ и менее). Размещение полноценной модели распознавания непосредственно на очках невозможно.

Оптимальная архитектура – гибридная. Очки выполняют захват звука и отображение текста, а распознавание выполняется на сопряженном смартфоне, обладающем большими ресурсами. Такой подход позволяет сохранить автономность и использовать относительно тяжелые модели.

Экосистема открытого ПО предлагает решения для локального распознавания на мобильных устройствах. Vosk – легковесный инструментарий, поддерживающий русский язык и работу на устройствах с ограниченными ресурсами. Coqui STT (ранее Mozilla DeepSpeech) – модель на базе глубокого обучения, ориентированная на дообучение. Whisper.cpp – портация OpenAI Whisper на C/C++, оптимизированная для центрального процессора и встраиваемых систем.

Критерии выбора включают размер модели, скорость инференса и точность на целевых языках. Необходимо тестирование различных STT-моделей для баланса между скоростью ответа и точностью.

Ключевая техническая проблема описываемого проекта – фильтрация речи самого пользователя. Очки должны транскрибировать речь собеседника, но игнорировать голос владельца. В офлайн-сценарии требуется либо использование направленных микрофонов, либо внедрение локальных алгоритмов Voice Activity Detection и диаризации спикеров.

Эволюция архитектуры умных очков для транскрибации проходит следующие этапы:

1. Тонкий клиент. Очки – только периферийное устройство; аудио передается в облако, текст принимается из облака.

2. Гибридная архитектура. Возможна миграция с облака на локальный сервер в пределах одной сети.

3. Локальный инференс на смартфоне. Очки передают аудио по Bluetooth на смартфон с опенсорсной STT-моделью, не требующей доступа в интернет.

4. Полностью встроенный инференс. STT-модель работает непосредственно на процессоре очков (требует экстремальной оптимизации и специализированных NPU-блоков).

Переход от Yandex SpeechKit к опенсорсным библиотекам означает движение от первого к третьему этапу. Разработчик получает полный контроль над пайплайном, но принимает ответственность за оптимизацию и качество модели.

Специфика перехода умных очков для транскрибации речи с облачного API на офлайн-распознавание заключается в переосмыслении баланса между вычислительной сложностью и пользовательской автономией. Облачные сервисы идеальны для быстрого старта, но офлайн-решения на базе опенсорсных компонентов являются единственным путем к созданию независимого, приватного и экономически доступного ассистивного устройства.

Список использованных источников:

1. Yandex Cloud. Документация Yandex SpeechKit: Обзор технологий // Yandex Cloud : [сайт]. – URL: https://cloud.yandex.com/ru/docs/speechkit/overview (дата обращения: 02.03.2026). – Текст : электронный.
2. Шардин, М. Локальное и бесплатное распознавание речи с помощью OpenAI Whisper / М. Шардин // GitHub : [site]. – URL: https://github.com/snorck/offline-video-transcriber-web (дата обращения: 02.03.2026). – Текст : электронный.
3. Bondarenko, I. Pisets: A Robust Speech Recognition System for Lectures and Interviews / I. Bondarenko // Hugging Face : [site]. – URL: https://huggingface.co/papers/2601.18415 (date of access: 02.03.2026). – Текст : электронный.
4. Кузнецова, А. В. Медицинские датчики в умных очках для слабослышащих и глухих людей / А. В. Кузнецова, И. Э. Петров ; науч. рук. Т. А. Фролова // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 24–25 апр. 2025 г. : в 2 ч. / Гомельский государственный технологический университет им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Ч. 1. – С. 195–197.
5. Фролова, Т. А. Информационная модель изделия медицинской техники на основе теоретико-множественного представления / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // В. И. Вернадский: устойчивое развитие регионов : материалы Международной научно-практической конференции : в 5 т. / под науч. ред. В. А. Грачева [и др.] ; отв. ред. А. В. Козачек. – Тамбов : Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – Т. 4. – С. 241–246.
6. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Международной научно-практической

конференции : в 3 т. / под общ. ред. В. А. Немтинова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4. – С. 123–128.
7. Фролова, Т. А. Проектирование биомедицинских информационных систем / Т. А. Фролова, А. Н. Ряшенцева // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Издательство Першина Р. В., 2019. – С. 419–421.

УДК 621.391

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СНА МЛАДЕНЦА И ЕГО ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ЗДОРОВЬЯ

Любавина М. А. студ., Филиппов А. Д. студ., Фролова Т. А., к.т.н., доц.
Тамбовский государственный технический университет,
г. Тамбов, Российская Федерация

Реферат. *Разработан комплекс, включающий систему мониторинга и анализа сна младенца, в целях оптимизации режима сна, а также автоматизацию процесса измерения, регистрации и анализа веса и роста детей. В основе приложения лежит комплексный подход, объединяющий ручной ввод данных о дневном сне с автоматизированным ночным мониторингом, контроль физического развития ребенка производится путем сравнения полученных в ходе взвешивания данных с нормативными эталонными значениями (центильными таблицами), а также для ведения цифрового журнала измерений.*

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

Современный прогресс в области цифровых технологий и сенсорики создаёт предпосылки для разработки «умных» аппаратно-программных систем, предназначенных для наблюдения за состоянием организма [1-5]. Наибольшую востребованность подобные разработки имеют в педиатрии, особенно при наблюдении за младенцами и детьми младшего возраста, где требуется непрерывный, но щадящий и бесконтактный контроль ключевых показателей здоровья. В рамках данной работы представлена система, объединяющая в себе функции отслеживания сна и физического развития малыша, включающая анализ движений и звуков, а также фиксацию основных антропометрических данных – веса и длины тела.

Важность разработки обусловлена стремлением обеспечить более надежную фиксацию здоровья младенца во время сна, а также потребностью в ранней диагностике возможных проблем с его физическим развитием. Период сна – это время наиболее интенсивного роста и совершенствования детского организма. При регулярном отслеживании изменений веса и роста специалист может оперативно корректировать режим дня при выявлении отклонений от нормы. Представленная система объединяет эти ключевые функции в рамках единого автоматизированного устройства.

Аппаратная часть комплекса включает некоторый модуль, размещаемый в матрасе детской кроватки. В состав модуля входят микрофон для регистрации звуковой активности и плача ребёнка, датчик движения (гироскоп или акселерометр) для фиксации смены положения тела и двигательной активности.

Аппаратная часть комплекса построена на базе микроконтроллера NodeMCU с ядром ESP8266? являющимся компактным, но производительным решением, оптимально подходящего для IoT-устройств. Выбор данной платформы обусловлен наличием встроенного модуля Wi-Fi, который обеспечивает стабильную беспроводную передачу данных без использования дополнительных коммуникационных модулей. Достаточная вычислительная мощность микроконтроллера позволяет оперативно обрабатывать сигналы от сенсоров в режиме

реального времени, низкое энергопотребление делает систему пригодной для длительной непрерывной работы.

Центральным элементом мониторинга двигательной активности выступает инерционный модуль MPU6050, объединяющий трёхосевой акселерометр и гироскоп. Данные модули точно регистрируют пространственные перемещения и микродвижения тела ребёнка. В рамках разработки была проведена тонкая калибровка чувствительности датчика с учётом особенностей двигательной активности младенца во сне. Алгоритмы обработки данных настроены таким образом, чтобы фиксировать как выраженные макродвижения – перевороты, вздрагивания, активные пробуждения, – так и более слабые колебания, характерные для поверхностных фаз сна.

Контроль звуковой активности реализован с использованием аналогового микрофонного модуля KY-037, оснащённого программируемым усилителем низкой частоты. Особенностью системы является внедрение адаптивного порога чувствительности, автоматически подстраивающегося под фоновый уровень шума в помещении. Алгоритм анализа сигнала включает частотную фильтрацию с выделением диапазона 200–600 Гц, характерного для детского плача. Это позволяет эффективно отсекать бытовые шумы и повышает точность распознавания акустических признаков пробуждения.

Алгоритмы анализа сна реализуют определение момента засыпания на основе запуска таймера в интерфейсе приложения. Пробуждение определяется при превышении установленных порогов активности или звука. Система регистрирует общее время сна, количество и длительность ночных пробуждений, формирует статистику за сутки и неделю, а также строит графики распределения сна по часам.

Дополнительным функциональным блоком комплекса является модуль контроля физического развития. В качестве источника данных выступают медицинские электронные весы для новорожденных модели ВЭНд-01-«Малыш» (рис. 1).



Рисунок 1 – Детские весы с ребенком

Принцип действия весов основан на тензометрическом или виброчастотном методе, результаты взвешивания выводятся на цифровой дисплей и дублируются в цифровом виде на внешнее устройство с помощью выхода USB на компьютер. Сигнал от весов поступает на компьютер через виртуальный COM-порт, где среда MATLAB выступает в роли принимающей и обрабатывающей стороны. Разрабатываемый в MATLAB скрипт выполняет инициализацию последовательного порта и в реальном времени считывает входящий поток данных. Далее

программа производит обработку полученных значений массы тела и роста, а затем преобразует их в физические единицы измерения (килограммы и сантиметры).

Для обеспечения корректного анализа физического развития ребенка предварительно формируется база эталонных показателей. Нормативные данные, представляющие собой оценочные центильные таблицы физического развития детей, структурируются и сохраняются в текстовые файлы, что позволяет в дальнейшем оперативно загружать их в рабочее пространство MATLAB. При проведении измерения пользователь вводит возраст ребенка в месяцах и его пол, после чего программный модуль автоматически сопоставляет полученные с весов значения с соответствующими эталонными строками. Результатом данной операции является вычисление отклонений фактических параметров от нормативных границ и формирование заключения о соответствии физического развития возрастным нормам.

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. Внешний вид приложения представлен на рисунке 2.

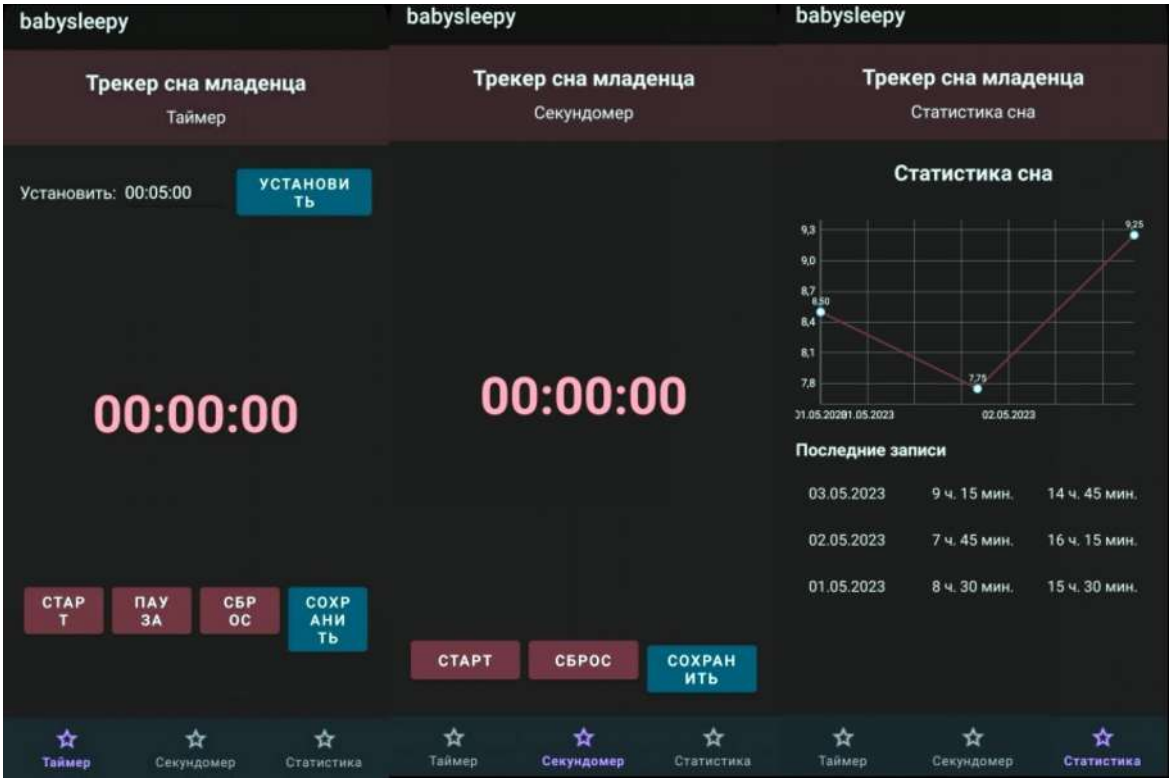


Рисунок 2 – Внешний вид приложения

Разрабатываемый комплекс отличается интеграцией нескольких функциональных направлений в единую систему. В отличие от отдельных радионянь, весов или мобильных приложений для учёта роста, предлагаемый продукт объединяет мониторинг сна, дыхания и физического развития в рамках одного программно-аппаратного решения.

Перспективы развития проекта связаны с расширением набора контролируемых параметров, включая измерение частоты сердечных сокращений, мониторинг микроклимата помещения и интеграцию с внешними медицинскими информационными системами. Возможна реализация

функции формирования отчётов для педиатра и внедрение элементов прогнозной аналитики.

Таким образом, разработанный программно-аппаратный комплекс представляет собой современную интеллектуальную систему мониторинга сна и физического развития ребёнка, обеспечивающую безопасность, автоматизацию сбора данных и удобство использования. Реализация проекта способствует повышению уровня родительского контроля, раннему выявлению возможных нарушений и формированию культуры цифрового сопровождения здоровья ребёнка.

Список использованных источников

1. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35–45.
2. Фролов, С. В. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареа // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266–272.
3. Фролов, С. В. Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / С. В. Фролов, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск (52). – С. 105–110.
4. Фролов, С. В. Интеграция медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения / С. В. Фролов, М. С. Фролова, И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3 (53). – С. 68–80.
5. Фролов, С. В. Автоматизированная информационная система мониторинга состояния здоровья школьников / С. В. Фролов, М. А. Лядов, С. А. Лоскутов // Медицинская техника. – 2015. – № 1. – С. 1–5.

УДК 004

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ФАКТОР ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВА

Соркин И. М., студ., Бабкина А. А., ст. преп.
Уральский государственный аграрный университет,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

Реферат. *В статье рассматривается роль информационных технологий в современном обществе и их влияние на развитие экономики, науки и социальной сферы. Проанализированы основные компоненты информационных технологий, этапы их исторического развития и ключевые области применения. Особое внимание уделено влиянию цифровых технологий на трансформацию бизнеса, образования и медицины, а также рассмотрены основные проблемы внедрения информационных систем, включая вопросы кибербезопасности и цифрового неравенства. Показано, что информационные технологии выступают важным инструментом повышения эффективности процессов и развития инноваций.*

Ключевые слова: информационные технологии, цифровая трансформация, информационные системы, автоматизация, цифровая экономика.

Введение

В условиях стремительного развития цифровой экономики информационные технологии занимают центральное место в функционировании современного общества. Они обеспечивают эффективный сбор, хранение, обработку и передачу информации, что позволяет значительно ускорить процессы управления и принятия решений. Использование информационных систем

способствует повышению эффективности деятельности организаций и формированию новых форм взаимодействия между людьми.

Развитие информационных технологий привело к появлению новых цифровых платформ, которые стали основой для создания инновационных сервисов и бизнес-моделей. В результате происходят значительные изменения в экономике, образовании, здравоохранении и других сферах деятельности. В связи с этим исследование роли информационных технологий в процессе цифровой трансформации общества является актуальной научной задачей.

Основные компоненты информационных технологий

Информационные технологии представляют собой комплекс взаимосвязанных элементов, обеспечивающих обработку и использование информации. К основным компонентам относятся аппаратное обеспечение, программное обеспечение, сетевые технологии и системы хранения данных.

Аппаратное обеспечение включает физические устройства, необходимые для функционирования информационных систем: персональные компьютеры, серверы, мобильные устройства и периферийное оборудование. Эти устройства формируют техническую основу любой цифровой инфраструктуры.

Программное обеспечение представляет собой совокупность программных средств, обеспечивающих управление аппаратными ресурсами и выполнение различных задач. Оно включает операционные системы, прикладные программы и специализированные информационные системы.

Сетевые технологии обеспечивают обмен данными между различными устройствами и системами. Развитие глобальной сети Интернет и облачных платформ позволило создать распределенные информационные системы, которые обеспечивают доступ к данным из любой точки мира.

Данные и системы управления базами данных являются важнейшим элементом информационных технологий. Современные методы хранения и анализа данных позволяют организациям получать ценную информацию для принятия управленческих решений.

Развитие информационных технологий

Эволюция информационных технологий прошла несколько этапов. На ранних стадиях развития вычислительной техники использовались крупные вычислительные системы – мейнфреймы, доступ к которым имели лишь крупные организации и научные учреждения. Такие системы отличались высокой стоимостью и сложностью эксплуатации.

Следующим этапом стало распространение персональных компьютеров, что значительно расширило возможности использования вычислительной техники. Появление персональных устройств сделало информационные технологии доступными широкому кругу пользователей и способствовало развитию программного обеспечения.

Современный этап развития характеризуется внедрением облачных технологий, систем обработки больших данных и методов искусственного интеллекта. Эти технологии позволяют анализировать большие объемы информации и создавать интеллектуальные системы поддержки принятия решений.

Применение информационных технологий

Информационные технологии широко применяются в различных сферах деятельности. В бизнесе они используются для автоматизации процессов управления, анализа данных и повышения эффективности деятельности организаций. Системы управления ресурсами предприятия и системы управления взаимоотношениями с клиентами позволяют оптимизировать работу компаний.

В образовательной сфере информационные технологии способствуют развитию дистанционного обучения, электронных образовательных ресурсов и онлайн-платформ. Это позволяет значительно расширить доступ к знаниям и повысить гибкость образовательного процесса.

В медицине цифровые технологии используются для хранения медицинской информации, проведения телемедицинских консультаций и поддержки диагностики заболеваний. Использование интеллектуальных алгоритмов помогает специалистам анализировать

медицинские данные и принимать более точные решения.

Проблемы и перспективы развития

Несмотря на значительные преимущества, внедрение информационных технологий связано с рядом проблем. Одной из наиболее актуальных является обеспечение информационной безопасности. Современные информационные системы подвержены кибератакам и утечкам данных, что требует разработки эффективных методов защиты информации.

Другой важной проблемой является цифровое неравенство. Различия в уровне доступа к технологиям между регионами и социальными группами могут приводить к усилению социально-экономических различий.

В перспективе развитие информационных технологий будет связано с дальнейшим внедрением искусственного интеллекта, развитием облачных сервисов и совершенствованием методов обработки данных. Важным направлением также станет формирование этических и правовых норм использования цифровых технологий.

Заключение

Таким образом, информационные технологии являются важным фактором развития современного общества и экономики. Их внедрение способствует повышению эффективности управления, развитию науки и образования, а также созданию новых возможностей для инноваций.

Дальнейшее развитие информационных технологий требует комплексного подхода, включающего совершенствование инфраструктуры, повышение уровня информационной безопасности и подготовку квалифицированных специалистов. Рациональное использование цифровых технологий позволит обеспечить устойчивое развитие общества и повышение качества жизни населения.

Список использованных источников

1. Таненбаум, Э. Архитектура компьютера / Э. Таненбаум. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 811 с.
2. Кастельс, М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура / М. Кастельс ; пер. с англ. под науч. ред. О. И. Шкаратана. – Москва : ГУ ВШЭ, 2000. – 608 с.
3. Laudon, K. Management Information Systems / K. Laudon, J. Laudon. – New York : Pearson, 2021. – 587 p.

UDC 004.946

ENJOYTHEVR – A VR PLATFORM FOR SMARTPHONES

Zhironkin E. S., student, Gorbatov G. V., senior lecturer
MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

Abstract. *EnJoyTheVR is a lightweight, low-cost virtual reality platform designed to run on modern smartphones. The platform supports on-device hand tracking, multiplayer, an in-VR app store, and a flexible application system using AssetBundles and Lua scripting. By leveraging recent advances in mobile compute and camera capabilities, EnJoyTheVR aims to bridge the gap between limited cardboard-style mobile VR and expensive standalone headsets, offering an accessible development and user experience with minimal additional hardware.*

Keywords: mobile VR, hand tracking, MediaPipe, multiplayer, AssetBundles, Lua, Unity

1. Introduction and Related Work

High hardware costs remain a primary barrier to VR adoption. While standalone headsets offer rich interaction, they are expensive. Conversely, low-cost solutions like Google Cardboard lack

modern interaction capabilities and have seen little recent development. EnJoyTheVR addresses this gap by providing an intermediate, low-cost platform that leverages modern smartphone computational power for on-device hand tracking and modular VR experiences.

The platform targets the niche between entry-level viewers and premium headsets. Taking advantages of mobile computer vision (e.g., MediaPipe), EnJoyTheVR enables controllerless interaction without dedicated hardware. Table 1 summarizes the positioning of the proposed system compared to existing solutions.

Table 1 – Comparison of VR Platforms

Platform	Cost	Hand Tracking	Hardware	Dev. Workflow
Standalone/PC (Quest/Vive)	High	Full (6DOF)	Dedicated/PC	Proprietary SDK
PS VR	High	Limited (PS Move)	Console	Closed system
Google Cardboard	Low	None	Phone + shell	Simple (limited)
Gear VR	Medium	Limited (3DOF)	Samsung only	Closed (legacy)
EnJoyTheVR	**Low**	**Full (6DOF)**	**Any smartphone + Bluetooth**	**Easy (Unity + Lua)**

2. Design and Implementation

EnJoyTheVR was implemented in Unity and integrates a set of technologies chosen to balance functionality and mobile performance:

On-device hand tracking – MediaPipe. MediaPipe provides optimized, registerable hand-tracking models that run in real time on many mobile devices. These models allow robust hand pose and gesture estimation without external sensors.

Scriptable app system – XLua + AssetBundles. Applications are packaged as AssetBundles and expose game logic through Lua scripts. This approach enables dynamic content updates and allows third-party developers to ship apps without requiring a full rebuild of the core client.

Multiplayer – Photon 2. Photon 2 is used for room management, object synchronization, and voice chat. It is a mature, production-ready solution with Unity integration and suits the platform's needs for lightweight multiplayer features.

Alternatives such as custom neural networks for tracking (too resource-intensive for many phones) or bespoke networking stacks (complexity and stability concerns) were considered and rejected in favor of the above components.

2.1 Architecture

The platform client runs on Android and iOS smartphones and supports multiple headset shells (phone-mounted VR viewers). Hand tracking is performed on-device using the smartphone camera; i nput is translated to interaction events inside Unity. Developers can publish AssetBundle-based mini-apps to the in-VR store, where users may download and launch them directly inside the platform. Multiplayer rooms can synchronize user avatars, shared objects, and voice chat channels through Photon.

2.2 Performance Considerations

Running real-time vision and networking on budget phones requires careful optimization. Key techniques include frame-rate-aware inference scheduling for hand-tracking models, adaptive resolution for camera input, and lightweight serialization for networked objects. These measures aim t o maintain a responsive user experience even on mid-range hardware.

3. Features

The prototype includes a virtual Lobby for navigation, an In-VR App Store for dynamic AssetBundle delivery, and a Multiplayer system supporting synchronized avatars and voice chat via Photon. An integrated Web Browser (WebView-based) allows viewing external content without exiting the VR environment.

4. Evaluation and Comparative Analysis

A comparative analysis highlights EnJoyTheVR's trade-offs in relation to other platforms. The main advantages are cost and accessibility: the platform functions with widely available smartphones

and low-cost headset shells, while still providing hand tracking and multiplayer features. Limitations include variable performance across device models, camera field-of-view constraints, and the inherent limitations of phone-based optics compared to dedicated VR lenses and displays.

Empirical tests on a small set of mid-range and recent flagship devices demonstrated that MediaPipe-based hand tracking achieves interactive frame rates with acceptable latency when employing adaptive inference and resolution scaling. Further large-scale testing across more device models is planned.

Table 2 – Performance Metrics by Device Tier

Tier	Device example	FPS (avg)	Frame Time (ms)	Tracking Latency (ms)
Budget	Xiaomi Redmi Note 11 Pro	60,0	17,05	56,5
Mid-range	Xiaomi Redmi Note 14 Pro	59,5	22,29	34,1
Flagship	iPhone 14 pro	59,7	16,74	10,2

5. Future Work

Key directions for development include:

Further optimization of hand-tracking inference and integration of alternative lightweight models.

Expanding the app ecosystem and onboarding external developers with clear publishing tools and documentation.

Broader device compatibility testing, including entry-level phones.

Exploration of low-cost, phone-integrated peripheral designs for improved ergonomics and tracking.

Investigating engine-agnostic integration by supporting standard XR interfaces such as OpenXR, enabling applications developed with different game engines or frameworks to run within the EnJoyTheVR platform.

6. Conclusion

EnJoyTheVR demonstrates how recent advances in mobile processing and on-device vision enable a practical, low-cost VR platform for smartphones. By combining MediaPipe hand tracking, a modular AssetBundle + Lua app system, and Photon-powered multiplayer, the platform offers a flexible environment suitable for both users and developers who need accessible VR without the expense of dedicated headsets.

References

1. Turner, P. Affordable AR Headset Experiences / P. Turner. – Mode of access: https://sites.google.com/view/arheadsetkit/home (date of access: 05.04.2026). – Text : electronic.
2. Google Cardboard // Google VR : [site]. – URL: https://arvr.google.com/cardboard/ (date of access: 10.04.2026). – Text : electronic.
3. Meng, Y. Real-Time Hand Gesture Monitoring Model Based on MediaPipe's Registerable System / Y. Meng, H. Jiang, N. Duan, H. Wen // Sensors. – 2024. – Vol. 24, No. 19. – Art. 6262.
4. Zhang, F. MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking / F. Zhang, V. Bazarevsky, A. Vakunov [et al.] // arXiv.org : [site]. – 2020. – URL: https://arxiv.org/abs/2006.10214 (date of access: 10.04.2026). – Text : electronic.

УДК 004.932

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПЕРЦЕПТИВНОГО ХЕШИРОВАНИЯ ДЛЯ ДЕДУПЛИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Вегера К. С., студ., Бураков Д. И., бак., Скиба И. Г., асс.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. *В работе проведен сравнительный анализ алгоритмов перцептивного хеширования (aHash, dHash, pHash) с целью выявления наиболее эффективного метода для дедупликации изображений в веб-сервисах. Оценены показатели быстродействия и устойчивости к геометрическим трансформациям и сжатию. Экспериментально установлено, что алгоритм dHash обеспечивает оптимальное соотношение производительности и точности детектирования дубликатов.*

Ключевые слова: дедупликация, перцептивный хеш, компьютерное зрение, dHash, pHash, оптимизация хранения.

В условиях экспоненциального роста объемов мультимедийных данных задача оптимизации дискового пространства становится критически важной. Значительную часть хранилищ занимают дубликаты изображений, возникающие в результате повторных загрузок, изменения форматов или разрешения файлов. Традиционные криптографические хеш-функции (MD5, SHA-256) непригодны для решения данной задачи, так как малейшее изменение одного бита информации приводит к полному изменению хеш-суммы [1, с. 612]. Целью работы является выбор и обоснование алгоритма поиска нечетких дубликатов для реализации в сервисе хранения фотографий.

В ходе исследования были рассмотрены три алгоритма построения цифровых отпечатков.

1. Average Hash (aHash). Вычисляет среднее значение яркости пикселей после сжатия изображения до размера 8x8. Алгоритм был детально описан Нилом Кравецом как базовый метод поиска похожих изображений [2]. Отличается высокой скоростью, но неустойчив к гамма-коррекции.
2. Difference Hash (dHash). Формирует хеш на основе градиентов яркости между соседними пикселями. Этот метод также предложен в работе как более устойчивая альтернатива aHash.
3. Perceptual Hash (pHash). Основан на дискретном косинусном преобразовании (DCT). В отличие от первых двух методов, pHash работает в частотной области. Преобразование двумерного массива пикселей в частотный спектр описывается формулой (1) [1, с. 485]:

$$F(u,v) = \frac{1}{4}C(u)C(v)\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)\cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right]\cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right], \quad (1)$$

где N – размер блока (как правило, 32x32); $C(u),C(v)$ – коэффициенты нормализации. Использование низкочастотных компонент позволяет сделать хеш устойчивым к сильному сжатию и изменению масштаба.

Для проведения сравнительного анализа был разработан программный модуль на языке Python с использованием библиотеки ImageHash, предоставляющей инструменты для работы с матрицами изображений [3, с. 45]. Выборка составила 1000 изображений высокого разрешения. Для каждого изображения генерировались модифицированные копии (изменение размера, сжатие JPEG, поворот). Критерием схожести является расстояние Хэмминга (d_H) – число позиций, в которых биты двух хешей h_1 и h_2 различны. Расчет производится по формуле (2):

$$d_H(h_1,h_2) = \sum_{i=1}^{k}(h_{1,i} \oplus h_{2,i}), \quad (2)$$

где $\oplus$ – операция исключающего ИЛИ (XOR); k – длина хеша в битах (64 бит). Дубликатом считалось изображение при условии $d_H \leq 5$.

На рисунке 1 представлены результаты сравнительного анализа производительности и точности алгоритмов на тестовом стенде.

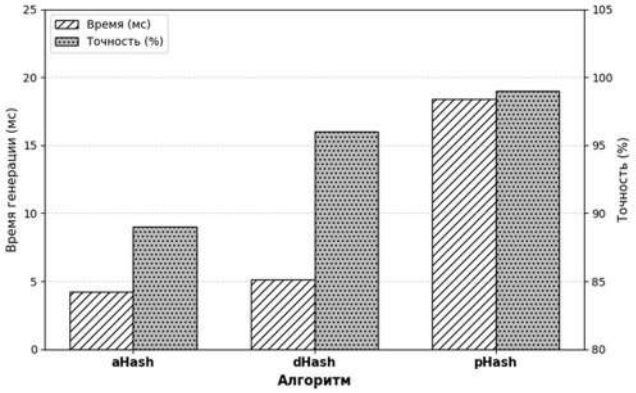


Рисунок 1 – Соотношение времени генерации хеша и точности детектирования

Как видно из представленного графика, зависимость между точностью детектирования и временем выполнения имеет выраженный нелинейный характер. Алгоритм pHash показывает наивысшую точность (99 %), однако время его выполнения (18.4 мс) почти в 4 раза превышает показатели dHash, что создает избыточную нагрузку на сервер при массовой загрузке файлов. В свою очередь, алгоритм aHash, будучи самым быстрым (4.2 мс), демонстрирует критическое падение точности до 89 % на изображениях с измененной цветокоррекцией. Таким образом, с учетом требований к быстродействию, алгоритм dHash (5.1 мс, 96 % точности) представляет собой точку оптимума на кривой «скорость – качество» для задач потоковой обработки данных в веб-сервисе.

На основании результатов проведенного сравнительного анализа, для практической реализации в подсистеме дедупликации проектируемого сервиса хранения фотографий был выбран алгоритм dHash. Данный метод обеспечивает оптимальный баланс между устойчивостью к типичным искажениям (масштабирование, JPEG-сжатие) и требованиями к минимальным вычислительным затратам. В свою очередь, использование более ресурсоемкого алгоритма pHash целесообразно рассматривать исключительно в качестве инструмента вторичной проверки для исключения возможных коллизий.

Список использованных источников

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Москва : Техносфера, 2012. – 1104 с.
2. Krawetz, N. Looks Like It / N. Krawetz // Hacker Factor Blog : [site]. – 2013. – URL: http://www.hackerfactor.com/blog/index.php?/archives/529-Kind-of-Like-That.html (date of access: 10.02.2026). – Text : electronic.
3. Солем, Я. Программирование компьютерного зрения на Python / Я. Солем. – Москва : ДМК Пресс, 2016. – 312 с.

УДК 004.056

ГОМОМОРФНОЕ ШИФРОВАНИЕ И ЕГО ПРАКТИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

Гимпель К. А., студ., Завалей В. А., бак., инж.-прогр.,
Мигалевич С. А., м.т.н., ст. преп.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены математические основы гомоморфного шифрования и проанализированы его практические ограничения.*

Ключевые слова: гомоморфное шифрование, конфиденциальность данных.

Современные информационные системы всё в большей степени опираются на облачные вычисления и удалённую обработку данных. При этом возникает противоречие между необходимостью передачи данных третьей стороне и требованиями к сохранению их конфиденциальности. Классические криптографические методы обеспечивают защиту данных при хранении и передаче, однако для выполнения вычислений данные, как правило, должны быть расшифрованы. Это создаёт потенциальные уязвимости и снижает уровень доверия к вычислительной среде.

Гомоморфное шифрование представляет собой криптографический подход, позволяющий выполнять вычисления непосредственно над зашифрованными данными без их предварительного раскрытия. Результат таких вычислений после расшифрования совпадает с результатом аналогичных операций над исходными открытыми данными. Несмотря на значительный теоретический прогресс в данной области, практическое применение гомоморфного шифрования остаётся ограниченным из-за высокой вычислительной сложности и ряда технологических факторов.

Криптографическая схема гомоморфного шифрования определяется тройкой алгоритмов: $KeyGen, Enc, Dec$. Алгоритм $KeyGen$ генерирует пару ключей, открытый ключ pk и секретный ключ sk. Алгоритм шифрования $Enc_{pk}(m)$ отображает открытое сообщение m в шифртекст c. Алгоритм расшифрования $Dec_{sk}(c)$ восстанавливает исходное сообщение.

Функция Enc называется гомоморфной относительно операции op над открытыми текстами, если существует эффективный алгоритм F, который получив на вход любую пару шифртекстов $Enc_{pk}(m_1)$ и $Enc_{pk}(m_2)$, возвращает шифртекст c такой, что $Dec_{sk}(c) = m_1 \, op \, m_2$ или что то же самое

$$Dec_{sk}(F(Enc_{pk}(m_1), Enc_{pk}(m_2))) = m_1 \, op \, m_2$$

Применив к обеим частям уравнения функцию Enc получим более сокращенную запись

$$F(Enc_{pk}(m_1), Enc_{pk}(m_2)) = Enc_{pk}(m_1 \, op \, m_2)$$

В зависимости от поддерживаемого класса операций различают частично гомоморфные, ограниченно гомоморфные и полностью гомоморфные шифры. Частично гомоморфные поддерживают лишь одну операцию, например, сложение или умножение. Классическим примером является алгоритм RSA, обладающий мультипликативной гомоморфностью.

В RSA шифрование сообщения m определяется выражением:

$$Enc(m) = m^e \bmod n$$

где (n, e) – открытый ключ.

Легко заметить, что если взять $F(c_1, c_2) = c_1 \cdot c_2 \bmod n$, а в качестве операции op применить операцию умножения, получим равенство

$$F(c_1, c_2) = c_1 \cdot c_2 \bmod n = m_1^e \cdot m_2^e \bmod n = (m_1 \cdot m_2)^e \bmod n = Enc(m_1 \cdot m_2)$$

Что подтверждает его гомоморфность относительно операции умножения.

Ограниченно гомоморфные схемы поддерживают как сложение, так и умножение, однако глубина вычислительной схемы ограничена. Ограничение обусловлено наличием случайного шума, добавляемого при недетерминированном шифровании. Рассмотрим обобщённую модель, в которой шифртекст представляется как

$$c = (m + e) \bmod q,$$

где e – случайный шум. При выполнении гомоморфных операций шум накапливается. Для сложения двух шифртекстов имеем

$$c_1 + c_2 = [(m_1 + m_2) + (e_1 + e_2)] \bmod q$$

Шум увеличивается линейно. При умножении наблюдается более быстрый рост

$$c_1 \cdot c_2 = (m_1 m_2 + m_1 e_2 + m_2 e_1 + e_1 e_2) \bmod q$$

Последний член приводит к квадратичному увеличению шума. Когда величина шума превышает допустимый порог, корректная расшифровка становится невозможной. Таким образом, глубина арифметической схемы ограничивается параметрами q и распределением шума.

Полностью гомоморфное шифрование поддерживает произвольные вычисления, представимые в виде булевых или арифметических схем конечной глубины. Первая конструкция полностью гомоморфной схемы была предложена К. Джентри в 2009 году. Основная идея заключалась в применении операции bootstrapping, представляющей собой гомоморфное вычисление функции расшифрования. Если схема способна корректно вычислить собственную функцию Dec над зашумлённым шифртекстом, то возможно уменьшить уровень шума и продолжить вычисления.

Формально процедура bootstrapping реализует преобразование

$$Bootstrap(Enc_{pk}(m)) = Enc_{pk}(Dec_{sk}(Enc_{pk}(m)))$$

После выполнения операции новый шифртекст содержит тот же открытый текст, но с пониженным уровнем шума. Несмотря на теоретическую универсальность, bootstrapping является вычислительно затратной операцией.

Современные практические схемы, такие как BGV, BFV и CKKS, основаны на сложности задачи обучения с ошибками на решётках. Их безопасность сводится к трудности решения задачи Learning With Errors. В этих схемах сообщения кодируются в виде элементов факторкольца.

$$R_q = Z_q [x] / f(x)$$

где $f(x)$ – неприводимый многочлен степени N. Увеличение параметра N повышает стойкость, но приводит к росту объёма ключей и времени обработки.

Практические ограничения гомоморфного шифрования проявляются в следующих аспектах. Во-первых, значительный рост объёма данных. Размер шифртекста зачастую превышает размер исходного сообщения в десятки и сотни раз. Во-вторых, высокая вычислительная сложность. Операции над шифртекстами реализуются как операции над многочленами с коэффициентами по модулю q. Вычислительная сложность сложения составляет $O(N)$, а умножения с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье порядка $O(N \log N)$. В-третьих, существенные требования к оперативной памяти, что ограничивает применение на ресурсно-ограниченных устройствах.

Несмотря на указанные ограничения, гомоморфное шифрование активно развивается. Оно находит применение в задачах защищённой обработки медицинских данных, финансовой аналитики и облачных вычислений.

Таким образом, гомоморфное шифрование представляет собой инструмент обеспечения

конфиденциальности при удалённой обработке информации. Его теоретические основы хорошо разработаны и опираются на современные результаты теории решёток и вычислительной сложности. В то же время практическое внедрение сдерживается высокой ресурсоёмкостью и необходимостью оптимизации алгоритмов.

Список использованных источников

1. Gentry, C. Fully Homomorphic Encryption Using Ideal Lattices / C. Gentry // STOC '09: Proceedings of the 41st Annual ACM Symposium on Theory of Computing, Bethesda, MD, USA. – New York : ACM, 2009. – P. 169–178. – DOI: 10.1145/1536414.1536440.
2. Варновский, Н. П. Гомоморфное шифрование / Н. П. Варновский, А. В. Шокуров // Труды Института системного программирования РАН. – 2006. – Т. 12. – С. 27–36.

УДК 004.852

СРАВНЕНИЕ АРХИТЕКТУР CNN-TRANSFORMER И CNN-LSTM ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЗАДАЧЕ ВЕРИФИКАЦИИ ПОДПИСЕЙ НА ОСНОВЕ НАБОРА ОБРАЗЦОВ

Касьян В. А., студ., Бураков Д. И., бак., Марков А. Н., м.т.н., ст. преп.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. *Верификация подписей – важная задача в биометрической безопасности, целью которой является различение подлинных и поддельных подписей. В данной работе представлены две гибридные архитектуры глубокого обучения, сочетающие сверточные нейронные сети (CNN) и долгую краткосрочную память (LSTM), а также трансформерное самовнимание (Transformers, self-attetnton), для классификации изображений подписей на основе последовательности исторических образцов. Модель обрабатывает последовательность из n исторических подписей и одну тестовую подпись, выдавая вещественную оценку от 0 (поддельная) до 1 (подлинная). Проблемы высокой внутриклассовой изменчивости, сложности подделок и вычислительных ограничений решаем путем оптимизации архитектуры модели, конвейера предобработки и методологии обучения. Наш подход включает аугментацию данных, подавление шумов, динамическое изменение размера и последовательное обучение для повышения устойчивости и эффективности. Эксперименты показали, что CNN-LSTM превосходит CNN-Transformer по скорости обучения (в 20–30 раз быстрее на эпоху), потреблению памяти (в 5 раз меньше) и количеству эпох, необходимых для достижения сопоставимой точности (в 1,5–2 раза меньше). Таким образом, для коротких последовательностей с простыми межизображенными зависимостями (например, «вперёд – назад») CNN-LSTM является более эффективным решением.*

Ключевые слова: верификация подписей, CNN-LSTM, CNN-Transformer, сравнительный анализ, глубокое обучение, оптимизация вычислений, биометрическая безопасность.

Введение

Верификация подписей – хорошо изученная проблема в биометрии, с применением в юридических, финансовых и охранных областях. Традиционные методы основаны на ручном выделении признаков, основной проблемой которых является надежность, а также сложность обучения экспертов, в то время как глубокое обучение позволяет создавать автоматизированные решения, которые извлекают биометрические признаки непосредственно из изображений. В данной работе основное внимание уделяется сравнению двух гибридных архитектур: CNN-LSTM и CNN-Transformer, которые используют как пространственные (CNN), так и

временные (LSTM, Transformers) признаки для классификации подписей. Модель обучается на последовательностях исторических подписей, что позволяет ей учитывать временные закономерности в поведении подписанта.

1. Обзор существующих работ. Методы на основе CNN (например, [1], [2]) извлекают пространственные признаки, но не учитывают временной контекст. Методы на основе LSTM, Transformers (например, [3]) моделируют временные и меж-токеновые зависимости, но требуют последовательных данных. Гибридные архитектуры сочетают CNN и LSTM или Transformers для задач классификации последовательностей изображений, например видео или распознавания почерка. Данная работа расширяет эти идеи для верификации подписей, где важны как пространственные, так и временные признаки.

2. Архитектура системы. Гибридная модель CNN-LSTM состоит из:

– слоёв TimeDistributed CNN: Извлекают пространственные признаки из каждого изображения подписи в последовательности;

– слоя LSTM/Transformers: обрабатывает последовательность признаков CNN для выявления временных зависимостей [4];

– плотных слоёв: выдают вероятностную оценку (от 0 до 1), указывающую на подлинность тестовой подписи;

– последнего слоя: использует активацию Sigmoid, чтобы выдать вероятностную оценку, интерпретируемую как мера уверенности.

Слои модели представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Слои модели

Тип слоя	Параметры	Назначение
TimeDistributed(Conv2D)	32 фильтра, ядро (3,3)	Извлечение низкоуровневых признаков (края, текстуры)
TimeDistributed (MaxPooling2D)	Размер пулинга (2,2)	Уменьшение пространственных размерностей
TimeDistributed(Flatten)		Преобразование 2D-признаков в 1D для LSTM
LSTM/Transformers		Моделирование временных зависимостей
Dense	128 нейронов, ReLU	Нелинейное преобразование
Dropout	Коэффициент 0,5	Предотвращение переобучения
Dense	1 нейрон, Sigmoid	Вывод вероятностной оценки

3. Методология обучения. Методология обучения включает предобработку данных, где изображения подписей приводятся к разрешению 300x300 пикселей и преобразуются в оттенки серого. Пиксели нормализуются в диапазоне [0, 1], и применяются методы аугментации данных, такие как поворот, сдвиг, масштабирование и добавление гауссова шума для увеличения разнообразия обучающей выборки. Также используется подавление шумов с помощью нелокального среднего и двусторонней фильтрации для сохранения важных признаков. Обучение проводится с использованием оптимизатора Adam и стратегии ранней остановки для предотвращения переобучения. Данные размером в 20 оригинальных и подделанных последовательностей подписей 55 участников делятся на обучающую (90 %) и тестовую (10 %) выборки.

4. Результаты. Экспериментальные результаты показывают значительные различия между двумя архитектурами. CNN-Transformer требует в 3–5 раз больше времени на обучение одной эпохи по сравнению с CNN-LSTM. Кроме того, для достижения сопоставимой точности CNN-Transformer требует в 1,5–2 раза больше эпох обучения, предположительно из-за большего количества обучаемых параметров. Это приводит к тому, что общее время обучения CNN-Transformer превышает время обучения CNN-LSTM в 5–10 раз. Также стоит отметить, что CNN-Transformer потребляет в 5 раз больше оперативной памяти.

Сравнение точности показывает, что обе модели достигают сопоставимых результатов на тестовом наборе данных. CNN-LSTM демонстрирует точность 90,1 %, в то время как

CNN-Transformer показывает точность 91,4 %. Разница в количестве ложноположительных и ложноотрицательных классификаций также незначительна, что указывает на сопоставимую эффективность обеих моделей в задаче верификации подписей. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение архитектур CNN-LSTM и CNN-Transformer по точности и вычислительным ресурсам

Архитектура	**Точность**	**Количество эпох**	**Время обучения (ч)**	**Время обучения на эпоху (ч)**	**Использование RAM при обучении**
LSTM	90,1%	60	60	1	12 ГБ
Transformers	91,4%	110	550	5	60 ГБ

Из таблицы 2 видно, что использование модели с большим количеством связей и механизмом самовнимания (Transformers) не привело к значительному улучшению точности. Более того, ее время обучения на эпоху превышает более чем в 5 раз, а использование оперативной памяти – в 5 раз, по сравнению с моделью с меньшим количеством временных признаков (LSTM). Это указывает на то, что модель с более простой линейной архитектурой LSTM является достаточно эффективной для выявления биометрических признаков подписей, не требуя при этом значительных вычислительных ресурсов.

Таким образом, модель с архитектурой CNN-LSTM представляет собой оптимальный баланс между точностью и использованием ресурсов.

Заключение

Данный проект демонстрирует эффективность гибридной архитектуры CNN-LSTM для верификации подписей в сравнение с гибридной архитектурой CNN- Transformers. Сочетая пространственное и временное извлечение признаков, мы достигаем устойчивой точности при ограниченных размерах моделей.

Список использованных источников

1. Deep Learning for Signature Verification / L. Yang [et al.] - IEEE Computer Society, 2020. – 10 p.
2. Offline Signature Verification with CNNs / A. Hafemann [et al.] – IEEE, 2017. – 8 p.
3. Long Short-Term Memory / S. Hochreiter [et al.] – MIT Press, 1997. – 32 p.
4. Attention Is All You Need / Vaswani, A. [et al.] – Neural Information Processing Systems Foundation, 2017. – 11 p.

УДК 004.424.62

ФОНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ В ГЛОБАЛЬНОМ EDTECH: ТРЕНД НА ПОВЫШЕНИЕ ИНКЛЮЗИВНОСТИ И ТОЧНОСТИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

Лямцев Г. К., студ., Ситников А. В., инж.-пр. ЦИИР, Нестеренков С. Н., к.т.н., доц.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье приведена схема системы автоматизированной проверки ответов с интегрированным фонетическим сравнением для повышения точности оценивания в EdTech-платформах. Предложена трехуровневая архитектура проверки, включающая точное совпадение, нормализацию, фонетический анализ на основе Double Metaphone и расстояния Дамерау – Левенштейна. Система учитывает фонетические ошибки студентов, вызванные особенностями произношения, опечатками и языковыми различиями.*

Ключевые слова: автоматизированная проверка ответов, фонетическое сравнение, EdTech, Double Metaphone, расстояние Дамерау-Левенштейна, инклюзивное образование.

Современные образовательные технологии широко используют системы автоматизированной проверки знаний для обработки миллионов ответов студентов ежедневно. Однако традиционные подходы, основанные на точном текстовом совпадении, демонстрируют существенные ограничения при работе с многоязычной аудиторией. Исследования показывают, что до 37 % ошибок в ответах студентов, изучающих неродной язык, носят фонетический характер – это опечатки, вариации написания слов и транслитерации, обусловленные фонетическим сходством [1].

Игнорирование фонетического сходства между правильным ответом и ответом студента приводит к необоснованному снижению оценок, что снижает мотивацию обучающихся и создает барьеры для инклюзивного образования. Особенно критична данная проблема для студентов с дислексией, для которых фонетические ошибки являются характерной особенностью письма [2].

Цель данной работы – разработка системы автоматизированной проверки ответов с интегрированным механизмом фонетического сравнения, обеспечивающей баланс между строгостью оценивания и учетом языковых особенностей обучающихся.

Задачи исследования – анализ фонетических алгоритмов для применения в EdTech; разработка архитектуры системы проверки с фонетическим слоем, определение параметров и критериев оценки фонетического сходства ответов.

Для реализации фонетического сравнения были проанализированы следующие алгоритмы:

– Soundex – классический алгоритм, преобразующий слова в четырехсимвольный код на основе фонетического сходства согласных, эффективен для английского языка, но имеет ограничения из-за фиксированной длины кода [3];

– Metaphone и Double Metaphone – улучшенные версии Soundex, учитывающие контекст букв и позицию в слове, Double Metaphone генерирует два альтернативных кода (первичный и вторичный), что позволяет обрабатывать слова с различными вариантами произношения [4];

– расстояние Левенштейна – метрика, вычисляющая минимальное количество операций редактирования (вставка, удаление, замена) для преобразования одной строки в другую [5];

– расстояние Дамерау – Левенштейна – расширение алгоритма Левенштейна, дополнительно учитывающее операцию транспозиции (перестановки соседних символов), что более точно моделирует типичные опечатки [6].

Для разрабатываемой системы выбрана комбинация Double Metaphone (для фонетического кодирования) и расстояния Дамерау – Левенштейна (для количественной оценки различий), обеспечивающая оптимальный баланс точности и производительности.

Предлагаемая система реализует трехуровневую проверку ответов с последовательной активацией уровней анализа.

Общая схема работы системы продемонстрирована на рисунке 1.

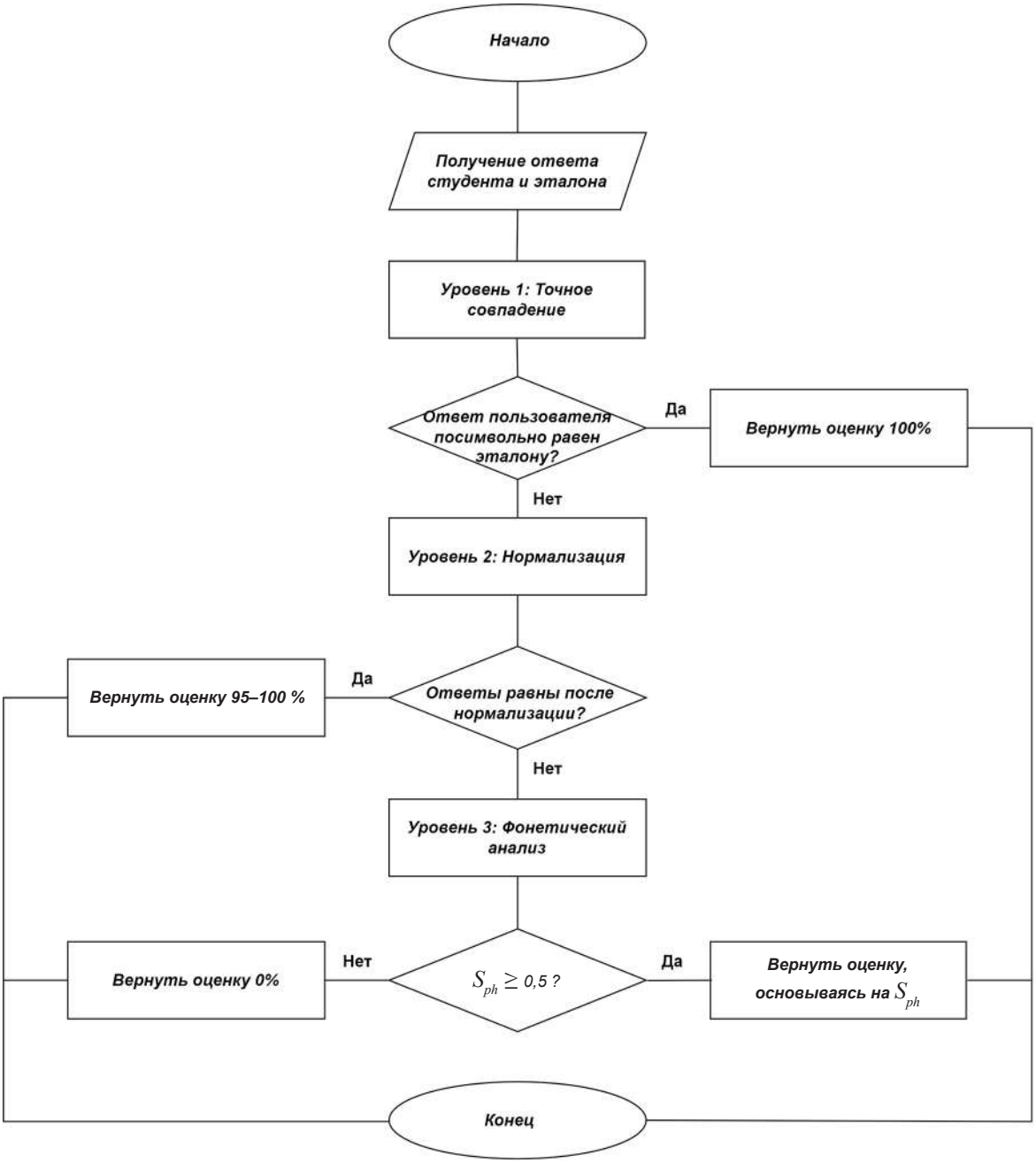


Рисунок 1 – Общая схема работы системы

Уровень 1: Точное совпадение. Выполняется проверка на полное текстовое совпадение ответа студента с эталоном. При совпадении присваивается максимальный балл (100 %), и дальнейший анализ не требуется.

Уровень 2: Нормализация. При отсутствии точного совпадения производится нормализация: приведение к нижнему регистру, удаление лишних пробелов и знаков пунктуации. Повторная проверка на совпадение с нормализованным эталоном. Оценка при совпадении: 95–100 %.

Уровень 3: Фонетический анализ. Применяется при несовпадении нормализованных текстов. Включает три этапа: генерация фонетических кодов с использованием Double Metaphone для каждого слова в ответе студента и эталоне, вычисление расстояния Дамерау–Левенштейна между оригинальными строками, расчет интегральной оценки фонетического сходства по формуле:

$$S_{ph} = \alpha \cdot S_{DM} + \beta \cdot (1 - \frac{D_{DL}}{max\,(L_1, L_2)}),$$

где S_{ph} – оценка фонетического сходства (0–1); S_{DM} – показатель совпадения Double Metaphone кодов (1,0 при совпадении первичного кода, 0,8 при совпадении вторичного, 0 при несовпадении); D_{DL} – расстояние Дамерау – Левенштейна между строками; L_1, L_2 – длины сравниваемых строк; α, β – весовые коэффициенты ($\alpha + \beta = 1$; рекомендуемые значения $\alpha = 0{,}6$, $\beta = 0{,}4$).

Критерии оценки на фонетическом уровне: $S_{ph} \geq 0{,}85$ – высокое фонетическое сходство, оценка 90–95 %; $0{,}75 \leq S_{ph} < 0{,}85$ – среднее сходство, оценка 80–90 %; $0{,}5 \leq S_{ph} < 0{,}75$ – низкое сходство, оценка 70–80 %.

Предложенная система обеспечивает адаптивную оценку с дифференцированным начислением баллов в зависимости от типа и степени отклонения от эталона, инклюзивность для студентов с дислексией и дисграфией, многоязычную поддержку благодаря Double Metaphone, прозрачность с детальным объяснением оценки студенту; масштабируемость благодаря модульной архитектуре, производительность за счет последовательной активации уровней.

Анализ практики ведущих EdTech-платформ показывает эффективность фонетического подхода: Grammarly интегрировала контекстный фонетический анализ для 30+ млн пользователей, улучшив точность проверки на 15 % [7], платформа TAL Education применяет адаптированные фонетические алгоритмы для китайского и английского языков, что повысило удовлетворенность пользователей на 22 % [8].

Разработанная система автоматизированной проверки ответов с интегрированным фонетическим сравнением представляет собой эффективное решение для повышения точности оценивания и инклюзивности EdTech-платформ. Трехуровневая архитектура обеспечивает баланс между строгостью проверки и учетом индивидуальных особенностей обучающихся. Практическая значимость системы заключается в возможности применения в образовательных платформах, системах дистанционного обучения, адаптивных тестирующих системах. Особенно актуально использование для инклюзивного образования студентов с дислексией, изучающих неродной язык, или представляющих различные языковые группы.

Перспективы развития связаны с интеграцией специализированных фонетических алгоритмов для различных языковых семей, добавлением уровня семантического анализа, применением моделей глубокого обучения для контекстно-зависимого анализа и созданием адаптивных механизмов автоматической настройки параметров системы в зависимости от характеристик обучающегося.

Список использованных источников

1. Rimrott, A. Language Learners and Generic Spell Checkers in CALL / A. Rimrott, T. Heift // CALICO Journal. – 2005. – Vol. 23, No. 1. – P. 17–48.
2. Rello, L. How to Present More Readable Text for People with Dyslexia / L. Rello, R. Baeza-Yates // Universal Access in the Information Society. – 2017. – Vol. 16, No. 1. – P. 29–49.
3. Knuth, D. E. The Art of Computer Programming. Vol. 3: Sorting and Searching / D. E. Knuth. – 2nd ed. – Boston : Addison-Wesley, 1998. – 780 p.
4. Philips, L. The Double Metaphone Search Algorithm / L. Philips // C/C++ Users Journal. – 2000. – Vol. 18, No. 6. – P. 38–43.
5. Levenshtein, V. I. Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals / V. I. Levenshtein // Soviet Physics Doklady. – 1966. – Vol. 10, No. 8. – P. 707–710.
6. Damerau, F. J. A technique for computer detection and correction of spelling errors / F. J. Damerau // Communications of the ACM. – 1964. – Vol. 7, No. 3. – P. 171–176.
7. Bryant, C. Automatic Annotation and Evaluation of Error Types for Grammatical Error Correction / C. Bryant, M. Felice, T. Briscoe // Proceedings of ACL 2017, Vancouver. – 2017. – P. 793–805.
8. Wang, Y. Tracking Knowledge Proficiency of Students with Educational Priors / Y. Wang, Q. Liu, E. Chen // Proceedings of CIKM 2017, Singapore. – 2017. – P. 989–998.

УДК 004.422.63

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУР ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ С ОПЕРАЦИЯМИ ВСТАВКИ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ МИНИМУМА

Марковец Р. С., студ., Мамченко К. А., бак., Марков А. Н., м.т.н., ст. преп.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. *В работе проводится сравнительный анализ двух контейнеров стандартной библиотеки C++: очереди с приоритетом priority_queue и ассоциативного контейнера multiset. Рассматриваются внутренняя реализация каждой структуры, асимптотическая сложность операций, константные факторы, влияющие на реальную производительность, а также набор возможностей, предоставляемых программисту. Выполнена оценка количества элементарных операций для вставки и извлечения минимума в среднем и в худшем случае. Показано, что при одинаковой асимптотической сложности priority_queue требует значительно меньше элементарных операций благодаря более простой внутренней организации. Сформулированы рекомендации по выбору контейнера в зависимости от требований конкретной задачи.*

Ключевые слова: структуры данных, очередь с приоритетом, двоичная куча, мультимножество, красно-черное дерево, STL.

Задача эффективного выполнения операций вставки новых элементов и извлечения минимального элемента возникает во многих областях программирования:

– в алгоритме Дейкстры поиска кратчайших путей в графе необходимо на каждом шаге извлекать вершину с наименьшей текущей оценкой расстояния из множества еще не обработанных вершин;

– планировщики задач операционных систем должны выбирать процесс с наивысшим приоритетом из множества ожидающих;

– системы массового обслуживания моделируют очереди заявок с приоритетами. Во всех этих случаях требуется структура данных, поддерживающая две ключевые операции: добавление элемента и извлечение минимума.

От выбора такой структуры напрямую зависит производительность всего алгоритма или системы. Оба рассматриваемых далее контейнера, очередь с приоритетом (далее – priority_queue) и мультимножество (далее – multiset), являются шаблонными и могут работать с произвольными типами данных, для которых определена операция сравнения. Это могут быть как встроенные числовые типы, так и пользовательские структуры или классы с перегруженным оператором < либо переданным компаратором. В общем случае сложность сравнения двух элементов зависит от конкретного типа и может быть произвольной. Однако для корректности анализа константных факторов и возможности сопоставления теоретических оценок с практическими результатами в данной работе рассматривается случай хранения элементов типа Int32, для которого операция сравнения выполняется за фиксированное малое время, которое можно считать одной элементарной операцией. Это допущение позволяет абстрагироваться от затрат на сравнение сложных объектов и сосредоточиться на анализе внутренней логики самих контейнеров.

Контейнеры стандартной библиотеки C++ предоставляют программисту набор инструментов для хранения и обработки данных. Среди них особое место занимают структуры, предназначенные для работы с упорядоченными множествами. Два контейнера – priority_queue и multiset – часто рассматриваются как взаимозаменяемые в задачах, где требуется многократно извлекать минимальный элемент. Однако при внешней схожести решаемых задач они имеют различную внутреннюю реализацию, что определяет их производительность и область применения. Цель данной работы – провести сравнение этих контейнеров, учитывая как теоретические аспекты, так и практические характеристики.

Очередь с приоритетом priority_queue является адаптером контейнера, построенным на основе двоичной кучи. По умолчанию она реализует max-heap, то есть обеспечивает доступ к наибольшему элементу, что соответствует компаратору std::less<T>. Однако для задач, требующих многократного извлечения минимального элемента, необходима конфигурация min-heap. Это достигается передачей компаратора std::greater<T> в качестве третьего шаблонного параметра: priority_queue<T, vector<T>, greater<T>>. Стандартная реализация использует в качестве нижележащего контейнера по умолчанию вектор, что обеспечивает непрерывное хранение элементов [1]. Основные операции priority_queue – вставка через push и извлечение через pop. Внутренняя логика реализована через процедуры просеивания вверх и вниз. Важной особенностью priority_queue является минималистичный интерфейс: контейнер предоставляет доступ только к верхнему элементу и не позволяет выполнять поиск произвольных элементов или итерацию по всей структуре.

Контейнер multiset реализован на основе красно-черного дерева. Документация указывает, что это сбалансированное бинарное дерево поиска, гарантирующее логарифмическую сложность основных операций [2]. Каждый элемент хранится в отдельном узле, содержащем помимо самого элемента также указатели на потомков и родителя. Multiset поддерживает полноценный итераторный интерфейс, позволяя обходить все элементы в отсортированном порядке, выполнять поиск произвольного элемента, находить диапазоны и удалять элементы по итератору.

Для количественной оценки производительности был проведен анализ количества элементарных операций, выполняемых каждой структурой при вставке и извлечении минимума. Под элементарными операциями понимаются сравнения ключей и присваивания значений – именно они составляют основную вычислительную нагрузку и позволяют сравнивать алгоритмы независимо от аппаратных особенностей [3]. Анализ выполнен как для среднего случая, так и для худшего случая, когда операции требуют максимального числа шагов.

В priority_queue операция вставки начинается с добавления элемента в конец массива, что требует одного присваивания. Затем запускается процедура просеивания вверх. На каждом шаге просеивания выполняется одно сравнение текущего элемента с родительским и, при необходимости, один обмен. Обмен через временную переменную требует трех присваиваний. Высота кучи равна логарифму числа элементов по основанию два. В среднем новый элемент поднимается примерно на половину высоты, совершая $0{,}5 \cdot \log_2(n)$ шагов. В худшем случае новый элемент поднимается на всю высоту кучи, совершая $\log_2(n)$ шагов. Таким образом, среднее количество операций для вставки составляет $1 + 4 \cdot 0{,}5 \cdot \log_2(n) = 2 \cdot \log_2(n) + 1$, а в худшем случае – $1 + 4 \cdot \log_2(n) = 4 \cdot \log_2(n) + 1$.

Операция извлечения минимума из priority_queue требует сохранения корневого элемента, перемещения последнего элемента массива в корень и запуска просеивания вниз. Сохранение и перемещение дают два присваивания. На каждом шаге просеивания вниз выполняются два сравнения для выбора наименьшего из потомков и один обмен, что составляет пять операций. Просеивание вниз всегда проходит всю высоту кучи как в среднем, так и в худшем случае, то есть $\log_2(n)$ шагов. Итоговое количество операций для извлечения минимума равно $2 + 5 \cdot \log_2(n)$ как в среднем, так и в худшем случае.

Для multiset точный подсчет операций сложнее из-за балансировки красно-черного дерева. Вставка элемента включает: поиск позиции вставки ($\log_2(n)$ сравнений), создание узла и настройку его указателей (пять присваиваний), а также балансировку, состоящую из перекрашивания узлов (до $O(\log n)$ операций) и поворотов (в среднем 1,5 поворота, каждый изменяет четыре указателя, в худшем случае – до двух поворотов). Суммируя все составляющие, получаем для среднего случая $7 \cdot \log_2(n) + 5$ элементарных операций, для худшего – $9 \cdot \log_2(n) + 5$.

Извлечение минимума из multiset требует найти крайний левый узел ($\log_2(n)$ переходов по указателям), удалить его с перешивкой указателей родителя и потомков, после чего выполнить балансировку дерева. Балансировка при удалении сложнее, чем при вставке, и может требовать в худшем случае до трех поворотов. С учетом всех фаз операции получаем для среднего случая $7 \cdot \log_2(n) + 5$ элементарных действий, для худшего – $9 \cdot \log_2(n) + 5$.

Проведенный анализ позволяет получить точные количественные оценки количества элементарных операций для каждой структуры. Полученные результаты занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Количество элементарных операций

Контейнер	Операция	Средний случай	Худший случай
priority_queue	Вставка	$2 \cdot \log_2(n) + 1$	$4 \cdot \log_2(n) + 1$
priority_queue	Извлечение минимума	$5 \cdot \log_2(n) + 2$	$5 \cdot \log_2(n) + 2$
multiset	Вставка	$7 \cdot \log_2(n) + 5$	$9 \cdot \log_2(n) + 5$
multiset	Извлечение минимума	$7 \cdot \log_2(n) + 5$	$9 \cdot \log_2(n) + 5$

Анализ формул показывает, что при одинаковой асимптотической сложности $O(\log n)$ константные множители у priority_queue существенно ниже. Количество элементарных операций при вставке в priority_queue в среднем случае составляет $2 \cdot \log_2(n) + 1$ против $7 \cdot \log_2(n) + 5$ у multiset, то есть более чем в три раза меньше. В худшем случае разница составляет $4 \cdot \log_2(n) + 1$ против $9 \cdot \log_2(n) + 5$, что более чем в два раза меньше. Для операции извлечения минимума priority_queue требует $5 \cdot \log_2(n) + 2$ операций против $7 \cdot \log_2(n) + 5$ у multiset – примерно в полтора раза меньше как в среднем, так и в худшем случае. Это объясняется более простой внутренней организацией кучи по сравнению со сбалансированным деревом: куча не требует хранения и поддержки множественных указателей между узлами, а операции просеивания работают с непрерывным массивом, обеспечивая лучшую локальность данных и эффективное использование кэш-памяти. Кроме того, в отличие от multiset, операция извлечения минимума из priority_queue имеет одинаковую сложность в среднем и худшем случае, что важно для систем с детерминированными требованиями.

Однако производительность не является единственным критерием. Multiset предоставляет возможности, недоступные в priority_queue: поиск произвольного элемента за логарифмическое время, удаление элементов, не являющихся минимумом, итерацию по всем элементам в отсортированном порядке, поиск нижних и верхних границ, а также поддержку хранения нескольких элементов с одинаковым ключом. Priority_queue ориентирован исключительно на эффективное выполнение двух операций и не поддерживает перечисленные возможности.

Таким образом, для задач, требующих только вставки и извлечения минимума, таких как алгоритм Дейкстры или планировщик задач, оптимальным выбором является priority_queue. Если же в программе необходимы дополнительные операции над множеством, следует выбирать multiset, понимая, что универсальность достигается ценой снижения производительности на основных операциях.

Список использованных источников

1. std::priority_queue // cppreference.com : [site]. – URL: https://en.cppreference.com/w/cpp/container/priority_queue (date of access: 17.02.2026). – Text : electronic.
2. std::multiset // cppreference.com : [site]. – URL: https://en.cppreference.com/w/cpp/container/multiset (date of access: 17.02.2026). – Text : electronic.
3. Кормен, Т. Алгоритмы. Построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. – 3-е изд. – Москва : Вильямс, 2013. – 1328 с.

УДК 004.77+004.05

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРОТОКОЛА ACTIVITYPUB В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

Середа И. С., студ., Тимошек Е. С., бак., Скиба И. Г., асс.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. *Рассмотрены недостатки текущей реализации протокола ActivityPub в контексте реализации децентрализованной социальной сети. Выделены несовершенства и предложены варианты для улучшения будущих версий протокола.*

Ключевые слова: децентрализованные социальные сети, протоколы, ActivityPub.

Децентрализованные социальные сети набирают все большую популярность среди пользователей. Среди подобных сетей наибольший интерес среди пользователей получил Mastodon. По своей архитектуре это сеть с федеративным контролем, где множество независимых серверов работают на уровнях клиент–сервер и сервер–сервер, обеспечивая синхронизацию данных и действий между доступными им серверами. Основой данной социальной сети является протокол ActivityPub, описывающий принципы обмена сообщениями между всеми участниками сети. В то время как данный протокол продемонстрировал наличие достаточного функционала для систем подобного вида, за время его применения был выявлен ряд недостатков его текущей реализации. В данной работе будет рассмотрена практичность применения протокола ActivityPub для разработки новых социальных сетей с децентрализованной структурой. Помимо этого, будут проанализированы главные недостатки текущей реализации протокола и предложены варианты их решения.

Протокол ActivityPub был опубликован World Wide Web Consortium в январе 2018 года. Данный протокол закрепляет набор структур и функций, которые позволяют реализовать взаимодействия типа клиент–сервер и сервер–сервер. Протокол определяет сущность объекта (object), обладающего уникальным id и типом. Объекты, участвующие в управлении активностями называются актеры (actors). Актеры имеют списки подписанных и отслеживаемых актеров, а также два контейнера: для входящей информации (inbox) и исходящей информации (outbox). Для взаимодействия с другими актерами создаются особые объекты активностей (activity), которые определяют различные действия, производимые над передаваемыми объектами. При получении новой активности в свой inbox, актер должен распознавать требуемое от него действие и создавать новые активности в зависимости от полученной. При создании новой активности актер помещает ее в outbox, после чего другие актеры могут получить данную активность и продолжить цепочку запросов [1].

Одна из главных целей разработки протокола ActivityPub – реализация достаточно гибкой системы, благодаря которой различные приложения в одной сети (общая сеть приложений, использующих протокол ActivityPub, называется Fediverse) могут обмениваться друг с другом активностями. Протокол также поддерживает возможности дополнения новыми типами, которые позволяют расширить функционал в рамках отдельного приложения.

В то время как идея общего протокола для социальных приложений является крайне интересной, на практике возникает множество затруднений для разработки систем социального взаимодействия. Одной из главных проблем ActivityPub остается его слабая определенность в стандарте, из-за чего появляются случаи с неопределенным поведением. Каждое приложение, работающее с протоколом, может по своему решить данную проблему, приводя к случаям, в которых различные узлы сети должны делать предположения о работе смежных узлов без гарантий на подтверждение данных предположений. Среди подобных неоднозначностей можно выделить:

– Неопределенный тип данных для каждого поля. Нет четкой регламентации ожидаемых типов данных по многим полям. Некоторые поля могут принимать значения в виде списка либо в виде скалярных значений [2].

– Сценарии взаимодействия и типы активностей. ActivityPub определяет лишь узкий

набор активностей, которые могут быть дополнены приложениями. Это создает набор проприетарных объектов и активностей, которые вносят еще больше неоднозначностей в поведение общей системы. Хоть в рамках работы одного приложения это и не играет роли, но использование не строго определенного протокола усложняет разработку. Также нет строго определенных сценариев поведения при получении или отправке определенных активностей, из-за чего каждая реализация способна делать свою интерпретацию ожидаемого поведения, тем самым порождая еще больше неоднозначности в системе.

– Слабая приватность. Протокол ActivityPub не в праве определить доступ серверов друг к другу, из-за чего активности могут быть видны всеми серверами, получившими доступ к outbox выбранного сервера.

– Отсутствие строгой синхронизации и алгоритма рейтинга. В сценариях, когда, например, происходит запрос на обновление данных в системе, у отдельных серверов сети нет обязанности выполнить данный запрос [3]. Это может препятствовать распространению информации в системе и способствовать ухудшению пользовательского опыта. Помимо этого протокол не предлагает варианта алгоритма для вычисления рейтинга доверия отношений между серверами [4].

– Слабая защищенность данных. В стандарте определены лишь возможности авторизации и аутентификации через OAuth 2.0, но не закреплены способы сокрытия данных от нежелательных пользователей путем криптографического или иного механизма защиты.

Для избежания проблем при разработке децентрализованных социальных сетей хорошей идеей будет детализация протокола для использования в узких целях. Хоть это и идет против идеи ActivityPub (различные приложения могут взаимодействовать друг с другом посредством единого протокола), при анализе существующих приложений на базе данного протокола не было выявлено причин интеграции других приложений в общую сеть. Такое расширение протокола приблизит его к протоколу Diaspora*, работающего по схожему принципу, но более строго определяющего методы взаимодействия и типы данных в системе. Diaspora* все еще не обладает полной защищенностью и имеет аналогичные с ActivityPub недостатки, тем не менее стандартизированный функционал способствует стабильности работы, упрощению разработки и поддержки социальных сетей на основе протокола Diaspora*.

В связи с вышеописанными проблемами, предлагается дополнить протокол ActivityPub или разработать его обновленную версию, обладающую следующими элементами:

– Явно определить взаимодействие активностей между собой для избежания неоднозначного поведения системы. Определить все типы данных и соответствующие им значения.

– Дополнить стандарт механизмами отправки защищенных сообщений, наполнение которых может быть недоступно произвольным и потенциально вредоносным актерам сети.

– Разработать алгоритм рейтинга для актеров с целью повышения надежности сети.

Данные расширения усложняют структуру протокола и, как следствие, разработку систем с его применением. Однако, повышенные требования к системе и разработчику повышают общий уровень проработанности итогового продукта. Несмотря на несовершенство протокола, его гибкая структура позволяет разработать расширение, предоставляющее недостающие возможности для разработки современных децентрализованных социальных сетей. В частности требуется доопределить строгие типы данных и их взаимодействие для системы, механизм подтверждения надежности узла, инструменты для защиты передаваемых данных. Подобная разработка эффективна для данной области применения, так как позволяет создать надежную систему на основе уже показавшего себя решения, вместо теоретизации решения с нуля.

Таким образом, в данной работе были рассмотрены положительные и отрицательные стороны протокола ActivityPub и предложены варианты улучшения протокола для применения в разработке децентрализованных социальных сетей. В будущих исследования можно рассмотреть проблемы реализации предложенных требований и рассмотреть практичность перехода от слабо определенного протокола ActivityPub к его более конкретной реализации в рамках общей сети Fediverse.

Список использованных источников

1. ActivityPub // W3C Community Group : [site]. – 2024. – URL: https://w3c.github.io/activitypub/ (date of access: 11.02.2026). – Text : electronic.

2. Exploring ActivityPub/ActivityStreams // Tim's Blog : [site]. – 2024. – URL: https://blog.thechases.com/posts/activitypub-activitystreams/ (date of access: 11.02.2026). – Text : electronic.
3. Lisker, M. Data Ethics in the Fediverse: Analyzing the Role of Instance Policies in Mastodon Research / M. Lisker, H. Mihaljević // arXiv.org : [site]. – 2025. – URL: https://arxiv.org/abs/2505.07606 (date of access: 11.02.2026). – Text : electronic.
4. Wang, Y. Trust and reputation management in decentralized systems / Y. Wang. – Saskatoon : University of Saskatchewan, 2010. – 141 p.

УДК 37.017:004.056.53:342.7(476)

ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ОБЛАСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ УЧАСТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Невдах А. С., студ., Михайлова Н. А., ст. преп.
Белорусский государственный экономический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье анализируются проблемы формирования культуры информационной безопасности у студентов и преподавателей высших учебных заведений Беларуси в контексте действия закона № 99-З «О защите персональных данных». Представлены результаты социологического опроса, проведенного в БГЭУ, которые выявили низкий уровень правовой осведомленности участников образовательного процесса (48,6 % не знакомы с законом) и распространенность нарушений конфиденциальности через неофициальные цифровые каналы. Обоснована необходимость внедрения интерактивных методов обучения.*

Ключевые слова: персональные данные, информационная безопасность, образовательный процесс, цифровая грамотность.

В условиях стремительной цифровизации высшего образования вопросы защиты информации выходят на первый план. Ежедневно в университетах обрабатываются огромные массивы персональных данных студентов, преподавателей и администрации. Принятие закона Республики Беларусь от 7 мая 2021 г. № 99-З «О защите персональных данных» стало шагом в регулировании этой сферы с точки зрения права. Однако наличие нормативно-правовой базы само по себе не гарантирует ее эффективного применения без формирования культуры информационной безопасности у всех участников образовательного процесса.

Для выявления фактического уровня культуры информационной безопасности обучающихся был проведен опрос среди студентов и преподавателей Белорусского государственного экономического университета. Основным индикатором уровня стал вопрос: «Знаете ли вы, что в Республике Беларусь действует закон № 99-З «О защите персональных данных». Результаты выявили проблему: 51,4 % респондентов ответили утвердительно, в то время как 48,6 % признались, что не осведомлены о действии данного закона и его содержании.

При этом ответы на опрос позволили выявить неравномерность знаний в области права. С одной стороны, большинство опрошенных (94,3 %) верно понимают, что университет обязан информировать их о целях сбора и сроках хранения данных. С другой стороны, фиксируется существенный пробел в понимании механизмов передачи информации.

– На вопрос о том, имеет ли университет право передавать личные данные (например, успеваемость) третьим лицам без согласия, лишь 54,3 % ответили верно («Ложь»). Значительная часть опрошенных либо затруднилась ответить (25,7 %), либо ошибочно считает это законным (20 %).

– Схожая ситуация наблюдается в рамках взаимодействия внутри студенческих групп: только 57,1 % респондентов знают, что староста не имеет права публиковать списки с оценками в общем чате без согласия студентов (31,4 % не знают правильного ответа, 11,4 % считают данные действия допустимыми).

Пробелы находят отражение в повседневной практике студентов. Полученные данные свидетельствуют о регулярных нарушениях принципов конфиденциальности. Более 85 % респондентов сталкивались с просьбами предоставить личную информацию (справки, контакты) через неофициальные каналы, такие как мессенджеры или личные почты преподавателей (40,4 % сталкиваются с этим «иногда», 14,3 % – «часто»). Лишь 14,3 % заявили, что никогда не передавали данные подобным образом. Публикация оценок и рейтингов в открытом доступе без анонимизации также остается распространенной практикой. С этим явлением «иногда» сталкиваются 42,9 % опрошенных, а «часто» – 8,6 %. Среди профессорско-преподавательского состава (выступившего отдельной категорией респондентов) мнения о необходимости обязательного обучения по вопросам защиты персональных данных разделились поровну (50 % на 50 %). При этом 14,3 % опрошенных преподавателей признались, что им приходилось делиться чужими персональными данными по просьбе коллег или администрации. Согласно результатам опроса, 35 % студентов выразили готовность уделить особое внимание изучению вопросов защиты персональных данных в рамках учебной программы. Включение данной темы в обучение позволило бы будущим специалистам свести к минимуму правовые и репутационные риски в их дальнейшей деятельности.

Полученные данные свидетельствуют о том, что практически половина участников образовательного процесса не обладает базовой правовой грамотностью для безопасной интеграции в социальные практики современного общества. Это создает риски: от неосознанной передачи личной информации третьим лицам до нарушений при сборе данных для учебных или организационных нужд.

Классические методы информирования (лекции, стенды) часто оказываются недостаточно эффективными. Для достаточного формирования культуры информационной безопасности необходим переход к интерактивным и прикладным форматам. В качестве практического решения можно предложить внедрение ситуационных карточек с разбором типичных ситуаций (например, «Можно ли публиковать списки группы с оценками в открытом доступе?») с готовыми правовыми решениями.

Стоит отметить, что данный формат уже реализован в онлайн-режиме. Разработан интерактивный информационный портал EduSafe (edusafe.site). В скором времени данная платформа будет внедрена в образовательный процесс БГЭУ, и на ее основе планируется проведение дальнейшего масштабного исследования для оценки результативности применения интерактивных методов в повышении правовой грамотности.

Результаты проведенного в БГЭУ опроса демонстрируют, что правовая грамотность в области персональных данных требует целенаправленного развития. Значительный уровень незнания специализированного закона и постоянные случаи нарушений конфиденциальности свидетельствуют о необходимости интеграции тем информационной безопасности в учебные проекты студентов и образовательную практику преподавателей. Использование цифровых интерактивных форматов просвещения, таких как портал EduSafe, позволит трансформировать формальное знание законов в устойчивую культуру бережного и ответственного отношения к персональным данным.

Список использованных источников

1. Кодекс Республики Беларусь об образовании : 13 января 2011 г. № 243-З : принят Палатой представителей 2 декабря 2010 г. : одобрен Советом Республики 22 декабря 2010 г. : с изм. и доп. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk1100243 (дата обращения: 08.03.2026). – Текст : электронный.
2. О защите персональных данных : Закон Республики Беларусь от 7 мая 2021 г. № 99-З : с изм. и доп. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12100099 (дата обращения: 08.03.2026). – Текст : электронный.

3. О применении Закона Республики Беларусь от 7 мая 2021 г. № 99-З «О защите персональных данных» : письмо Национального центра защиты персональных данных Республики Беларусь от 17 марта 2023 г. № 5-13/93 // Национальный центр защиты персональных данных Республики Беларусь. – URL: https://cpd.by/storage/2025/01/12-Rekomendacii-o-primenenii-o-zashhite-personalnyh-dannyh-v-sfere-obrazovanija-2023-g.pdf (дата обращения: 08.03.2026). – Текст : электронный.
4. Разъяснения о применении законодательства о персональных данных в деятельности учреждений дошкольного, общего среднего и специального образования : Национальный центр защиты персональных данных Республики Беларусь от 21 ноября 2025 г. № 5-5/760 // Национальный центр защиты персональных данных Республики Беларусь. – URL: https://cpd.by/storage/2025/11/Razjasnenija-o-primenenii-ZPD-v-dejatelnosti-USO-i-UDO-21.11.2025.pdf (дата обращения: 08.03.2026). – Текст : электронный.
5. Разъяснения о применении законодательства о персональных данных в деятельности учреждений среднего специального и высшего образования : Национальный центр защиты персональных данных Республики Беларусь от 16 июля 2024 г. № 5-5/395 // Национальный центр защиты персональных данных Республики Беларусь. – URL: https://cpd.by/storage/2025/01/15-Razjasnenija-o-primenenii-ZPD-v-dejatelnosti-USSO-i-UVO-1.pdf (дата обращения: 08.03.2026). – Текст : электронный.

УДК 339.54

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТАМОЖЕННЫХ ОРГАНОВ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Сигейкина В. О., студ., Ковалевская А. Д., студ., Мазаник Ю. М., к.э.н., доц.
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. *В данной статье рассматриваются практические результаты внедрения передовых цифровых технологий в деятельность таможенных органов Китая, Южной Кореи и Японии. Рассматриваются концептуальные подходы («Умная таможня», платформа UNI-PASS, сервис Visit Japan Web), ключевые технологические решения (искусственный интеллект, интернет вещей, анализ больших данных) и их влияние на эффективность контроля. В условиях стремительного роста объемов международной торговли и трансграничной электронной коммерции цифровая трансформация таможенных органов становится важным фактором обеспечения экономической безопасности и ускорения товаропотоков.*

Ключевые слова: цифровая трансформация, таможенные органы, искусственный интеллект, «Умная таможня», UNI-PASS, Visit Japan Web.

Современный этап развития мировой экономики характеризуется тотальной цифровизацией всех сфер государственного управления, и таможенное администрирование не является исключением [1]. Внедрение современных цифровых и информационных технологий позволяет значительно упростить совершаемые таможенные операции, минимизировать влияние человеческого фактора и повысить скорость обработки грузов и пассажиропотоков. Особый интерес представляет опыт стран Азиатско-Тихоокеанского региона – Китая, Южной Кореи и Японии, которые демонстрируют различные, но в равной степени успешные подходы к построению «таможни будущего».

Китайская модель цифровой трансформации базируется на инициативе «Smart Customs, Smart Borders, Smart Connectivity» (3S), запущенной в 2021 году [2]. Эта концепция направлена на продвижение институциональных инноваций и внедрение киберфизических систем. Основной упор делается на аппаратное оснащение и интеграцию физического контроля с

искусственным интеллектом [3].

Ключевые технологические решения:

1. Интеллектуальные пункты пропуска. Внедрение рентгеновских установок с машинным обучением (платформа ICI) позволяет системе распознавать содержимое грузов за 10 секунд, что вывело до 50 % операций из-под прямого контроля инспектора. Для борьбы с нарушениями разработано более 35 моделей анализа данных [3].

2. Носимые устройства. Применение «умных очков» с технологией дополненной реальности для инспекторов. Устройство переводит иностранные этикетки и проверяет страну происхождения товара за 10 секунд, сокращая время оформления на 30 % [4].

3. Системы для пассажиров и транзита. Внедрение «умного пассажирского контроля» с роботами и сканерами (98 % путешественников проходят контроль за 5 минут), а также использование электронных навигационных пломб (E-lock) для отслеживания транзитных грузов в реальном времени. [4].

Китайская таможня активно использует 5G, большие данные и AI для реконструкции системы управления рисками, переходя от реактивного контроля к предиктивному управлению [3].

Южная Корея демонстрирует модель, ориентированную на совершенствование программного обеспечения и аналитических возможностей. Основой цифровой трансформации является национальная система UNI-PASS – электронная система таможенного оформления третьего поколения, которая сегодня трансформируется в платформу на базе искусственного интеллекта (четвертое поколение «умной» системы) [5].

Основные преимущества:

1. Эффективность «Единого окна». UNI-PASS объединяет в одной сети 260 000 интернет-магазинов и 71 связанную организацию (банки, перевозчики, госорганы). Это позволяет сократить время оформления сделки с одного дня до двух минут, а возврат налогов – с двух дней до 3–5 часов. Экономия на логистических издержках составляет около 20 трлн долларов в год [5].

2. Интеллектуальный анализ рисков. В ответ на рост электронной коммерции (с 63 до 180 млн отправлений) таможня внедрила 11 специализированных моделей искусственного интеллекта. Система сократила время анализа рисков с одного часа до одной минуты, обеспечив ежегодную экономию в 125,7 млрд вон. Результатом стало увеличение изъятий наркотиков в 3,2 раза [6].

3. Экспортный потенциал. UNI-PASS, соответствующий международным стандартам ВТО и ООН, стал успешным экспортным продуктом. Система была экспортирована в Казахстан (2005 г.), Эквадор, Монголию, Танзанию, Камерун (крупнейший контракт на 240 млн долларов с включением сервисного обслуживания на 12 лет) и другие страны, принеся сотни миллионов долларов дохода [5].

Японская модель цифровой трансформации фокусируется на улучшении пользовательского опыта (customer journey) и межведомственной координации. Ключевым проектом стала платформа Visit Japan Web, объединившая иммиграционные и таможенные процедуры для путешественников [8].

В 2024 году произошла унификация иммиграционного и таможенного контроля через внедрение «совместных киосков» (Joint Kiosks) [7]. Данные пассажира, введенные один раз в онлайн-форме, автоматически передаются обеим службам, что устраняет дублирование информации и минимизирует время прохождения контроля. Эта система полностью ориентирована на пользователя: она позволяет пассажирам заранее зарегистрировать данные, получить QR-код и пройти все этапы контроля (в аэропортах Ханеда, Нарита, Кансай) с помощью автоматов самообслуживания, что позволило сократить время ожидания минимум на 20 минут [3]. Кроме того, модель отличается постоянным совершенствованием: анализ запросов пользователей и чат-ботов позволяет в реальном времени улучшать интерфейсы и добавлять новые языки. Успех японской модели привлек внимание международных организаций (UNDP), и теперь опыт Японии передается Вьетнаму, Камбодже и Фиджи [6].

Таким образом, на основе изучения опыта рассмотренных выше стран можно выделить три различные модели цифровизации: технологически-аппаратная (Китай), аналитически-платформенная (Корея) и сервис-ориентированная (Япония). Изучение зарубежного опыта цифровой трансформации деятельности таможенных органов позволит рассмотреть

возможность адаптации лучших практик для совершенствования таможенных процессов в других странах, в частности, в Республике Беларусь [1]. Китай реализует комплексную стратегию «Умная таможня, умные границы, умное взаимодействие» (3S), основанную на интеграции физической инфраструктуры и искусственного интеллекта. Южная Корея создала экспортоориентированную платформу UNI-PASS с передовыми аналитическими возможностями на базе искусственного интеллекта. Япония выбрала сервис-ориентированную модель цифровизации, фокусируясь на улучшении пользовательского опыта и межведомственной координации через платформу Visit Japan Web. Общим трендом для всех трех стран является переход от реактивного контроля к предиктивному управлению рисками на основе больших данных и искусственного интеллекта [3].

Список использованных источников

1. Бойкова, М. В. Зарубежный опыт таможенного администрирования: монография. – М.: – 135 с. – URL: https://xn--80aeiti0ahp.xn--p1ai/wp-content/uploads/2018/03/%D0%97%D0%9E%D0%A2%D0%90_%D0%91%D0%BE%D0%B9%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82.pdf?ysclid=mmga5dgesn1984584656 (дата обращения: 06.03.2026). – Текст : электронный.
2. Concept Note on The Smart Customs, Borders and Smart Connectivity Cooperation. – URL: https://www.fmprc.gov.cn/eng/zy/jj/2030kcxfzyc/202209/P020220928605383850563.pdf7/ (date of access: 06.03.2026). – Text : electronic.
3. Отчет об исследовании ВТО по разрушительным технологиям. Проект Smart Customs (CCF-China). – URL: https://customs-academy.net/?p=16121&ysclid=mmga2yc4p4147740067/ (дата обращения: 06.03.2026). – Текст : электронный.
4. General Administration of Customs of the People's Republic of China. – URL: http://www.customs.gov.cn/ (date of access: 06.03.2026). – Text : electronic.
5. Korea Customs Service. – URL: https://www.customs.go.kr// (date of access: 06.03.2026). – Text : electronic.
6. Smart Customs, Smart Borders and Smart Connectivity: World Customs Organization. – URL: https://clikc.wcoomd.org/mod/page/view.php?id=37649/ (date of access: 06.03.2026). – Text : electronic.
7. Japan Speeds Up Immigration With New One-Stop Entry Gates At Major Airports: – URL: https://www.travelandleisureasia.com/my/news/japan-speeds-up-immigration-checks-with-joint-kiosks-at-tokyo-osaka// (date of access: 06.03.2026). – Text : electronic.
8. Visit Japan Web. – URL: https://vjw-lp.digital.go.jp/en/ (date of access: 06.03.2026). – Text : electronic.

УДК 338.48: 004

КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АССИСТЕНТА РЕГИОНАЛЬНОГО ТУРИЗМА НА ОСНОВЕ МЕССЕНДЖЕРА, БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ И ВЕКТОРНЫХ БАЗ ДАННЫХ

Карпович А. О., вып., Янкевич Е. М., к.э.н., доц.
Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *Согласно утвержденной Государственной программе «Туризм» на пятилетку 2026–2030 годов, расширенное создание и использование цифровых платформ для туристической деятельности остается одним из приоритетных направлений государственного регулирования и управления, особенно на региональном уровне [1]. В статье обоснована важность применения интеллектуального ассистента для национального туризма как для граждан Беларуси, так и для иностранцев, а также описана архитектура и логика работы этого помощника. Концепция, полученная в результате*

исследования, может быть реализована в качестве готового программного продукта и интегрирована в туристическую индустрию Республики Беларусь.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровизация, региональный туризм, туристическая индустрия, язык программирования Python; технологии LLM, NLP, RAG, ASR.

В настоящее время происходит активное внедрение в существующие программные продукты и информационные системы субъектов хозяйствования интеллектуальных модулей, основными задачами которых является интерпретация неструктурированных данных в режиме реального времени, а также предоставление экспертных решений на основе технологий глубокого обучения и векторного поиска информации. Такие интеллектуальные средства особенно хороши тем, что помогают пользователю сэкономить время на поиск, сбор и анализ информации, которая чаще всего находится на различных информационных ресурсах, подготовив развернутый и персонализированный ответ на вопрос за считанные секунды, «заданный» им на естественном языке (речью, текстом, изображением). Имеющиеся в Республике Беларусь программные продукты туристической индустрии пока не располагают такими средствами, что подчеркивает актуальность исследования и дальнейшее воплощение заложенного, в результате его, прототипа интеллектуального помощника в сферу регионального туризма [2].

Целью исследования определим выявление предпосылок для создания и определение на основе этого архитектуры полноценного программного продукта, характерной чертой которого является новизна для белорусского туризма, а также его доступность и простота использования рядовым пользователем [3].

Исследование, проведенное нами на примере Витебской области, показало, что действующие в регионе информационные ресурсы сферы туризма, отличающиеся своим разнообразием, наполнены не всегда актуальной информацией, а зачастую, некоторые из них, непонятны для пользователя, так как информация находится на разных страницах сайта под нетривиальными названиями. В свою очередь те, которые максимально отвечают потребностям туриста, например, www.tripadvisor.ru, к сожалению, являются иностранными.

Вместе с тем, при применении технологий искусственного интеллекта (ИИ) важным является достижение точности ответа за счет минимизации «галлюцинаций» больших языковых моделей (англ. LLM – large language model). Это критически важно при предоставлении туристу актуальных, точных сведений о местной событийной повестке, ради которой он приехал; о графиках работы объектов питания, учреждений культуры и о проводимых ими мероприятиях; а также для составления оптимального маршрута передвижения по местности и ознакомления с расписанием общественного транспорта для этих целей. Под «галлюцинациями», обозначенными в предыдущем предложении мы понимаем ложные или вымышленные утверждения, которые применяемая ИИ-модель генерирует с высокой уверенностью (вероятностью) [4]. Их примером может служить попытка получения информации о маршруте передвижения туриста от городской Ратуши до одного из торговых центров Витебска, у встроенной в браузер Google интеллектуальной функции – «Режима ИИ». Ответ нейросети в этом случае будет порожден немалым количеством «галлюцинаций»: ошибки в перечислении номеров троллейбусов и автобусов, следуемых до пункта назначения, неправильное построение пешего маршрута, путаница в названиях улиц. Чтобы избежать таких ситуаций, текущую или другую имеющуюся нейросеть следует переобучить на основе новых данных в структурированной или неструктурированной форме (актуальной информации), то есть настроить ее локально – заставить действовать в соответствии с информацией конкретного окружения и под конкретные данные, с одной стороны. С другой стороны, пользователь, говорящий на русском или на другом распространенном иностранном языке, находясь в любой точке своего туристического маршрута, должен иметь возможность на основе актуальной информации и в зависимости от текущих погодных условий, времени суток, финансовых и личных предпочтений, не устанавливая стороннее программное обеспечение, не используя поиск в браузере, получить ответ на свой запрос через чат-бот мессенджера Telegram. Все это послужило основной целью создания нового программного продукта, что в очередной раз подчеркивает важность нашего прототипа ИИ-ассистента для белорусского туризма.

Техническая реализация проекта включает в себя использование многоуровневой

архитектуры, объединяющей современные методы обработки естественного языка (NLP), речевые технологии и системы управления векторными базами данных. Перейдем к перечислению основных компонентов системы, лежащих в её основе.

Поскольку написание своей собственной нейросети очень долгий и технологически сложный процесс, то для создания своего интеллектуального помощника мы воспользуемся уже существующей большой языковой моделью LLM – DeepSeek, которая отличается самой низкой (почти бесплатной) стоимостью использования своих ресурсов. В отличие от жестко запрограммированных алгоритмов LLM способна интерпретировать сложные запросы на естественном языке, учитывать контекст диалога и генерировать связные ответы. Под контекстом понимается дополнительная информация, которая помогает нейросети дать предметное и актуальное решение [5].

Язык программирования Python определим в роли «посредника» для программирования интерфейса взаимодействия между: пользователем Telegram и нейросетью на базе встроенных библиотек; нейросетью с данными, задающими ей контекст. Бесплатная облачная среда разработки Google Colab, предоставляет большие возможности для разработки, взаимодействия с векторной базой данных, не используя, при этом, для создания, отладки и функционирования нашего ассистента аппаратное обеспечение своего компьютера [3; 6].

Проблему ограниченности знаний нейросети DeepSeek решим технологией RAG (Retrieval-Augmented Generation – генерация с привлечением внешних данных). Для ее реализации важно разработать модуль динамического сбора данных с помощью библиотек BeautifulSoup4 и Requests языка программирования Python. Задачей данного компонента является осуществление периодического (согласно заданному расписанию) «мониторинга» веб-ресурсов сферы туризма и государственного управления (сайтов исполкомов, расписаний общественного транспорта, исторических справок) – автоматического извлечения неструктурированного текста, который затем индексируется в векторной базе данных для актуализации знаний интеллектуального ассистента за счет извлечения актуальной информации и передачи её в LLM в качестве заданного контекста. Применяемая для этого база данных ChromaDB выступает хранилищем, в котором полученные неструктурированные данные хранятся в виде числовых векторов. Это позволяет системе выполнять семантический поиск, то есть находить ответы не по ключевым словам, а по смыслу запроса пользователя.

В качестве модели автоматического распознавания речи (ASR) – воспользуемся моделью машинного обучения Whisper, преобразующей голосовые сообщения пользователей в текст. Благодаря обучению на огромных массивах данных, названная нейросеть с высокой точностью распознает различные языки и специфический акцент, что делает нашего интеллектуального ассистента доступным для иностранных туристов без необходимости использования переводчика: работа только через голосовые сообщения мессенджера.

Алгоритм обработки пользовательского запроса включает в себя несколько этапов. На первом этапе пользователь отправляет голосовое сообщение или текст в Telegram-бот. При получении аудиофайла (.ogg) система инициирует процесс конвертации в формат .wav для обеспечения совместимости с акустической нейросетевой моделью Whisper, которая выполняет дешифровку аудиосигнала: то есть на ее выходе формируется текстовая строка на исходном языке пользователя (например, китайском или русском), которая сохраняет семантическую целостность запроса. Далее полученный текст преобразуется в вектор и сопоставляется с массивом данных в ChromaDB. Оттуда система извлекает от 3 до 5 наиболее релевантных текстовых блоков и параллельно обращается вначале к API Telegram для получения текущих координат пользователя, а затем – к API метеослужбы для получения данных о погодных условиях в локации пользователя, которые объединяются с результатами поиска из базы знаний. Данные о погоде важны для того, чтобы подобрать маршрут перемещения туриста: пеший, на такси или общественным транспортом. После этого формируется расширенный запрос для модели DeepSeek-Chat, включающий системную роль, например – «Ты гид по Витебску», релевантные извлеченные факты из базы знаний, метеосводку и сам запрос от пользователя. После чего LLM DeepSeek-Chat анализирует полученные данные, строит логическую цепочку и генерирует окончательный ответ, который посредством API отправляется пользователю в мессенджер в текстовом виде. По ходу продолжения диалога на основе ранних обращений (контекстного окна) последующие ответы пользователю будут персонализированы [6; 7].

Таким образом, в ходе исследования спроектирована и апробирована архитектура

персонального интеллектуального ассистента, основанная на применении больших языковых моделей. Внедрение подобного решения в инфраструктуру регионального туризма Витебской области позволяет преодолеть ограничения рядовых информационных ресурсов, порталов и иных веб-сервисов, иначе говоря, преодолеть своеобразную «информационную изолированность» и склонность к генерации недостоверных данных имеющимися неадаптированными под региональные особенности нейросетями. Разработанный нами прототип чат-бота Telegram обладает высокой степенью масштабируемости. Дальнейшее развитие проекта предполагает расширение используемых источников данных всех регионов Республики Беларусь, создание единого национального туристического «векторного хранилища» и внедрение функций дополненной реальности для визуализации исторических объектов. Таким образом, предложенный подход открывает новые возможности для цифровизации туристической отрасли, делая путешествия по нашей стране более технологичными, персонализированными и безопасными.

Список использованных источников

1. О Государственной программе «Туризм» на 2026–2030 годы. Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 30 декабря 2025 г., № 797 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600235&p1=1. (дата обращения: 25.02.2026). – Текст : электронный.
2. Янкевич, Е.М. Оценка социально-экономических эффектов функционирования региональной туристической дестинации: монография / Е. М. Янкевич. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2024. – 251 с.
3. Янкевич, Е. М., Карпович, А. О. Оценка совокупного потока посетителей региональной туристической дестинации посредством использования языка программирования Python / Е. М. Янкевич, А. О. Карпович // Право. Экономика. Психология. – 2022. – № 4(28). – С. 53 – 63.
4. FActScore-turbo: инструмент для верификации фактов. – URL: https://habr.com/ru/companies/vk/articles/919852/. (дата обращения: 27.02.2026). – Текст : электронный.
5. Как научиться работать с нейросетью с нуля и писать промты правильно по формуле. – URL: https://shard-copywriting.ru/how-to-write-prompt-for-ai/. (дата обращения: 27.02.2026). – Текст : электронный.
6. Казанцев Т. Искусственный интеллект и Машинное обучение. Основы программирования на Python / Т. Казанцев. — «ЛитРес:Самиздат», 2020. – 123 с.
7. Таулли Т. Основы искусственного интеллекта: нетехническое введение: пер. с англ. / Т. Таулли. – СПб.: БХВ-Петербург, 2021. – 288 с.

УДК 004.65:004.93

СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ И РАЗРЕЗЫ ГРАФОВ ДЛЯ ШАРДИРОВАНИЯ И РЕПЛИКАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ

Проскочилов М. Д., студ., Токарь Г. М., студ., Мацуганова М. Д., преп. ст.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматривается применение спектральной кластеризации и методов разреза графов к решению задачи шардирования и репликации данных в распределённых системах управления базами данных. Описывается построение графа связности данных, вычисление собственных векторов матрицы Лапласа и использование вектора Фидлера для разделения графа на связные кластеры. Приводится схема*

размещения первичных и резервных копий данных, а также сравнительная оценка спектрального подхода и традиционного хэш-шардирования.

Ключевые слова: спектральная кластеризация, разрезы графов, шардирование, репликация, распределённые базы данных, матрица Лапласа, вектор Фидлера.

Рост объёмов обрабатываемых данных и требований к доступности сервисов приводит к необходимости горизонтального масштабирования систем управления базами данных. Ключевым механизмом такого масштабирования является шардирование – распределение записей по нескольким независимым узлам. Традиционные способы, основанные на хэшировании ключа, обеспечивают равномерность заполнения, однако полностью игнорируют семантические связи между записями: записи, которые регулярно обрабатываются в рамках одной транзакции, могут оказаться на разных узлах, что вызывает межшардовые соединения и дополнительные сетевые задержки.

Эффективность шардирования в значительной степени определяется тем, насколько часто данные, используемые совместно, размещаются в одном шарде. Для описания взаимосвязей данных удобно использовать взвешенный граф, вершины которого соответствуют записям, а веса рёбер отражают частоту совместного обращения к записям в запросах и транзакциях. Тогда задача оптимального шардирования сводится к разрезанию графа на подмножества приблизительно равного размера таким образом, чтобы суммарный вес разрезанных рёбер был минимален. Такая постановка соответствует классической задаче минимизации разреза графа (graph cut), которая для трёх и более частей является NP-полной и решается приближённо.

Один из эффективных подходов к приближённому решению задачи разреза графа основан на спектральной кластеризации. Для взвешенного графа строится матрица Лапласа

$$L = D - A,$$

где A – матрица смежности, а D – диагональная матрица степеней вершин. Собственные векторы матрицы Лапласа, соответствующие наименьшим собственным значениям, несут информацию о структуре связности графа. В частности, второй по величине собственный вектор, называемый вектором Фидлера, порождает разрезание графа на две связные части: вершины с положительными и отрицательными координатами вектора относятся к разным кластерам [1, 2]. Иллюстрация разбиения графа на три шарда приведена на рисунке 1.

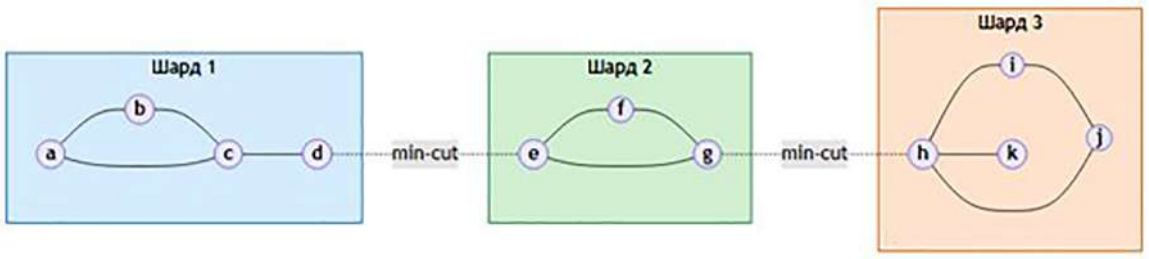


Рисунок 1 – Разбиение графа связности данных на три шарда

Обобщение на произвольное число классов выполняется либо последовательным применением бисекции, либо кластеризацией k-means по первым k собственным векторам матрицы Лапласа [3]. Качество разбиения при этом оценивается через нормализованный разрез (normalized cut), учитывающий суммарный вес рёбер внутри кластера, что соответствует балансу между связностью каждой части и её размерами [4]. Известно, что спектральный зазор между собственными значениями матрицы Лапласа связан с величиной разреза: чем больше зазор, тем чётче выражена кластерная структура графа.

Полученные в результате спектральной кластеризации кластеры становятся шардами базы данных. Для обеспечения отказоустойчивости каждый шард дополняется одной или несколькими резервными копиями, размещаемыми на независимых узлах. Согласованность

между основной копией и репликами поддерживается механизмами синхронной либо асинхронной репликации и протоколами достижения консенсуса [5]. Архитектура размещения шардов и реплик приведена на рисунке 2.

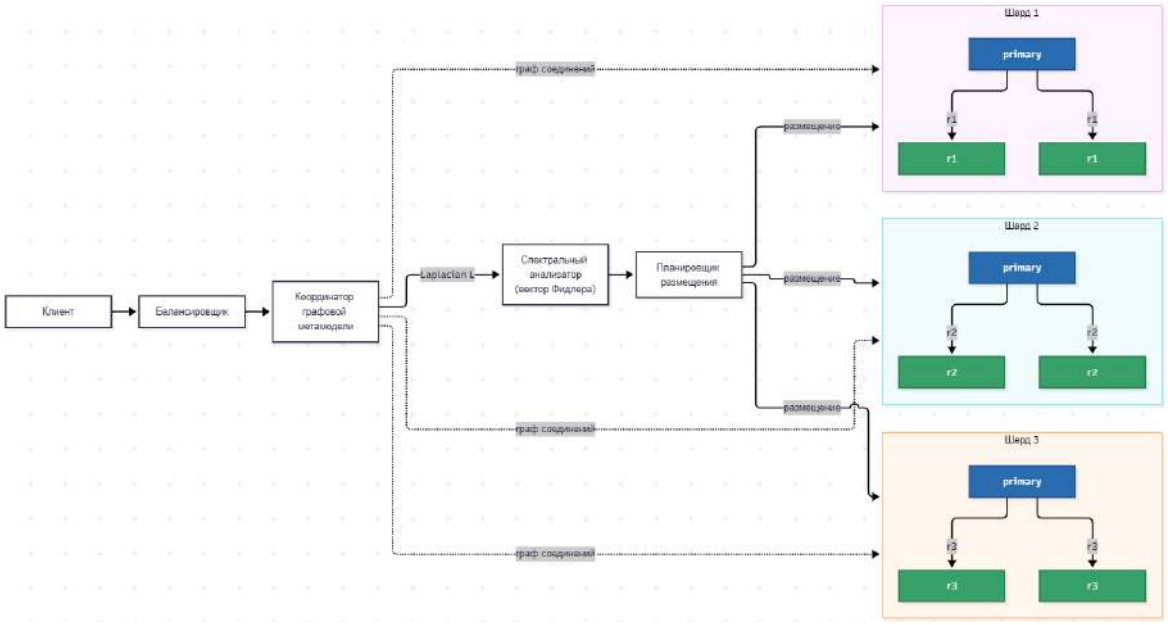


Рисунок 2 – Схема размещения шардов и реплик

Практическая реализация спектрального шардирования сталкивается с рядом особенностей. Граф связности данных изменяется со временем вместе с нагрузкой, поэтому требуется периодический пересчёт разрезания и миграция небольшой доли записей между шардами. Число межшардовых транзакций при этом выступает целевой функцией, а равномерность заполнения узлов – ограничением задачи. Спектральные методы, в отличие от хэширования, позволяют контролировать оба критерия одновременно.

Проведённое на модельном графе с 10 000 записей и 74 000 рёбер сравнение показало, что спектральное разрезание сокращает долю межшардовых транзакций примерно на 43 % по сравнению с хэш-шардированием при сохранении равномерного распределения нагрузки. Среднее время выполнения запросов, затрагивающих несколько шардов, снизилось более чем в два раза. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения методов спектральной кластеризации и разреза графов при проектировании распределённых систем управления данными.

Таким образом, спектральная кластеризация предоставляет строгую математическую основу для решения задачи размещения данных в распределённых системах: она учитывает семантические связи между записями, позволяет балансировать нагрузку между узлами и естественно сочетается с механизмами репликации. Развитием подхода может служить использование гиперграфов для учёта операций, затрагивающих более двух записей, а также инкрементальное обновление разрезания при изменении профиля нагрузки.

Список использованных источников

1. Fiedler, M. Algebraic connectivity of graphs / M. Fiedler // Czechoslovak Mathematical Journal. – 1973. – № 23. – P. 298–305.
2. Von Luxburg, U. A tutorial on spectral clustering / U. von Luxburg // Statistics and Computing. – 2007. – Vol. 17, № 4. – P. 395–416.
3. Ng, A. Y. On spectral clustering: analysis and an algorithm / A. Y. Ng, M. I. Jordan, Y. Weiss. – URL: https://proceedings.neurips.cc/ (дата обращения: 01.09.2026). – Текст : электронный.
4. Shi, J. Normalized cuts and image segmentation / J. Shi, J. Malik // IEEE Transactions on

Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – Vol. 22, № 8. – P. 888–905.
5. DeCandia, G. Dynamo: Amazon's highly available key-value store / G. DeCandia, D. Hastorun, M. Jampani [et al.] // Proceedings of ACM SIGOPS. – 2007. – P. 205–220.
6. Karypis, G. Multilevel algorithms for partitioning irregular graphs / G. Karypis, V. Kumar // Proceedings of the 1998 ACM/IEEE Conference on Supercomputing. – 1998. – P. 1–13.
7. Nusrat, E. Optimal graph partitioning for distributed database systems / E. Nusrat, S. Rahmat // International Journal of Distributed Databases. – 2025. – Vol. 12, № 1. – P. 34–51.

УДК 519.233.5 : 004.738.5

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛЕНДИНГА ЧЕРЕЗ МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ: КЛАСТЕРЫ, ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ И РЕГРЕССИЯ

Проскочилов М. Д., студ., Токарь Г. М., студ., Мацуганова М. Д., преп. ст.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье предложена методика оптимизации целевой страницы с помощью многомерного статистического анализа поведенческих данных. Автор доказывает неэффективность классических A/B-тестов при малом трафике и представляет трехэтапный подход, включающий кластеризацию, факторный анализ и логистическую регрессию.*

Ключевые слова: лендинг, посадочная страница, конверсия, кластерный анализ, факторный анализ, регрессионный анализ, CRO, веб-аналитика.

Эффективность лендинга зависит от точного соответствия поведению разных групп аудитории. Традиционные методы оптимизации несовершенны: субъективный редизайн игнорирует специфику продукта, а A/B-тесты требуют огромного трафика и проверяют лишь одну гипотезу за раз. [3]. При дефиците трафика нужны методы, находящие закономерности в уже собранных данных, а не интуитивные решения.

Данные веб-аналитики многомерны: каждый визит описывается источником трафика, устройством, временем на странице, глубиной прокрутки, кликами, скоростью загрузки и показателями Core Web Vitals. Непосредственный анализ затруднён из-за корреляции признаков и латентных структур. Методология опирается на три взаимодополняющих метода – кластерный, факторный и регрессионный анализ [1, 2]. Выборка очищается от ботов, категориальные признаки кодируются, количественные стандартизируются [4].

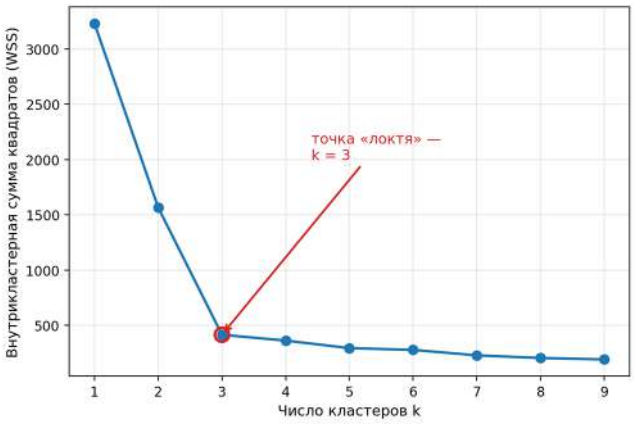


Рисунок 1 – Зависимость внутрикластерной суммы квадратов от числа кластеров

Кластерный анализ аудитории

Сегментация аудитории выполняется методом k-средних; число кластеров выбирается по графику «локтя» – точке, после которой снижение внутрикластерной суммы квадратов становится незначительным (рис. 1).

Для лендинга типично выделение трёх–четырёх сегментов: посетителей, быстро принимающих решение, «аналитиков», изучающих страницу целиком, и «неуверенных»

пользователей. Каждый сегмент имеет собственный профиль признаков, что даёт основу для персонализированных рекомендаций по структуре страницы [1, 5].

Факторный анализ поведения. Метод главных компонент с вращением varimax сокращает десятки поведенческих признаков до нескольких интерпретируемых факторов. В данных лендингов чаще всего выделяются три: «интенсивность вовлечённости» (время, глубина и скорость прокрутки, клики), «техническое качество страницы» (скорость загрузки, стабильность макета) и «релевантность трафика». Структура нагрузок до и после вращения показана на рисунке 2 [1, 2].

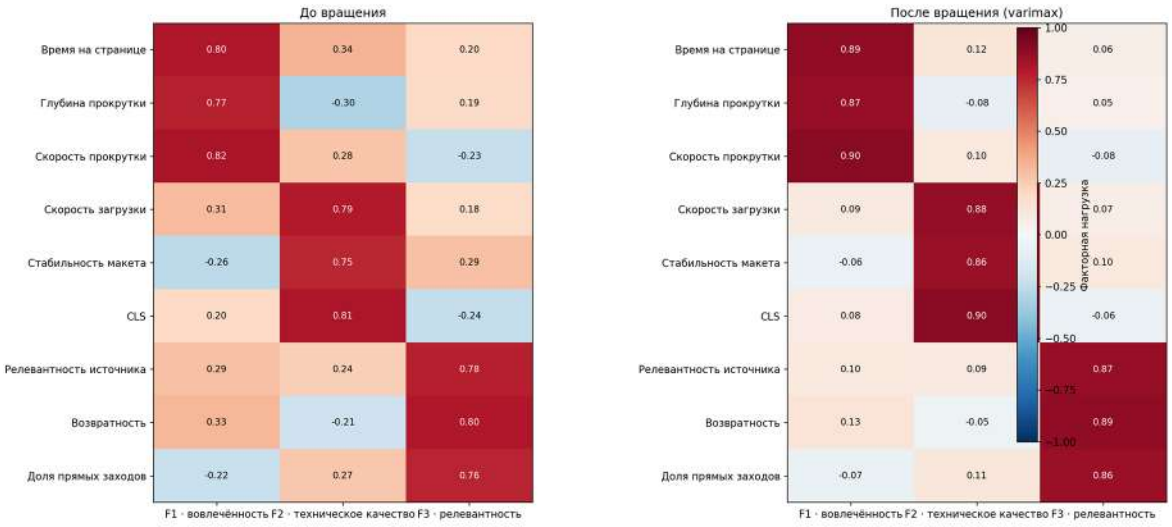


Рисунок 2 – Структура факторных нагрузок до и после вращения varimax

Регрессионное моделирование

Зависимая переменная – бинарный показатель конверсии, поэтому используется логистическая регрессия

$$logit(p) = \beta 0 + \beta 1 \cdot F1 + \beta 2 \cdot F2 + \beta 3 \cdot F3,$$

где F – латентные факторы.

Предельные эффекты дают приоритизацию гипотез: рост индекса вовлечённости на одно стандартное отклонение повышает вероятность конверсии на 1,8 процентного пункта, тогда как технический фактор статистически незначим [1]. Динамика ключевого технического показателя – LCP (Largest Contentful Paint) посадочной страницы до и после внесения изменений представлена на рисунке 3.

Интеграция методов образует замкнутый цикл CRO: кластеризация показывает, для каких сегментов страница работает хуже; факторный анализ – какие характеристики отличают конверсионные сессии; регрессия – на какой фактор воздействовать в первую очередь. Рекомендации проверяются на независимой выборке, а модель периодически калибруется [3].

Методика имеет ограничения: при малом числе конверсий регрессионные оценки неустойчивы; поведенческие признаки мультиколлинеарны, что купируется на этапе факторного анализа, и зависит от сезонности; выводы корректны лишь в пределах наблюдаемых данных [1, 4].

Таким образом, многомерный статистический анализ обеспечивает переход от интуитивной к доказательной оптимизации лендингов. Последовательное применение кластерного, факторного и регрессионного анализа описывает аудиторию, сводит метрики к интерпретируемым факторам и количественно оценивает их влияние на конверсию. Перспективы – объединение с A/B-тестами, байесовские подходы для малых выборок и моделирование на уровне отдельных блоков страницы.

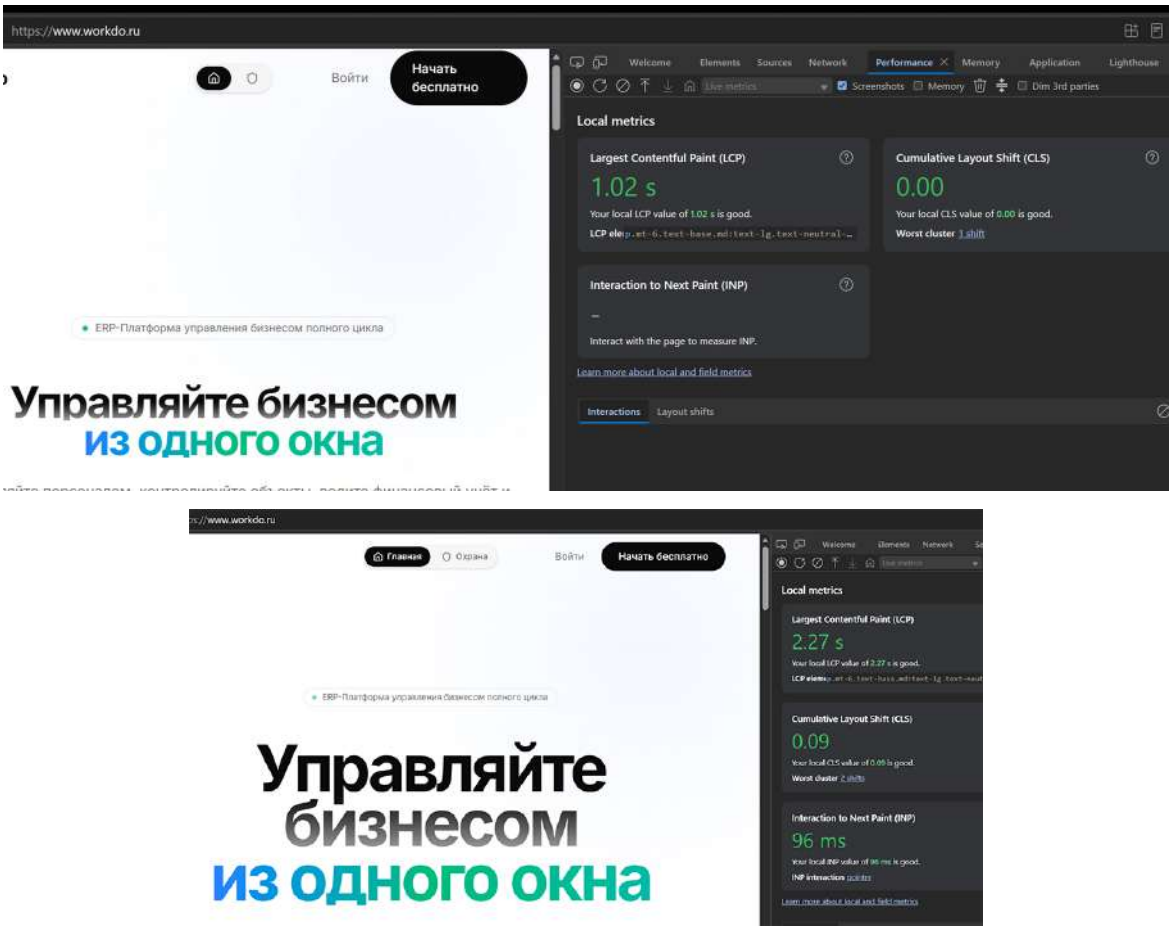


Рисунок 3 – Изменение LCP лендинга до и после оптимизации

Список использованных источников

1. Айвазян, С. А. Прикладная статистика. Основы эконометрики : учебник для вузов : в 2 т. / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – 2-е изд., испр. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – Т. 1. – 656 с.
2. Кендалл, М. Многомерный статистический анализ и временные ряды : учебное пособие / М. Кендалл, А. Стюарт ; перевод с английского. – Москва : Наука, 1976. – 736 с.
3. Ton, W. The Four Most Important Types of Landing Pages / W. Ton, N. Alsius. – Текст : электронный // Nielsen Norman Group : [сайт]. – 2024. – URL: nngroup.com (дата обращения: 11.04.2026).
4. Google Analytics : руководство и справочные материалы : [сайт]. – URL: google.com (дата обращения: 11.04.2026). – Текст : электронный.
5. Clustering : k-means and hierarchical clustering. – Текст : электронный // scikit-learn : [сайт]. – URL: scikit-learn.org (дата обращения: 11.04.2026).

4.6 Автоматизация производственных процессов

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ПРИБОРНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Артюхович А. М., студ., Кириллов А. Г., к.т.н., доц., Мурычева В. В., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В данной статье рассматриваются вопросы проектирования и реализации автоматизированного стенда САП-1 для контроля параметров информационных панелей приборов серии ПП8180. Проанализирована аппаратная структура стенда, базирующаяся на персональном компьютере и микроконтроллере ESP32, и обосновано применение алгоритмов технического зрения для верификации визуальной информации на стрелочных указателях и ЖК-дисплее приборной панели. Описана интеграция интерфейсов передачи данных (CAN2, CAN3) и системы видео восприятия в единый диагностический комплекс.*

Ключевые слова: техническое зрение, автоматизация контроля, ESP32, приборная панель, ПП8180, CAN-интерфейс, мехатроника.

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения точности и скорости выходного контроля на предприятиях приборостроения. Традиционные методы визуального контроля, осуществляемые оператором, подвержены влиянию человеческого фактора, что ведет к пропускам возможных дефектов. Переход к системам на основе технического зрения позволяет полностью автоматизировать процесс верификации показаний стрелочных указателей, ЖК-дисплеев и блоков контрольных сигнализаторов панелей приборов, обеспечивая объективность и прослеживаемость результатов тестирования.

В рамках исследования был спроектирован проверочный стенд САП-1, предназначенный для работы с информационными панелями приборов модификаций ПП8180 [3]. Конструктивно стенд представляет собой автоматизированный аппаратно-программный комплекс, включающий систему фиксации объекта, АРМ оператора с персональным компьютером (ПК) для обработки данных и блок видеовосприятия (видеокамеру). Вычислительным и управляющим ядром системы выступает связка ПК и микроконтроллера [1], интегрированная с драйверами питания (PE) и сразу тремя драйверами шины CAN (Cd1, Cd2, Cd3), что необходимо для полноценной диагностики функционала изделия (рис. 1).

Система управления реализует двусторонний обмен данными с тестируемой панелью. Посредством интерфейсов передачи данных CAN2 и CAN3 стенд имитирует работу датчиков и электронных систем управления трактора, передавая на ПП8180 параметры скорости, оборотов двигателя, уровня топлива, давления и состояния аварийных сигнализаторов. Одновременно блок видеовосприятия непрерывно фиксирует изображение лицевой поверхности панели. Алгоритмы технического зрения производят анализ видеопотока, распознают положение стрелок указателей, текстовые сообщения на дисплее и активность цветных сигнализаторов, после чего система сравнивает эталонные значения, отправленные по CAN-шинам, с фактически считанными данными.

Электрическая аппаратная часть стенда САП-1 включает блок питания, драйверы CAN и специализированный драйвер блока питания, обеспечивающие формирование стабильного напряжения 12 В для работы панели. Использование библиотек машинного зрения (например, OpenCV) [2] в программном обеспечении верхнего уровня позволяет эффективно обрабатывать видеопоток с частотой 30 fps, устранять блики от защитного стекла и проводить корректное распознавание графических символов в условиях промышленного освещения.

Практическая значимость работы подтверждается возможностью интеграции разработанного стенда САП-1 в реальный производственный процесс изготовителя панелей (ОАО «ВЗЭП»).

Разработанная система позволяет значительно сократить время цикла приемо-сдаточных испытаний ПП8180 и минимизировать риск поставки приборов с дефектами индикации конечному потребителю (в частности, для тракторов ОАО «МТЗ»). Дальнейшее развитие проекта предполагает внедрение нейросетевых моделей для автоматизированной проверки режимов самотестирования и классификации сложных текстовых предупреждений о неисправностях на дисплее. [3]

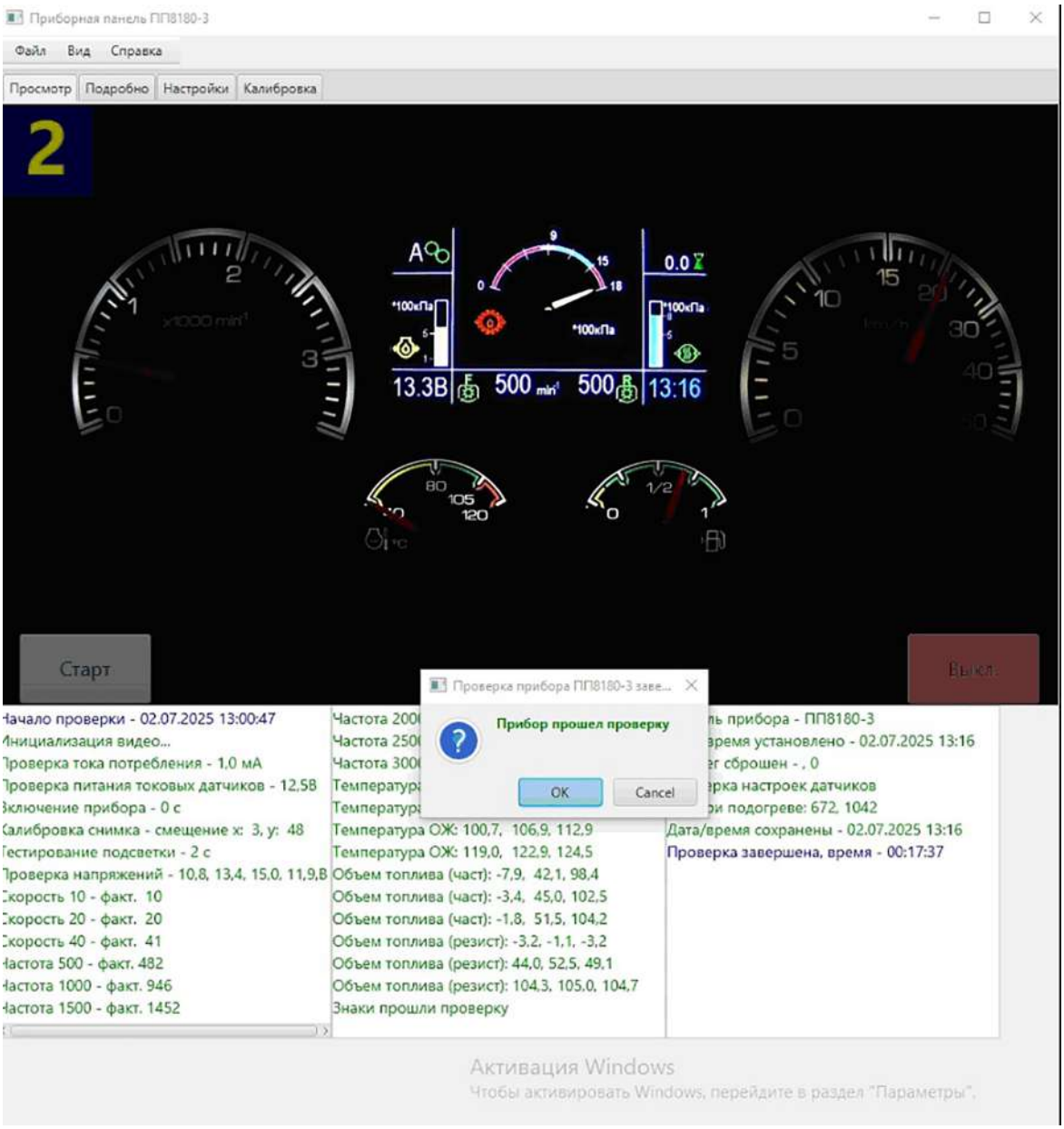


Рисунок 1 – Интерфейс программного обеспечения стенда САП-1
при успешном завершении автоматизированной проверки панели приборов ПП8180-3

Основой стенда является связка персонального компьютера и микроконтроллера ESP32. Комплекс включает три драйвера шины CAN (для взаимодействия с интерфейсами CAN2 и CAN3) и блок видеовосприятия. Стенд имитирует работу систем трактора (ОАО «МТЗ»), передавая на панель данные о скорости, оборотах двигателя и состоянии датчиков через CAN-интерфейс. Для верификации показаний используется библиотека OpenCV. Программное обеспечение обрабатывает видеопоток (30 fps), выполняя следующие задачи:

1. Распознавание положения стрелок: с помощью преобразования Хафа вычисляется угол наклона стрелок тахометра и спидометра с последующим пересчетом в физические величины.
2. Анализ ЖК-дисплея: OCR-алгоритмы считывают текстовую и цифровую информацию (время, напряжение).
3. Контроль сигнализаторов: анализ яркости и цвета в зонах расположения светодиодов.

Разработана структура стенда и программное обеспечение для проверки приборных панелей ПП8180, которое прошло аппробацию в производственных условиях.

Список использованных источников

1. Гребнев, В. В. Микроконтроллеры и их применение в системах автоматизации / В. В. Гребнев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2021. – 368 с.
2. Браунли, К. Изучаем OpenCV 4. Компьютерное зрение на C++ и Python / К. Браунли, Э. Кэхилл. – М. : ДМК Пресс, 2020. – 500 с.
3. Технические условия ТУ BY 300125187.334–2017. Панели приборов информационные ПП8180. – Витебск: ОАО «ВЗЭП», 2017.

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ БЛОКОВ ВТОРИЧНЫХ ПОКАЗЫВАЮЩИХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Демко Д. В., студ., Кириллов А. Г., к.т.н., доц., Куксевич В. Ф., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматриваются вопросы автоматизации выходного контроля автомобильных приборов КД8116 и КД8105. Описана аппаратная реализация испытательного стенда на базе микроконтроллера ESP32 DevKitC V4 и интерфейса CAN. Разработанная система интегрирует методы компьютерного зрения для верификации показаний приборов, что позволяет исключить человеческий фактор и повысить достоверность контроля качества на производстве.*

Ключевые слова: промышленная автоматизация, техническое зрение, ESP32, шина CAN, КД8105, КД8116, контроль качества.

Современное производство автомобильной электроники требует внедрения высокоэффективных средств объективного контроля. Приборные панели, такие как КД8105 и КД8116, являются сложными микропроцессорными устройствами, проверка которых включает диагностику индикации, правильность хода стрелочных указателей и корректность работы цифровых дисплеев. Традиционный визуальный контроль оператором не обеспечивает требуемой скорости и повторяемости результатов.

Разработка автоматизированного стенда, сочетающего программную имитацию сигналов автомобиля и техническое зрение, позволяет решить задачу комплексной проверки приборов в автоматическом режиме. Использование микроконтроллера ESP32 обеспечивает необходимую вычислительную мощность для управления периферией и обмена данными по промышленным протоколам.

Основой разработанного стенда является микроконтроллер ESP32 DevKitC V4, выбранный благодаря наличию встроенных интерфейсов и высокой тактовой частоте. Для взаимодействия с проверяемыми приборами используется промышленная шина CAN (Controller Area Network), которая является стандартом для передачи данных в автомобильной электронике.

На рисунке 1 представлена разработанная принципиальная электрическая схема узла сопряжения.

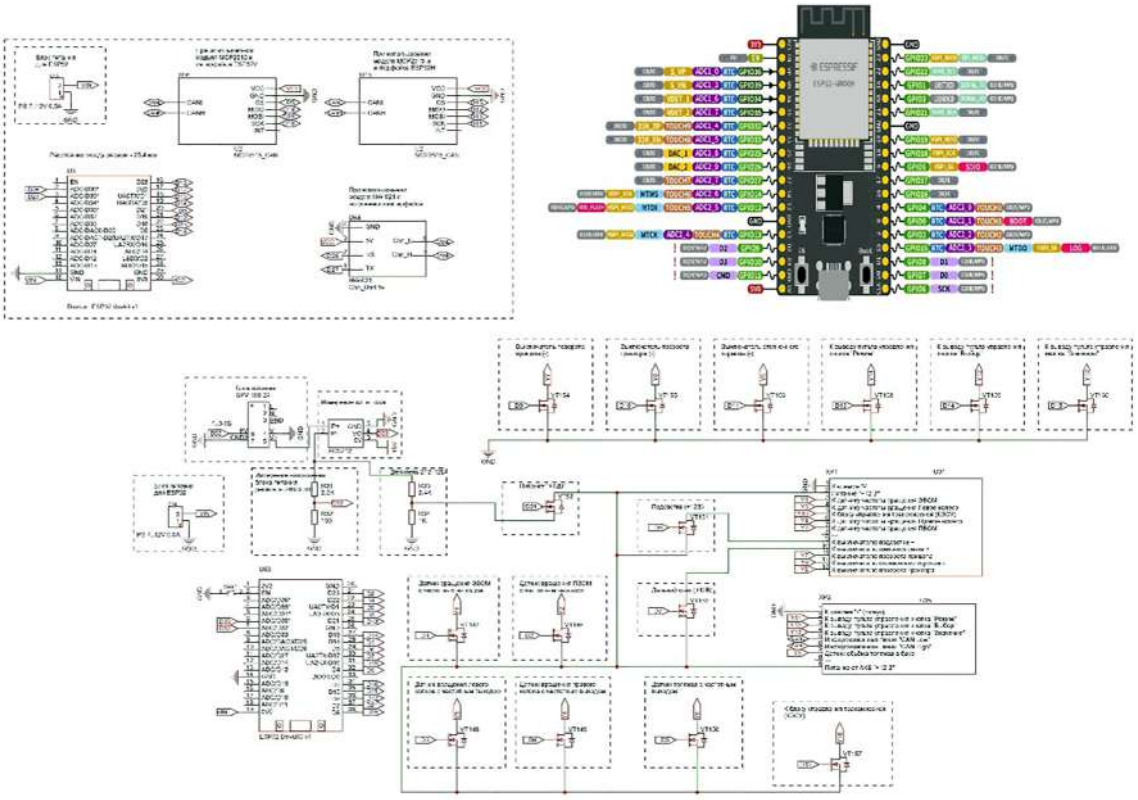


Рисунок 1 – Электрическая схема модуля управления и интерфейса CAN

Основные компоненты системы.

– Микроконтроллер ESP32 DevKitC V4 – центральное управляющее устройство, осуществляющее формирование диагностических последовательностей и синхронизацию работы камеры.

– Контроллер CAN MCP2515 – используется для аппаратной поддержки протокола CAN при взаимодействии с микроконтроллером по интерфейсу SPI. Схема предусматривает различные варианты подключения модуля (через интерфейсы ESP32H или ESP32V) для обеспечения гибкости монтажа.

– Трансивер CAN – обеспечивает физический уровень передачи сигналов по линиям CAN High и CAN Low.

– Система технического зрения – промышленная камера, фиксирующая состояние лицевой панели прибора в процессе подачи тестовых команд.

– Блок питания – обеспечивает стабилизированное напряжение +12 В для питания проверяемых приборов и +5 В/+3,3 В для логических цепей стенда.

Алгоритм функционирования системы

Процесс проверки разделен на несколько функциональных этапов.

1. Инициализация и самодиагностика: при включении стенда ESP32 проверяет готовность CAN-контроллера и наличие связи с камерой технического зрения.

2. Подача тестового воздействия: микроконтроллер через модуль MCP2515 отправляет в шину CAN специфические идентификаторы и пакеты данных, соответствующие определенным режимам работы прибора (например, скорость 60 км/ч, обороты двигателя 3000 об/мин, активные индикаторы ошибок).

3. Захват изображения: после стабилизации стрелочных указателей система технического зрения делает снимок приборной панели.

4. Обработка и анализ: с помощью алгоритмов компьютерного зрения (детектирование контуров, сопоставление с шаблоном, OCR для сегментных дисплеев) производится сравнение реального положения стрелок и состояния ламп с эталонными значениями, заданными в программе.

5. Формирование отчета: результаты проверки (пройден/не пройден) записываются в базу данных, а при обнаружении брака фиксируется тип несоответствия.

Программное обеспечение

Программная часть реализована в среде разработки, поддерживающей работу с ESP32. Для обмена данными по CAN используются библиотеки, реализующие уровень абстракции для MCP2515, что позволяет гибко настраивать скорость передачи данных (обычно 250 или 500 кбит/с для автомобильных систем). Алгоритмы технического зрения могут быть реализованы как на внешнем ПК, так и на базе специализированных смарт-камер, интегрированных со стендом по интерфейсу UART или Wi-Fi.

Основные функциональные узлы схемы.

– Узел коммутации дискретных сигналов: выполнен на базе транзисторных ключей (VT146–VT152, VT155). Эти ключи позволяют микроконтроллеру ESP32 имитировать срабатывание штатных выключателей автомобиля, таких как:
– Выключатели указателей поворота тягача и прицепа.
– Кнопки управления пультом.
– Сигналы стояночного тормоза и других сервисных систем.
– Имитаторы частотных датчиков: Схема включает модули для генерации импульсных сигналов, соответствующих датчикам вращения (скорость, обороты двигателя). Использование транзисторных каскадов позволяет согласовать логические уровни ESP32 (3,3 В) с входными цепями приборных панелей (обычно 12 В или 24 В).
– Цепи имитации аналоговых датчиков: для проверки указателей уровня топлива и температуры используются делители напряжения и схемы, имитирующие изменение сопротивления резистивных датчиков. Это позволяет верифицировать точность отклонения стрелок на панели в широком диапазоне значений.

Разработанный программно-аппаратный комплекс представляет собой гибкое решение для автоматизации выходного контроля электронной продукции, обеспечивая высокую точность и повторяемость результатов испытаний.

УДК 007.5

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ ДЛЯ МАНИПУЛИРОВАНИЯ И СОРТИРОВКИ ДЕТАЛЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ

Кириллов А. Г., к.т.н., доц., Куксевич В. Ф., ст. преп., Мурычева В. В., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены вопросы разработки автоматизированной линии для манипулирования и сортировки деталей конденсаторов; представлена структурная схема разработанной автоматизированной системы и описан принцип ее работы; приведен программный код для ПЛК.*

Ключевые слова: электронные компоненты, автоматизированная система, детали конденсаторов, ПЛК, манипулятор.

Современные требования, предъявляемые к электронным компонентам технологического оборудования, предполагают не только обеспечение высокой надежности в процессе их эксплуатации, но и строгое соответствие техническим параметрам при их производстве. Особое значение эти требования имеют в производстве конденсаторов, применяемых в высокоточных

устройствах: измерительной технике, системах связи и промышленной автоматизации. Как правило, данные конденсаторы собираются из двух секций, которые необходимо подбирать парами таким образом, чтобы их суммарная ёмкость соответствовала заданному номиналу с минимальным отклонением. Ручной подбор пар, основанный на случайном выборе секций, является трудоемким процессом, подверженным человеческим ошибкам и не обеспечивает необходимой точности, что приводит к увеличению брака и снижению эффективности производства.

Актуальность разработки автоматизированной системы для манипулирования и сортировки секций конденсаторов обусловлена следующими факторами:

– повышение точности измерений (использование прецизионного измерительного оборудования позволяет минимизировать погрешности при определении ёмкости секций);

– стандартизация процессов (сортировка по номинальному ряду E192 обеспечивает соответствие международным стандартам и упрощает интеграцию системы в существующие производственные линии);

– оптимизация ресурсов (автоматизация процессов производства исключает ручной труд, сокращает время подбора пар и снижает процент бракованных изделий).

Целью данной разработки является создание автоматизированной производственной линии, выполняющей следующие функции:

– подача секций конденсаторов на измерительное устройство,

– определение ёмкости с последующей классификацией по ряду E192,

– автоматический подбор пар секций, суммарная ёмкость которых соответствует заданному допуску (например, ±1 % для прецизионных номиналов).

Вначале была разработана структурная схема автоматизированной системы сортировки секций и подбора пар конденсаторов, представленная на рисунке 1.

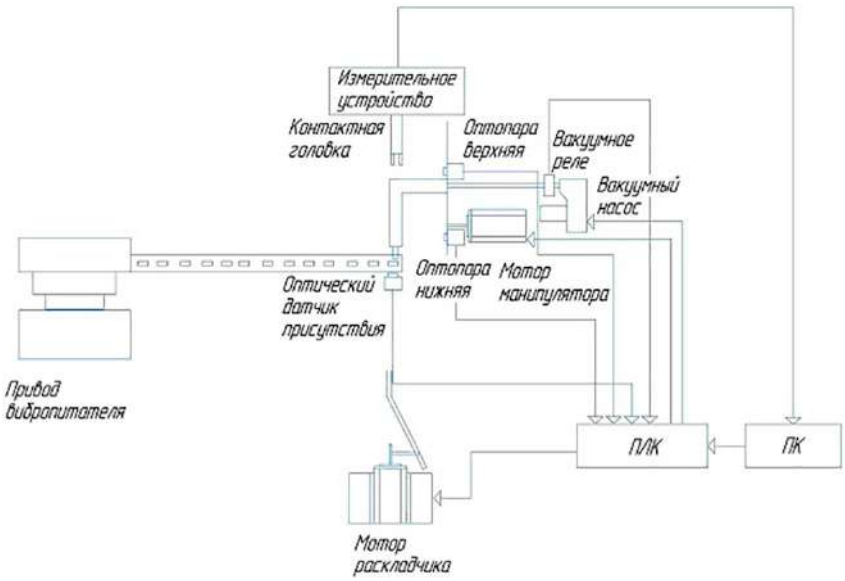


Рисунок 1 – Структурная схема
автоматизированной системы сортировки секций и подбора пар конденсаторов

Принцип работы данной автоматизированной системы следующий. При запуске сортировщика программируемый логический контроллер (ПЛК) инициирует последовательность управления технологическим процессом подачи и сортировки секций конденсаторов. Сначала ПЛК посылает управляющий сигнал на мотор вибропитателя, обеспечивающий подачу секций конденсаторов к месту захвата. Затем подается сигнал на вакуумный насос, который осуществляет захват секции конденсатора.

Далее ПЛК активирует мотор манипулятора, который подает секцию конденсатора в контактную головку измерительного прибора. Манипулятор перемещается до тех пор, пока

верхняя щелевая оптопара не зафиксирует достижение требуемого положения. Захват секции в губках контактной головки осуществляется с помощью магнита, после чего вакуумный насос отключается, освобождая секцию.

Данные измерений передаются на персональный компьютер (ПК), где рассчитывается номер бака для сброса конденсатора. Полученная информация возвращается в ПЛК, который активирует мотор раскладчика. Этот мотор перемещает транспортную трубку в заданное положение, после чего губки контактной головки разжимаются, и секция конденсатора попадает в бак через транспортную трубку.

Завершающим этапом является подача сигнала на мотор манипулятора с одновременным изменением направления его движения. Манипулятор возвращается в исходное положение, зафиксированное нижней щелевой оптопарой, готовясь к следующему циклу работы.

Для программирования ПЛК использован универсальный комплекс разработки программ для ПЛК CoDeSys на основе языков стандарта МЭК 61131-3. Программа ПЛК разработанной системы на языке CFC стандарта МЭК 61131-3 представлена на рисунке 2.

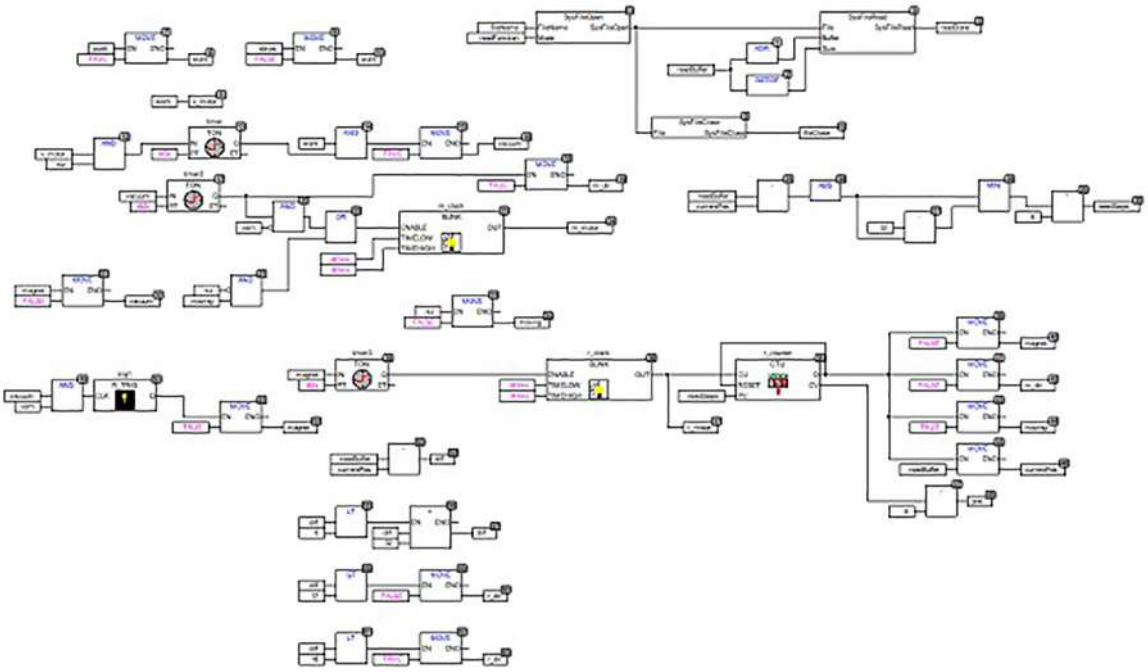


Рисунок 2 – Программа ПЛК разработанной системы

Для технической реализации данной системы выбран тип ПЛК, обеспечивающий управление технологическим процессом; проведен кинематический расчет автоматизированной линии с выбором двигателя, удовлетворяющего требованиям и обеспечивающего необходимую производительность сортировки – 2400 деталей в час.

Для захвата сортируемых секций конденсаторов в автоматизированной системе применен вакуумный захват, включение и отключение которого осуществляется электромагнитным клапаном. Произведен расчёт необходимой силы захвата, обеспечивающей точное управление положением объектов за счёт создания разрежения. Для создания разрежения в вакуумном захвате рассчитан и выбран вакуумный насос, обладающий достаточной мощностью для большинства мелких и средних проектов.

Внедрение разработанной системы в производство позволит автоматизировать процесс подбора пар конденсаторов, минимизировать влияние человеческого фактора, повысить точность и скорость операций; а также снизит процент брака. Проект подтверждает свою актуальность и практическую значимость, а его дальнейшее развитие может предусматривать оптимизацию алгоритмов и интеграцию в более крупные производственные комплексы.

УДК 621.3.018.75

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕПИ С АКТИВНО-ИНДУКТИВНЫМ ХАРАКТЕРОМ НАГРУЗКИ

Куксевич В. Ф., ст. преп., Клименкова С. А., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье представлена разработанная лабораторная работа, посвященная исследованию несинусоидальной периодической функции напряжения в цепи с активно-индуктивным характером нагрузки; приведены материалы теоретической и практической частей данной лабораторной работы.*

Ключевые слова: лабораторная работа, несинусоидальная функция, ряд Фурье.

В процессе внедрения кафедрой автоматизации производственных процессов в учебный процесс результатов научно-исследовательской работы был создан ряд лабораторных работ, одна из которых посвящена исследованию несинусоидальной периодической функции напряжения в цепи с активно-индуктивным характером нагрузки.

Целью данной лабораторной работы, помимо исследования несинусоидальной периодической функции напряжения, является получение обучающимися навыков применения графо-аналитического метода разложения несинусоидальных функций в ряд Фурье.

В большинстве электронных цепей, применяемых для передачи и обработки различного рода информации, передаваемые электрические сигналы имеют, как правило, несинусоидальную форму. Изменение формы данных сигналов напряжения или тока, в сравнении с синусоидальной, могут происходить как при генерировании сигналов, так и в процессе распределения и потребления электроэнергии.

Ввиду этого методы расчета, которые можно использовать для сигналов синусоидальной формы, в таких цепях неприменимы. Поэтому анализ электрических цепей, в которых действуют несинусоидальные периодические ЭДС, напряжения и токи, проводят, используя разложение несинусоидальных кривых данных сигналов в ряд Фурье. Периодическую функцию несинусоидального сигнала представляют в виде суммы гармоник кратных частот и, если цепь линейна, рассчитывают ее для каждой гармоники в отдельности, а затем суммируют полученные результаты.

В том случае, если периодическая несинусоидальная функция отвечает условиям Дирихле, то есть имеет на всяком конечном интервале конечное число разрывов первого рода и конечное число максимумов и минимумов, она может быть представлена гармоническим рядом Фурье в тригонометрической форме:

$$f(t) = A_0 + A_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + A_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) + \\ + \ldots + A_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_{km} \sin(k\omega t + \psi_k), \quad (1)$$

Так как

$$A_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) = A_{km} \cos\psi_k \sin k\omega t + A_{km} \sin\psi_k \cos k\omega t = \\ = B_{km} \sin k\omega t + C_{km} \cos k\omega t,$$

то ряд (1) может быть записан в виде:

$$f(t) = A_0 + B_{1m} \sin\omega t + B_{2m} \sin 2\omega t + \ldots + B_{km} \sin k\omega t + \ldots + C_{1m} \cos\omega t + C_{2m} \cos 2\omega t + \\ + \ldots + C_{km} \cos k\omega t + \ldots = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} B_{km} \sin k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} C_{km} \cos k\omega t. \quad (2)$$

Постоянную составляющую и коэффициенты ряда (2) можно вычислить при помощи интегралов:

$$A_0 = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(\omega t)d\omega t;$$

$$B_{km} = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin k\omega t dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(\omega t)\sin k\omega t d\omega t; \quad (3)$$

$$C_{km} = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos k\omega t dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(\omega t)\cos k\omega t d\omega t.$$

Рассчитав их значения, можно перейти от (2) к (1). При этом амплитуда и начальная фаза k-й гармоники определяются:

$$A_{km} = \sqrt{B_{km}^2 + C_{km}^2};$$

$$\psi_k = arctg\frac{C_{km}}{B_{km}}. \quad (4)$$

Так как периодические кривые стандартной формы (треугольной, прямоугольной и т. п.) имеют относительно простое аналитическое описание, их разложение в ряд Фурье производят графо-аналитическим методом, предполагающим замену определенного интеграла в формулах (3) суммой конечного числа слагаемых.

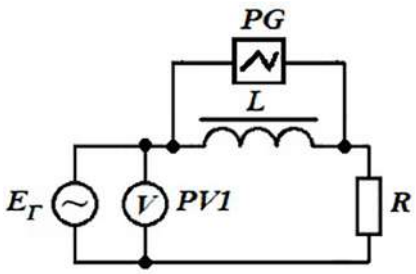


Рисунок 1 – Схема исследования несинусоидальной периодической функции

В разработанной лабораторной работе используется схема исследования несинусоидальной периодической функции напряжения в цепи, имеющей активно-индуктивный характер нагрузки, представленная на рисунке 1.

Получив на экране осциллографа PG график несинусоидального напряжения на катушке индуктивности L, проводят разложение полученной несинусоидальной периодической функции в ряд Фурье в соответствии с указанными выше формулами.

На основании полученных данных строят диаграммы амплитудно-частотного и фазочастотного спектра несинусоидальной функции; графики синусоидальных функций 1, 3 и 5-й гармоник; график несинусоидальной функции, полученный путем суммирования ординат графиков 1, 3 и 5-й гармоник. При построении графиков функций возможно использование табличного процессора MS Excel.

В результате проведения лабораторной работы обучающимся предлагается сравнить построенный путем суммирования ординат графиков 1, 3 и 5-й гармоник график несинусоидальной функции с изображенным ранее в отчете по лабораторной работе графиком несинусоидального напряжения катушки индуктивности, полученным на экране осциллографа, и сделать вывод о правильности проведенных расчетов. Разработанная лабораторная работа прошла опытное испытание и используется в лабораторном курсе дисциплины «Теоретические основы электротехники» вместе со специально подготовленным методическим обеспечением.

Список использованных источников

1. Теоретические основы электротехники. Электрические фильтры. Несинусоидальные токи : методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / сост. В. Ф. Куксевич, Ю. В. Новиков, – Витебск : УО «ВГТУ», 2026. – 41 с.

УДК 621.914.3

РАЗРАБОТКА НАСТОЛЬНОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ

Лойко А. Д., студ., Белов А. А., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены вопросы разработки настольного фрезерного станка с числовым программным управлением, предназначенного для обработки древесины, МДФ, пластмасс и других сравнительно легкообрабатываемых материалов, были определены технические характеристики установки, разработана её кинематическая схема и выполнено проектирование конструкции.*

Ключевые слова: настольный фрезерный станок с ЧПУ, шаговые двигатели, кинематическая схема.

В современных условиях развития машиностроения, приборостроения, деревообработки, производства рекламной продукции и мелкосерийного изготовления деталей всё более широкое распространение получают компактные автоматизированные установки с числовым программным управлением. Одним из наиболее востребованных видов такого оборудования является настольный фрезерный станок с ЧПУ, который сочетает в себе сравнительно небольшие габариты, достаточную точность обработки, универсальность применения и возможность автоматизации технологического процесса.

Конструкция станка выполнена по схеме с подвижным координатным столом, при этом шпиндель имеет возможность перемещения по двум осям. Такая компоновка является достаточно простой, понятной в реализации и широко применяется в настольных фрезерных станках.

Внешний вид конструкции разработанного фрезерного станка с ЧПУ показан на рисунке 1.

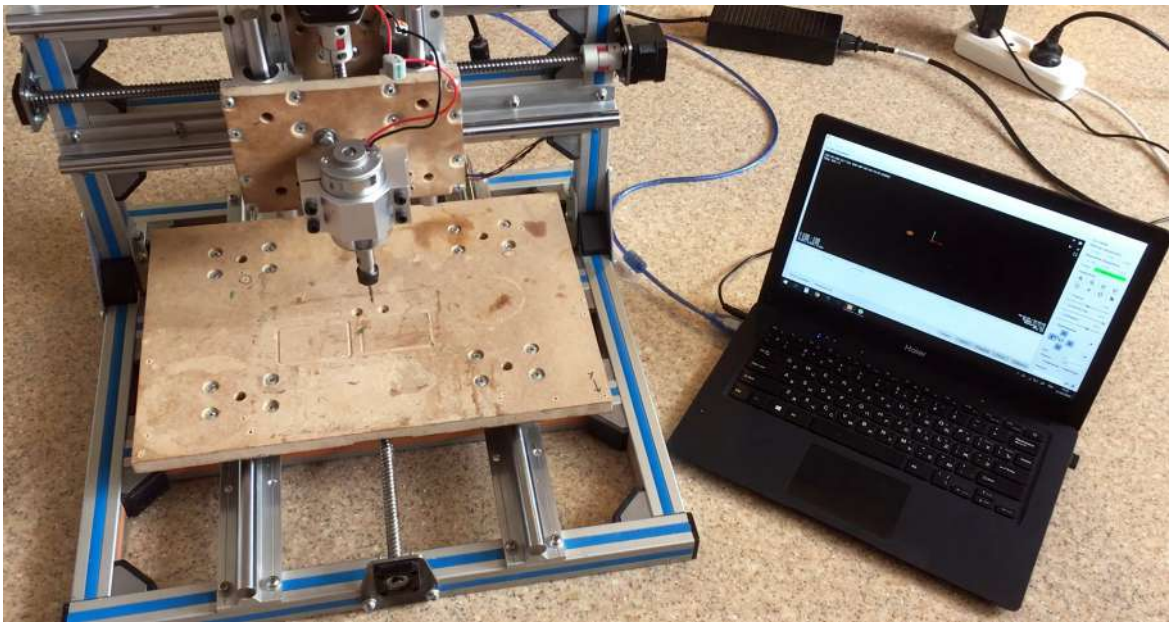


Рисунок 1 – Внешний вид конструкции разработанного фрезерного станка с ЧПУ

Основой станка служит металлическая рама, собранная из конструкционного профиля и стандартных соединительных элементов.

Применение профильной системы позволило упростить изготовление и сборку конструкции, а также обеспечить необходимую жёсткость. В результате была получена достаточно массивная

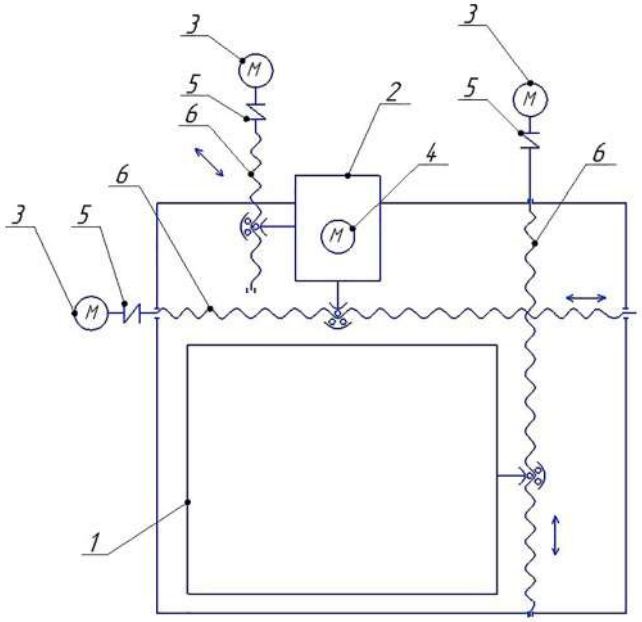
и устойчивая рама, что положительно влияет на снижение вибраций и устойчивость станка во время работы.

Перемещение рабочих органов по трём координатам X, Y и Z осуществляется с помощью шаговых двигателей через шарико-винтовые пары. Для направления движения используются цилиндрические направляющие с линейными подшипниками. Несмотря на то, что применяемые направляющие относятся к недорогому классу, после незначительной доработки они обеспечивают нормальную работу механизма и позволяют реализовать перемещение подвижных узлов станка.

В качестве приводов перемещения в конструкции используются три шаговых двигателя Nema 17, по одному на каждую координатную ось. Данные двигатели имеют следующие характеристики: угол шага – 1,8°, количество фаз – 2, номинальное напряжение – 3,3 В, номинальный ток – 1,5 А, момент позиционирования – 18 мН·м, момент инерции ротора – 57 г·см², масса двигателя – 0,27 кг. Применение шаговых двигателей данного типа обусловлено их доступностью, компактностью и достаточными характеристиками для настольной установки. Передача крутящего момента от двигателя к винту осуществляется через кулачковые муфты.

Шпиндельный узел представлен электрическим шпинделем мощностью 200 Вт с питанием 12–24 В. Частота вращения шпинделя регулируется в диапазоне от 3000 до 12000 об/мин. Шпиндель оснащён цанговым патроном типа ER11, что позволяет устанавливать стандартный режущий инструмент малого диаметра. Крепление шпинделя выполнено на специальном держателе с возможностью регулировки положения, что упрощает настройку станка перед работой.

Кинематическая схема настольного фрезерного станка с ЧПУ определяет состав основных механизмов, характер передачи движения от приводов к исполнительным органам и взаимосвязь между рабочими узлами установки. При разработке кинематической схемы необходимо было обеспечить перемещение рабочих органов по трём координатам, достаточную точность позиционирования, простоту конструкции и удобство сборки. На рисунке 2 показана кинематическая схема фрезерного станка с ЧПУ. Разрабатываемая кинематическая схема имеет ряд преимуществ. Во-первых, она отличается простотой реализации и удобством сборки. Во-вторых, применение отдельных приводов на каждую координатную ось делает систему независимой и облегчает настройку. В-третьих, использование шарико-винтовых пар позволяет уменьшить люфты и повысить точность перемещения. Кроме того, такая схема хорошо подходит для настольного станка, поскольку сочетает достаточную функциональность с относительно невысокой стоимостью.



1 – координатный стол; 2 – шпиндельный узел;
3 – шаговые электродвигатели;
4 – электродвигатель шпинделя;
5 – кулачковые муфты; 6 – шарико-винтовые передачи

Рисунок 2 – Кинематическая схема фрезерного станка с ЧПУ

В результате выполненной работы можно сделать вывод, что разработанная конструкция настольного фрезерного станка с ЧПУ является технически реализуемой и соответствует поставленным требованиям. Станок обладает достаточно простой конструкцией, удобен в сборке и эксплуатации, использует доступные комплектующие и при этом способен обеспечивать необходимые перемещения и параметры обработки для выполнения учебных, опытных и мелкосерийных работ.

Список использованных источников
1. Кацман, М. М. Электрический привод : учебник / М. М. Кацман. – Москва : Академия, 2014. – 384 с.
2. Пуш, В. Э. Металлорежущие станки : учебник / В. Э. Пуш. – Москва : Машиностроение, 1985. – 576 с.
3. Stepperonline. Nema 17 Stepper Motor (технические характеристики шаговых двигателей). – URL: https://www.omc-stepperonline.com/ (дата обращения: 06.04.2026). – Текст : электронный.
4. YouTube. Простой и эффективный ЧПУ станок: разработка, моделирование и сборка. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=_Z5ib6bJFgg (дата обращения: 06.04.2026). – Текст : электронный.
5. GitHub. Candle (GRBLController) – программа управления станками с ЧПУ на базе GRBL. – URL: https://github.com/Denvi/Candle (дата обращения: 06.04.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.42:62-83

РАСЧЁТ И ПОСТРОЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Новиков Ю. В., к.т.н., доц., Куксевич В. Ф., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены вопросы использования программных средств для расчёта и построения статических характеристик электроприводов постоянного тока; приведены требования к конфигурации электронно-вычислительных средств и языку программирования, примеры выполнения программы.*

Ключевые слова: компьютерная программа, статические характеристики, электропривод, графики.

Использование современных программных средств позволяет значительно ускорить процессы получения, сбора, обработки, хранения и распределения информации во всех сферах производства, снизить трудоемкость производимых работ.

Задача использования компьютерных технологий для расчёта и построения статических характеристик электроприводов является актуальной, так как ее решение позволит оперативно выполнить расчёты технических характеристик электроприводов постоянного тока при проведении лабораторных, практических, курсовых, расчетно-графических работ в учреждениях образования различных уровней.

Разработанная компьютерная программа «Расчёт и построение статических характеристик электропривода постоянного тока» имеет развитый графический интуитивный интерфейс, логически обоснованные графики и последовательности полей, понятные инструкции, узнаваемые названия полей, согласованную терминологию и сокращения, средства выдачи информации об ошибках при вводе недопустимых значений; обеспечивает быстрое и корректное выполнение всех функций: расчёт статических параметров и построение графиков.

Входными параметрами программы являются: номинальная мощность двигателя, номинальное напряжение якоря, номинальное напряжение обмотки возбуждения, номинальная частота вращения, сопротивление обмотки якоря, сопротивление добавочных полюсов, сопротивление обмотки возбуждения. Постоянными параметрами являются: коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления при нагреве, и напряжение щёток.

Выходной информацией является значение номинальной скорости вращения ротора двигателя, номинальное значение момента нагрузки двигателя, номинальный ток якоря, номинальный ток обмотки возбуждения, сопротивление якорной цепи, сопротивление

щёток, механические и электромеханические характеристики электропривода. К выходным данным относится отчёт, в котором отражены рассчитанные параметры со всеми расчётными формулами, графики статических характеристик.

Решение задачи расчёта статических характеристик основано на присвоении каждому исходному значению параметров электропривода постоянного тока определяющей переменной. Построение графиков механических и электромеханических характеристик электропривода постоянного тока основано на том, что графики представляют собой параллельные линии, которые можно построить по двум точкам. Статические характеристики изменяются в соответствии с изменением статических параметров электропривода постоянного тока.

Для работы программы к конфигурации электронно-вычислительных средств предъявляются следующие требования:

– процессор с тактовой частотой от 166 МГц и выше;
– объем оперативной памяти от 8 Мб и выше;
– объем дискового пространства 15 Мб;
– монитор 800×600 VGA; манипулятор типа мышь;
– принтер.

Написание программы «Расчёт и построение статических характеристик электропривода постоянного тока» производилось на языке программирования Pascal, в среде разработки приложений Delphi 7.

Для вызова программного продукта необходимо запустить файл Electroprivod.exe. После запуска появляется заставка программы, после заставки – окно, в котором необходимо ввести пароль. Если пароль был введён правильно, на экране появится окно, представленное на рисунке 1, в котором необходимо ввести исходные данные.

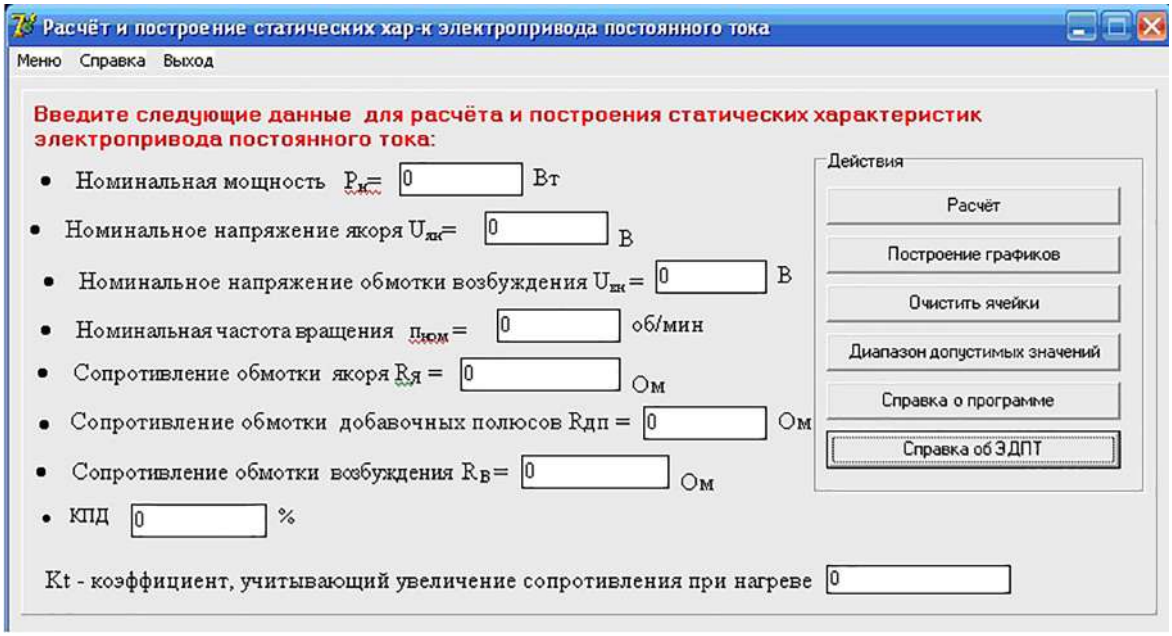


Рисунок 1 – Главное окно программы

Для выполнения расчетов необходимо нажать на кнопку «Расчет» в поле «Действия» или использовать соответствующую команду в главном меню программы. В результате появится окно (рис. 2), в котором будут рассчитаны параметры статических характеристик электропривода постоянного тока.

Нажатие кнопки «Отчёт в Microsoft Office Word» позволяет получить отчёт со всеми промежуточными расчётами. Пользователь может сохранить отчёт, редактировать или вывести на печать.

Для построения графиков необходимо нажать на кнопку «Построение графиков» в поле «Действия» главного окна программы. В результате появится диалоговое окно, в котором

необходимо выбрать тип графиков, нажав на одну из кнопок: «Механические характеристики привода» или «Электромеханические характеристики привода». При выборе типа графиков «Механические характеристики привода» появится окно (рис. 3) графиков, которые можно экспортировать в текстовый редактор Word. В окне также отобразится жёсткость механических характеристик.

При выборе типа графиков «Электромеханические характеристики привода» появится аналогичное окно графиков электромеханических характеристик.

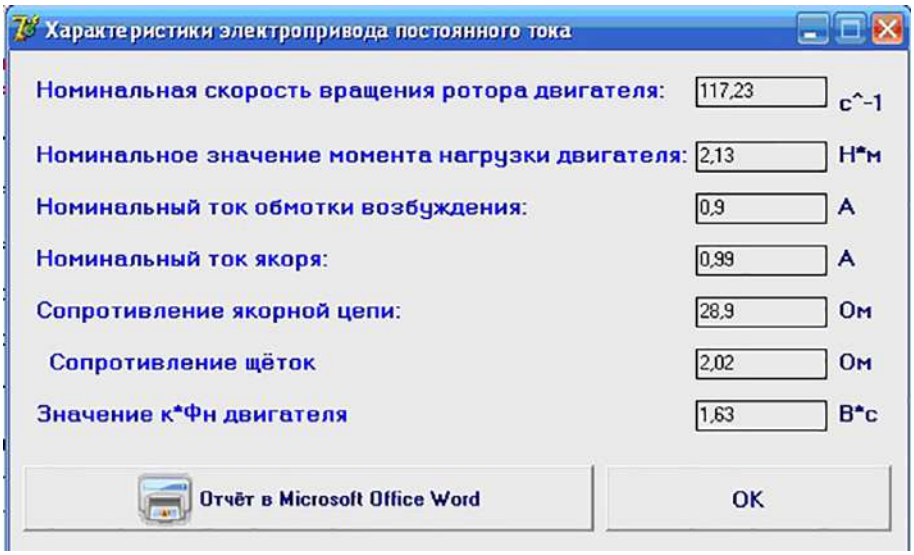


Рисунок 2 – Окно «Характеристики электропривода постоянного тока»

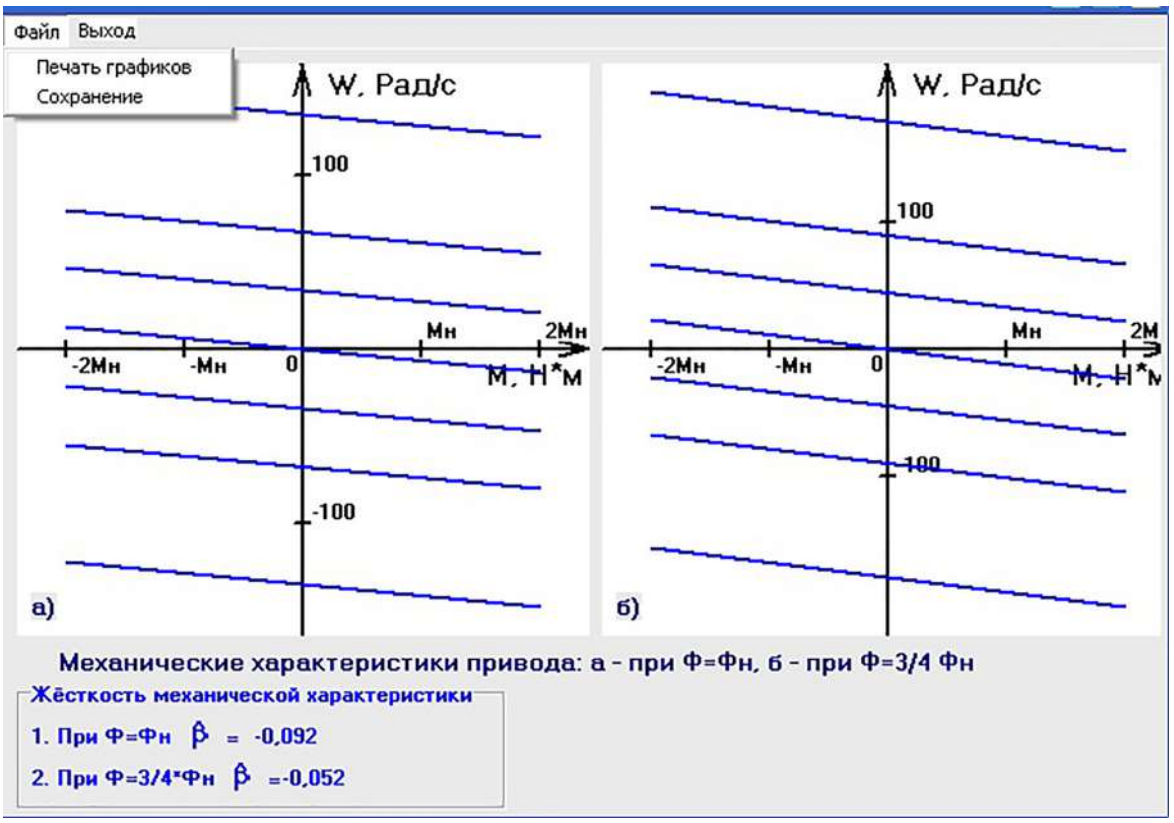


Рисунок 3 – Окно «Механические характеристики привода»

Разработанная программа полностью автоматизирует расчёт статических характеристик электропривода постоянного тока, позволяет подготовить для просмотра и вывода на печать отчёт со всеми используемыми промежуточными формулами, а также позволяет автоматически построить графики механической и электромеханической характеристик электропривода постоянного тока по результатам выполненных расчётов.

После проведения испытаний программного продукта был сделан вывод о том, что данная программа является надёжной, отвечает технологическим, эксплуатационным и экономическим требованиям.

УДК 687.053:62-503.55

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ МАТЕРИАЛА ЗАКРЕПОЧНОГО ПОЛУАВТОМАТА С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Новиков Ю. В., к.т.н., доц., Куксевич В. Ф., ст. преп., Лагун Д. И., студ.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены вопросы проектирования кинематической схемы механизма продвижения материала закрепочного полуавтомата с микропроцессорным управлением; представлен вариант программного устранения погрешности перемещения, вызванной криволинейностью годографа скорости шарнира коромысла механизма поперечных перемещений.*

Ключевые слова: швейное оборудование, микропроцессор, закрепочный полуавтомат, кинематическая схема.

Актуальной задачей в сфере машиностроения швейного оборудования является создание принципиально нового высокоэффективного автоматизированного оборудования, разработка автоматизированных швейных агрегатов, оснащенных механизмами программного перемещения, включая микропроцессорную технику.

Опыт эксплуатации автоматизированных швейных агрегатов зарубежными фирмами показал, что создание закрепочных полуавтоматов с микропроцессорным управлением (МПУ) для существующих технологических процессов изготовления швейных, обувных и кожгалантерейных изделий вполне целесообразно. В таких полуавтоматах перемещение материала осуществляется шаговыми двигателями, специально сконструированными, чтобы осуществить перемещение шагами, соответствующими строчке.

Шаговое перемещение объединяет в себе высокую разрешающую способность и малую инерцию, выполняя высокоточное и высокоскоростное образование стежков. Микропроцессоры в системах управления современного автоматизированного электропривода увеличивают гибкость, приспособляемость к конкретным условиям технологического процесса; улучшают качество работы, благодаря введению адаптации и самотестирования; дают возможность широкой унификации аппаратной части системы управления. Из вышеизложенного вытекает, что в настоящее время назрела необходимость в разработке отечественного закрепочного полуавтомата с МПУ, и одной из основных задач при разработке такого полуавтомата является разработка и исследование механизма программного перемещения.

На различных этапах задачи проектирования кинематической схемы механизма продвижения материала предлагается множество вариантов ее решения. Среди первых рассматривались варианты, где было предусмотрено сохранение рамки полуавтомата 1820 класса. Поскольку рамка со всеми деталями оказалась достаточно тяжелой, приводы таких механизмов, как показали расчеты, не выдерживали необходимого скоростного режима. В результате было предложено использовать модульный механизм, заимствованный из петельного полуавтомата с МПУ. Так как поле обработки для закрепки больше, чем для петли,

потребовалось снабдить оба механизма зубчато-реечными передачами, однако конструктивное решение такого варианта получилось достаточно громоздким.

Оказалось возможным установить, что можно устранить программно погрешность перемещения, вызванную криволинейностью годографа скорости шарнира коромысла механизма поперечных перемещений. Поэтому остановились на варианте, кинематическая схема которого представлена на рисунке 1.

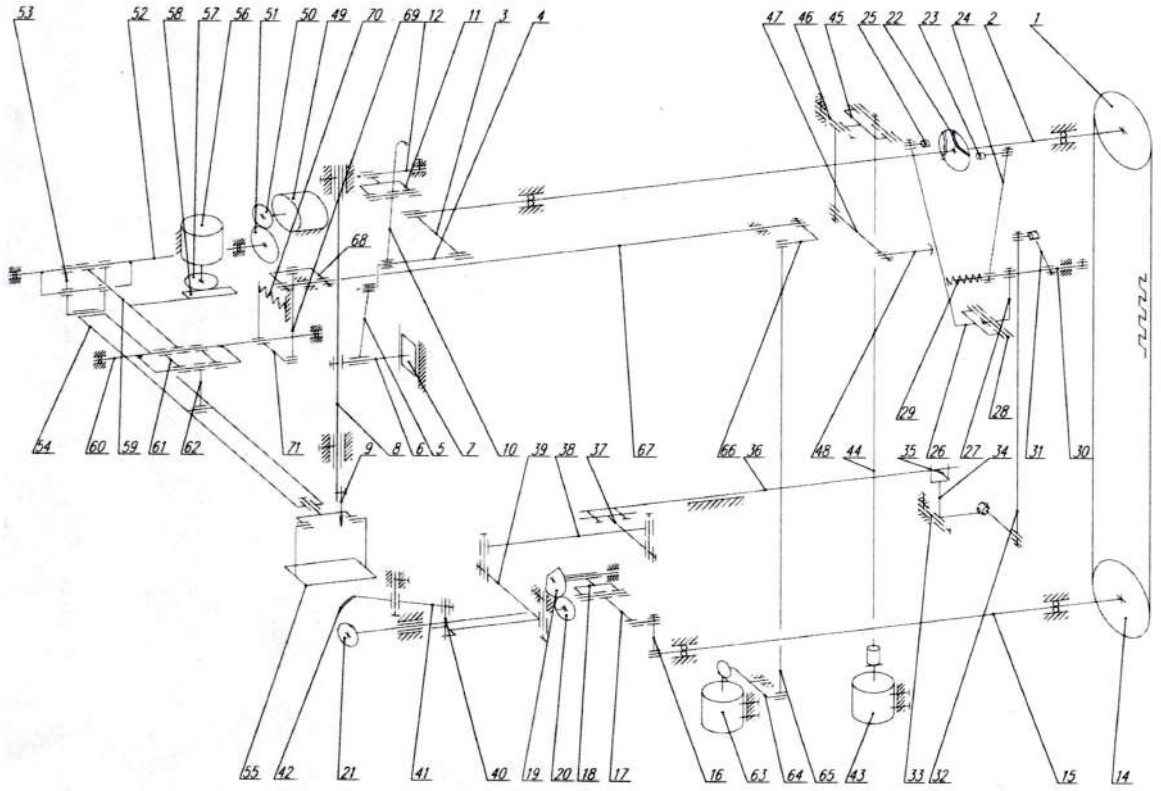


Рисунок 1 – Кинематическая схема проектируемого полуавтомата

Из закрепочного полуавтомата 1820 класса удалили систему распределительных и передаточных валов, сообщающих движение копирному диску, механизм перемещения материала, прижимную рамку, механизм нитеотводчика и подъема лапок. Проектируемый полуавтомат содержит следующие механизмы: механизм иглы и нитепритягивателя, механизм челнока, механизм обрезки ниток и механизм перемещения материала с узлом подъема лапок.

Механизм подачи материала в данном полуавтомате имеет следующее кинематическое решение. Прижимная рамка 55 сообщает материалу движение в двух взаимно перпендикулярных направлениях: продольном и поперечном. Поперечное перемещение прижимной рамке 55 сообщается от шагового двигателя 49 через зубчатую пару 50–51, вал 52, коромысло 53 и каретку 54. Продольное перемещение прижимной рамке 55 сообщается от шагового двигателя 56 через зубчатую передачу (шестерню 57 – рейку 58), пластину 59, коромысло 61, тягу 62 и каретку 54. Продольное перемещение звеньев механизма поперечного перемещения возможно благодаря конструкции квадратных валов 52 и 60. Прижимное усилие рамка получает от пружины 70 через коромысло 71, закрепленное на валу 60. Подъем прижимной рамки 55 осуществляется от электромагнита 63 через двуплечее коромысло 64, тягу 65, коромысло 66, вал 67, коромысло 68, тягу 69, коромысло 71.

На этапе проектирования потребовалось определить параметры схемы механизма. Исходными данными являются угловая дискрета вращения ротора шагового двигателя (ДШИ 200-3) Δa = 0,0314 рад и интервал дискреты линейного перемещения прижимной рамки, заданный технологическими требованиями (ГОСТ 20521-75) 0,1мм ≤ ΔS ≤ 0,2мм.

Таким образом, общее передаточное число определяется:

$$u_{общ} = \Delta a / \Delta S,$$

тогда

$$157 \text{ рад / м} \le u_{общ} \le 314 \text{ рад / м}.$$

В процессе проектирования также был проведен проектный и проверочные расчеты шаговых электроприводов, выполнены экспериментальные исследования качества челночной строчки на опытном образце швейного полуавтомата с МПУ при различных направлениях подачи материала. На основании исследований был сделан вывод о целесообразности использования предлагаемого механизма в конструкции закрепочного полуавтомата с МПУ.

Список использованных источников

1. Аверьянов, О. И. Технологическое оборудование : учебное пособие / О. И. Аверьянов, И. О. Аверьянова, В. В. Клепиков. – Москва : ИНФРА-М, 2024. – 238 с.
2. Валеев, И. А. Основы управления автоматизированными процессами в швейной промышленности : учебное пособие / И. А. Валеев, Т. А. Федорова ; Минобрнауки России, Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2023. – 80 с.
3. Зимина, Е. Л. Проектирование технологических процессов в швейном производстве : учебное пособие / Е. Л. Зимина. – Минск : РИПО, 2020. – 187 с.
4. Новиков, Ю. В. Исследование вибраций промышленных швейных машин / Ю. В. Новиков, С. В. Горнак, В. Ю. Новиков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2024. – № 8. – С. 31–41.
5. Новиков Ю. В., Краснер С. Ю., Проектирование автоматической обрезки ниток швейных полуавтоматов / Новиков Ю. В., Краснер С. Ю. – Рига : LapLambert, 2018. – 132 с.
6. Седых, Л. В. Прогрессивное технологическое оборудование : учебное пособие / Л. В. Седых. – Москва : Издательский Дом МИСиС, 2017. – 95 с.
7. Сункуев, Б. С. Расчет и конструирование типовых машин легкой промышленности : учебник / Б. С. Сункуев; – УО «ВГТУ». – Витебск, 2015. – 198 с.

УДК681.5

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СКЛЕЙКИ КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Самусев А. М., асп., Тёмкин Д. А., асп., Мельник В. Д., студ.,
Кузнецов А. А., д.т.н., проф., Науменко А. М., к.т.н.,
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены конструкция и состав мехатронного модуля для склейки пакетов конденсаторов, программный модуль для управления процессом склейки пакетов конденсаторов.*

Ключевые слова: АСУ ТП, мехатроный модуль, шаговый привод, драйвер, SMD конденсаторы, стеклофрита, CoDeSys, ПЛК, МЭК 61131-3, SCADA, HMI.

Современная электронная промышленность предъявляет повышенные требования к качеству и надежности компонентов. Пакеты конденсаторов являются ключевыми элементами в схемах фильтрации, компенсации реактивной мощности и импульсных источниках питания.

Ключевым технологическим «узким местом» при производстве таких пакетов является процесс сборки и пайки. Традиционные методы, часто с высокой долей ручного труда или на основе устаревших систем автоматизации, приводят к следующим проблемам: нестабильность качества паяных соединений; низкая повторяемость и точность; высокий процент брака и большие производственные издержки.

Актуальным направлением совершенствования технологического процесса изготовления пакетов конденсаторов является применение современных средств управления на основе распределённых ПЛК, которые обеспечивают необходимую точность, гибкость и надежность. В качестве аппаратуры сопряжения целесообразно применять современные SCADA-системы. Диспетчерское управление и сбор данных (SCADA) является основным и в настоящее время остается наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) в жизненно важных и критичных с точки зрения безопасности и надежности областях.

В качестве системы перемещения и склейки пакетов конденсаторов был разработан 3-х координатный мехатронный модуль (рис. 1). В состав мехатронного модуля входят: шарико-винтовые передачи, которые обеспечивают перемещение по 3-м осям, шаговый привод, драйверы для управления приводами, система захвата и перемещения керамических SMD конденсаторов, система нанесения стеклофриты.

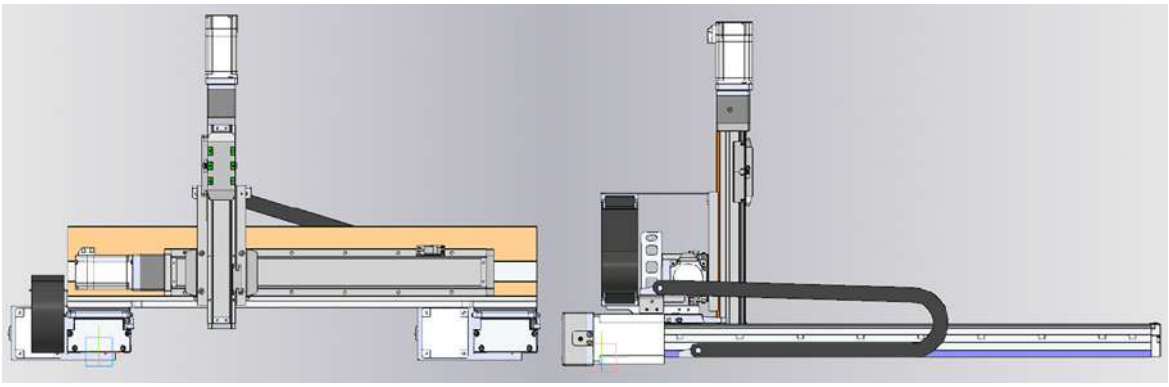


Рисунок 1 – 3D-модель мехатронного модуля

Аппаратная часть включает в себя: программируемый логический контроллер (ПЛК) ПЛК210-04CS, модули расширения- модуль дискретного ввода МВ210-202 и модуль дискретного вывода МУ210-402, сенсорная web-панель ВП110 фирмы ОВЕН; драйверы шаговых приводов MST24 и MST34 фирмы Meyertec.

Исходя из вышеизложенного, был разработан программный модуль для управления процессом склейки керамических конденсаторов в среде разработки CoDeSys v3.5, а также визуальная часть управления процессом с помощью HMI(Human Machine Interface)-панели. Средой управления сбора и обработки информации выступает SCADA-система.

Программный модуль реализован на языке ST стандарта МЭК 61131-3, включающий в себя два алгоритма управления – алгоритм настройки системы и алгоритм основной программы управления (рис. 2).

В режиме настройки «оператор» доступны следующие режимы: тестовый прогон по каждой оси (оси X, Y, Z), в котором задаются начальное ускорение, скорость вращения двигателя, торможение, направление движение вала двигателя: с постоянной скоростью в прямом либо обратном направлениях, останов с ускорением, вывод количества оборотов двигателя; движение системы до заданной координаты, в которой задаются начальное ускорение, скорость вращения двигателя, торможение, количество заданных оборотов, которые необходимо сделать валу двигателя, выбор режима



Рисунок 2 – Выбор режима работы системы

работы привода – абсолютный или инкрементный, вывод текущего направления движения и текущее количество оборотов, которые преодолел вал двигателя (рис. 3). Код программы движения двигателя до заданной координаты приставлен в листинге 1.



Рисунок 3 – Движение двигателя до заданной координаты

Листинг 1 – Код программы движения двигателя до заданной координаты

```
(*для оси У*)
%QX84.0:=TO_BIT(x_button_preset);
%QW45:=speed_draver;
out_int_step:=TO_INT(in_step/4000);
out_tek_step:=out_int_step;
// Движение по оси У
     IF PLC_PRG.i_number_visual=2 THEN
%QX56.00:=x_button_zapis;
     IF x_button_rezim_work AND %QW48=0 THEN
          %QW48:=1;
     END_IF
          out_zad_step:=TO_UDINT(out_in_zad_step)*4000;
     IF out_in_zad_step <> out_tek_step THEN
          u_rezim_work:=1;
          w_rezim:="Вращение";
     END_IF
     IF out_in_zad_step = out_tek_step THEN
          u_rezim_work:=6;
          w_rezim:="Останов";
     END_IF

     END_IF
```

В основном алгоритме работы системы оператор задает номинал емкостей конденсаторов, исходя из стандартного ряда, количество конденсаторов в партии для двух вибропитателей, типоразмер конденсаторов, количество отсортированных конденсаторов, количество готовых пакетов конденсаторов (рис. 4).



Рисунок 3 – Движение двигателя до заданной координаты

Разработка программного модуля для автоматического оборудования при производстве пакетов конденсаторов с использованием распределённых систем обеспечит конкурентоспособность конечной продукции за счет снижения трудовых и материальных затрат по склейке и оплавлению глазури пакетов конденсаторов по сравнению с затратами по существующим технологиям, исключая влияние человеческого фактора на качество выпускаемых пакетов конденсаторов.

УДК 621.865.8

РАЗРАБОТКА СХВАТА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА ПР-4

Суцис К. А., студ., Белов А. А., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены вопросы разработки двухпальцевого схвата промышленного робота. Проектируемое устройство является модульным, что обеспечивает его совместимость с различными промышленными манипуляторами, включая роботы серии ПР-4. Представлена кинематическая схема схвата и его 3D модель.*

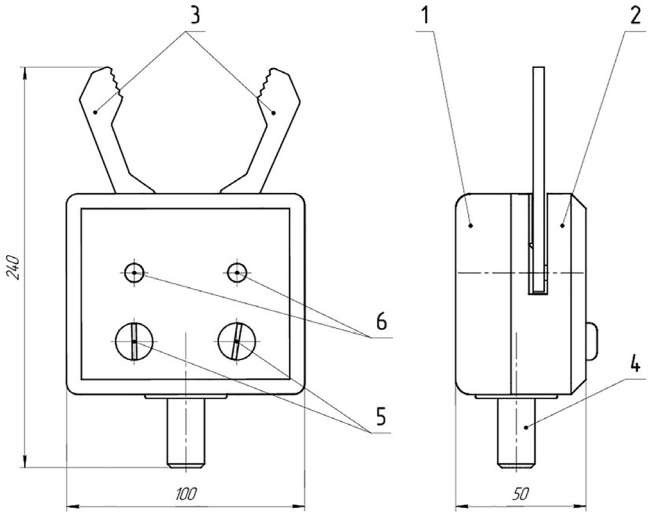
Ключевые слова: двухпальцевый схват, промышленный робот, кинематическая схема.

Двухпальцевый схват представляет собой современный мехатронный модуль манипулятора, оснащенный двумя управляемыми рабочими органами. Основная задача разработки – создание универсального узла, способного выполнять встречное движение губок для реализации операций захвата, надежного удержания и точного позиционирования объектов массой до 3 кг.

Проектируемое устройство является модульным (рис. 1), что обеспечивает его совместимость с различными промышленными манипуляторами, включая роботы серии ПР-4. В отличие от простых релейных систем, данный схват ориентирован на комбинированное управление: позиционное (для точного подвода губок) и силомоментное (для контроля усилия зажатия).

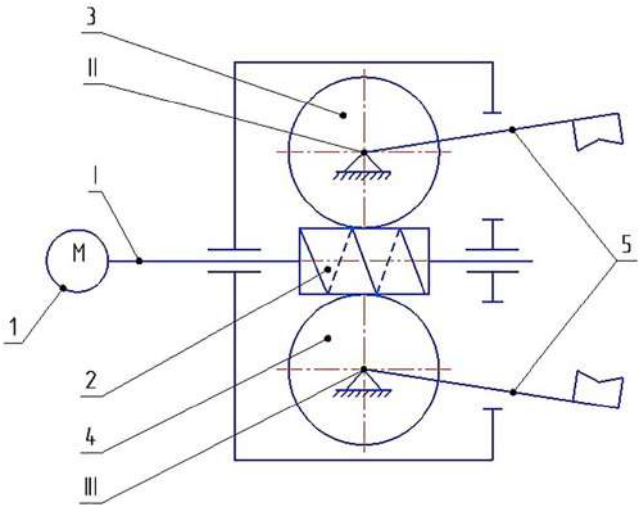
Работа схвата в составе робототехнического комплекса представляет собой циклическое взаимодействие, синхронизированное с общим контроллером. Типовой рабочий цикл включает следующие этапы:

Подвод: робот перемещает схват в зону захвата, при этом губки разомкнуты на ширину, превышающую габариты детали.



1 – корпус; 2 – крышка; 3 – губки; 4 – вал-червяк; 5 – винты;6 – оси

Рисунок 1 – Общий вид



1 – двигатель; 2 – червяк; 3, 4 – червячное колесо; 5 – губки; I–III – вал

Рисунок 2 – Кинематическая схема

Захват: по команде контроллера активируется привод, и губки смыкаются до контакта с объектом.

Фиксация: при достижении заданного значения усилия (контролируется датчиком) двигатель останавливается и переходит в режим удержания.

Транспортировка и отпуск: после перемещения детали в целевую точку двигатель реверсируется, губки раздвигаются, и робот освобождает деталь для следующего цикла.

Электрический схват спроектирован как сложная электромеханическая система. Согласно представленной кинематической схеме (рис. 2), основными узлами являются:

Привод: шаговый двигатель, обеспечивающий высокий крутящий момент и точность перемещения.

Передача: червячный редуктор, состоящий из ведущего червяка и двух симметричных червячных колес. Выбор червячной пары обусловлен необходимостью создания большого передаточного отношения в компактном корпусе.

Исполнительный механизм: рычажная система с длиной плеча 120 мм, преобразующая вращение колес во встречное движение губок.

Применение червячного редуктора гарантирует механическую безопасность: свойство самоторможения предотвращает самопроизвольное разжатие губок при потере питания.

Для реализации интеллектуального захвата устройство оснащается комплексом датчиков.

Датчики положения измеряют текущее раскрытие губок.

Датчик усилия позволяет реализовать адаптивный захват, ограничивая силу сжатия для хрупких деталей.

Обратная связь: использование шагового двигателя в связке с энкодером (Closed-loop Stepper) позволяет системе детектировать и компенсировать пропуски шагов при пиковых нагрузках, что значительно повышает надежность системы по сравнению с разомкнутыми контурами управления. В качестве управляющего ядра предлагается использование ПЛК (например, серии ОВЕН ПЛК-110), который обеспечивает синхронизацию привода схвата с промышленной сетью и другими узлами робота.

Разработанный двухпальцевый схват представляет собой эффективное решение для автоматизации погрузочно-разгрузочных операций. Сочетание шагового двигателя, червячной передачи и системы управления с обратной связью позволяет:

Обеспечить высокую точность позиционирования и плавность хода.

Гарантировать надежное удержание груза за счет механических свойств передачи.

Исключить повреждение деталей благодаря программному контролю усилия.

Данный модуль является технически обоснованным и экономичным аналогом дорогих серво-схватов, сохраняя при этом все необходимые эксплуатационные характеристики для современной промышленности.

Процесс проектирования сопровождался созданием трехмерной цифровой модели всего координатного модуля в среде САПР «КОМПАС-3D» (рис. 3 и 4).

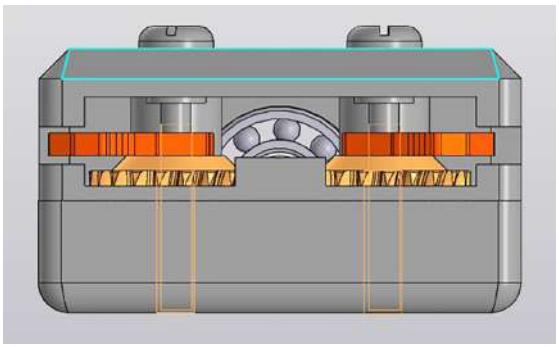


Рисунок 3 – Вид захватного устройства спереди

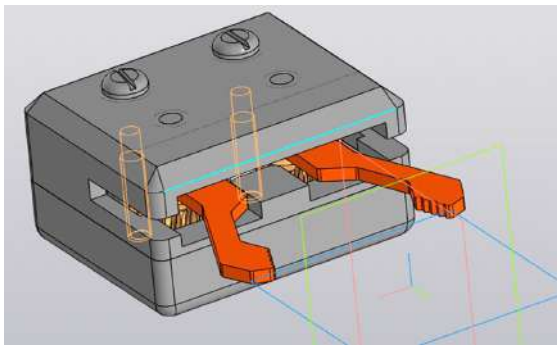


Рисунок 4 – Изометрический вид захватного устройства

Список использованных источников

1. Промышленные роботы в машиностроении: альбом схем и чертежей: учебное пособие для технических вузов / Ю. М. Соломенцев, К. П. Жуков, Ю. А. Павлов [и др.] ; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1986. – 140 с.
2. Промышленные роботы: полное руководство // EVS ROBOTICS. – URL: https://www.evsint.com/ru/guide-to-industrial-robots/ (дата обращения: 20.03.2025). – Текст : электронный.
3. Таугер, В. М. Конструирование мехатронных модулей : учебное пособие / В. М. Таугер. – Екатеринбург : УрГУПС, 2009. – 336 с.
4. Оборудование для автоматизации и управления // OWEN : [сайт]. – URL: https://owen.ru (дата обращения: 21.03.2025). – Текст : электронный.

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СОРТИРОВКИ КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Захаревич А. А., студ., Тёмкин Д. А., асп., Самусев А. М., асп, Науменко А. М., к.т.н., Джежора А. А., д.т.н., доц.

Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

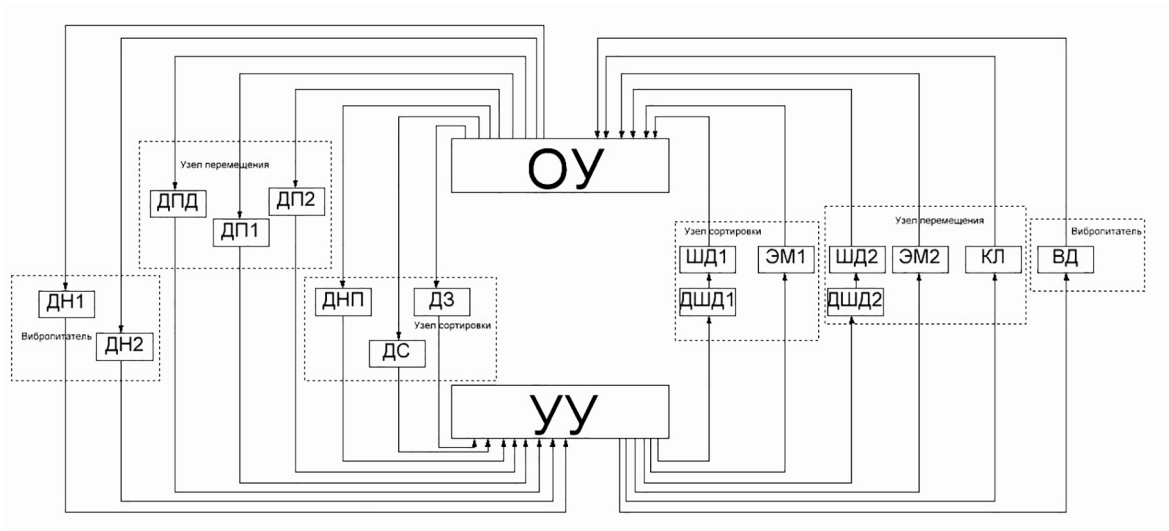
Реферат. *В статье рассмотрены вопросы разработки программного модуля для управления процессом сортировки керамических конденсаторов с использованием измерителя Keysight E4981A.*

Ключевые слова: керамические конденсаторы, программный модуль, сортировка, измеритель емкости, ПЛК.

Керамические конденсаторы – это один из самых распространенных типов конденсаторов, широко используемых в различных областях электроники и электротехники. Они привлекают внимание за счет своей компактности, долговечности и разнообразия характеристик, которые делают их универсальными для разных приложений.

Объем мирового рынка керамических электрических конденсаторов оценивается в 9,5 млрд долларов США в 2024 году и, как ожидается, достигнет 19 млрд долларов США к 2034 году, увеличиваясь в среднем на 7,5 % в период с 2025 по 2034 год, что связано с более широким применением конденсаторов, увеличением инвестиций в электрооборудование и их ролью в качестве компонентов накопителя энергии. Миниатюризация и более высокая емкость являются основными тенденциями, поскольку производители стремятся идти в ногу с требованиями более компактных и эффективных устройств.

Для разработки программного модуля управления сортировки керамических конденсаторов была выполнена структурная схема автоматизированной системы (рис. 1).



ОУ – объект управления; ДПД – датчик перепада давления (вакуума);
ДН1, ДН2 – датчик наличия на вибробункере; ДЗ – датчик положения заслонки;
ДП1-ДП2 – датчики нач. и конечн. положения узла перемещения;
ДНП – датчик нач.положения узла сортировки; ДС – энкодер на револьвер сортировки;
УУ – устройство управления (ПЛК+модули расширения, ПЭВМ, измеритель ёмкости);
ДШД1, ДШД2 – драйверы шаговых приводов; ШД1, ШД2 – шаговый привод;
ЭМ1,ЭМ2 – электромагниты управления прижимных губок;
КЛ – клапан для вакуума; ВД – вибродвигатель

Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированной системы сортировки керамических конденсаторов

Система строится по трехуровневой иерархической модели: на нижнем уровне – измеритель, на среднем уровне – ПЛК и на верхнем уровне автоматизированное рабочее место (АРМ).

В качестве измерителя емкости был взят измеритель ёмкости Keysight E4981A с высокой скоростью обработки измерения на 2,3 мс на частоте 1 МГц, 3,0 мс на частоте 1 кГц, 11,0 мс на частоте 120 Гц. Погрешность измерения ±0,07 % и тангенса угла потерь (D) ±0,0005.

Для передачи данных с нижнего уровня E4981A был разработан программный модуль (листинг 1), который позволяет обработать информацию с необходимой частатой и передать ее на средний уровень.

Разработанный программный модуль для автоматизированной системы с использованием измерителя E4981A позволит передавать измеренные значения на средний уровень для последующей сортировки керамических конденсаторов.

Листинг 1 – Программный модуля для обработки информации

```
import pyvisa
import time
import csv
from datetime import datetime
import matplotlib.pyplot as plt

class E4980ALController:
    def __init__(self):
        self.rm = None
        self.instrument = None
        self.connected = False



# Пример использования
def main():
    lcr = E4980ALController()

    # Выбор способа подключения
    print("Выберите способ подключения:")
    print("1 - USB")
    print("2 - Ethernet")

    choice = input("Ваш выбор (1 или 2): ")

    if choice == '1':
        # Подключение через USB
        success = lcr.connect_usb()
    elif choice == '2':
        # Подключение через Ethernet
        ip = input("Введите IP адрес: ")
        success = lcr.connect_ethernet(ip)


    else:
        print("Неверный выбор")
        return

    if not success:
        print("Не удалось подключиться к прибору")
        return

    try:
        # Настройка измерения
        lcr.setup_measurement(frequency=1000,            voltage=1.0,
mode='CPRP')

        # Одиночное измерение
        print("\n--- Одиночное измерение ---")
        primary, secondary = lcr.single_measurement()
        if primary is not None:
            print(f"Результат:                Primary={primary:.6f},
Secondary={secondary:.6f}")

        # Выбор типа измерений
        print("\nВыберите тип измерений:")
        print("1 - Одиночное измерение")
        print("2 - Непрерывные измерения")
        print("3 - Сканирование по частоте")

        measure_choice = input("Ваш выбор (1-3): ")
```

```
            if measure_choice == '1':
                # Одиночное измерение
                primary, secondary = lcr.single_measurement()
                if primary is not None:
                    print(f"Результат:              Primary={primary:.6f},
Secondary={secondary:.6f}")

            elif measure_choice == '2':
                # Непрерывные измерения
                duration = int(input("Продолжительность (сек): "))
                interval = float(input("Интервал (сек): "))
                lcr.continuous_measurement(duration=duration,
interval=interval)

            elif measure_choice == '3':

        finally:
            lcr.disconnect()

    if __name__ == "__main__":
        main()
```

УДК 681.5

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАТЧИКА ОЗОНА В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

Салманович С. И., студ., Леонов В. В., ст. преп., Тёмкин Д. А., асп., Самусев А. М., асп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены вопросы применения датчиков озона в промышленности, нормы концентрации озона в окружающей среде.*

Ключевые слова: датчики озона, нормы концентрации, серия MQ, системы автоматизации.

В современном мире, где вопросы экологической безопасности, промышленного развития и сохранения здоровья населения выходят на первый план, особое значение приобретает контроль за состоянием атмосферного воздуха и технологическими процессами. В центре этого внимания находится озон – газ с уникальной двойственной природой: он жизненно необходим как защитный слой в стратосфере, но становится опасным токсином в приземном слое, угрожая здоровью людей, экологии и даже сохранности материалов. Растущая урбанизация, ужесточение экологических норм и активное внедрение озона в промышленные технологии (от очистки воды до микроэлектроники) делают мониторинг его концентрации не просто актуальной задачей, а критически важным элементом безопасности и эффективности.

Прежде всего, контроль концентрации озона критически важен для защиты здоровья населения. В странах СНГ приземный озон классифицируется как вещество 1-го класса опасности (чрезвычайно опасное), находясь в одной категории с бензапиреном. Высокая токсичность газа подтверждается медицинскими последствиями: даже кратковременное воздействие повышенных концентраций способно вызывать головную боль, кашель, приступы удушья и нарушения сердечной деятельности. Длительное воздействие ведет к развитию хронических заболеваний сердечно-сосудистой и дыхательной систем и повышает риск преждевременной смертности. В этом контексте датчики озона становятся незаменимым инструментом для расчета индекса качества воздуха (AQI), позволяя своевременно предупреждать

чувствительные группы населения – детей, пожилых людей и астматиков – о потенциальных рисках.

Не менее важную роль играет экологический мониторинг и контроль соблюдения нормативов. Данные наблюдений за 2024 год свидетельствуют о регулярных превышениях предельно допустимых концентраций озона на большинстве российских станций, включая разовые, среднесуточные и среднегодовые показатели. В таких городах, как Москва и Санкт-Петербург, уровень озона превышает ПДК на 10–20 %. В связи с этим предприятия обязаны строго контролировать выбросы, а нарушение норм, установленных СанПиН 1.2.3685-21, грозит штрафами или приостановкой деятельности. Кроме того, озон служит индикатором фотохимических процессов в атмосфере, поскольку образуется в результате реакций между оксидами азота и летучими органическими соединениями под воздействием солнечного света.

Широкое применение озон находит и в промышленности, где его использование сопряжено с необходимостью жесткого контроля безопасности и технологических процессов. В сфере очистки воды и стоков озон активно вытесняет хлор благодаря своей способности эффективно уничтожать патогены. Для этого применяются амперометрические или фотометрические датчики, позволяющие точно определить «озонную потребность» воды и гарантировать отсутствие остаточного газа перед подачей воды потребителям.

В пищевой промышленности озон используется для стерилизации продуктов и помещений: здесь датчики контролируют достижение летальных для бактерий концентраций и подтверждают снижение уровня газа до безопасных значений (ниже 0,1 ppm) перед допуском персонала.

В медицине, в частности при озонотерапии, точное дозирование становится вопросом безопасности, так как терапевтическое окно озона крайне узко, а превышение дозы делает его токсичным для тканей человека.

Технологическая эффективность и защита материалов также требуют применения чувствительных газоанализаторов. В микроэлектронике, где озон используется для очистки кремниевых пластин от органических загрязнений, необходимы датчики со сверхнизким пределом обнаружения (до 0–50 ppb), поскольку даже следовые количества газа могут окислить чувствительные компоненты. Контроль концентрации озона важен и для сохранности имущества: этот газ разрушает резину, каучук и окисляет многие металлы, поэтому его мониторинг в складских и производственных помещениях помогает предотвратить порчу материалов и готовой продукции.

Датчики серии MQ – это набор газовых датчиков, используемых для идентификации различных типов газов. Они очень полезны для измерения концентрации газов и могут применяться в чувствительных областях, таких как химическая промышленность. Каждый тип датчика MQ предназначен для обнаружения определенных газов.

Нормы концентрации озона в окружающей среде:

– максимальная разовая предельно допустимая концентрация (ПДК м.р.) в атмосферном воздухе населённых мест 0,16 мг/м^3 (0,08 PPM);

– среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК с.с.) в атмосферном воздухе населённых мест 0,03 мг/м^3 (0,015 PPM);

– предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны 0,1 мг/м^3 (0,05 PPM).

Порог человеческого обоняния приближённо равен 0,01 мг/м^3 (0,005 PPM), минимальная смертельная концентрация (LD50) – 4,8 ppm (9,6 мг/м^3)

Для эффективной дезинфекции помещений озоном используются концентрации от 1 до 10 мг/м³, а для уничтожения сильных запахов и плесени – 10–60 мг/мм³. Озонирование проводится строго без людей, а после обработки необходима вентиляция.

Основные показатели концентрации озона при обработке в системах автоматизации:

– Удаление запахов/дезинфекция (квартиры, авто): 1–5 мг/м³ (0,5-1 PPM) при экспозиции от 30 до 60 минут.

– Уничтожение плесени, вирусов: 5–10 мг/м³ (2,5-5 PPM) и выше.

– Озонирование воды: 0,3–1,0 г/м³ (0,15-0,5 PPM) (для питьевой воды).

– Озонирование зерна/складов: 30–60 мг/м³ (15-30 PPM).

Важные примечания:

– Человек чувствует запах озона уже при концентрации 0,01 мг/м³ (0,005 PPM).

– При дезинфекции яйцепродуктов или яиц достаточно 0,8 мг/м³(0,4 PPM) в течение часа.

– После завершения работы озонатора (генератора озона) необходимо выждать 1–2 часа

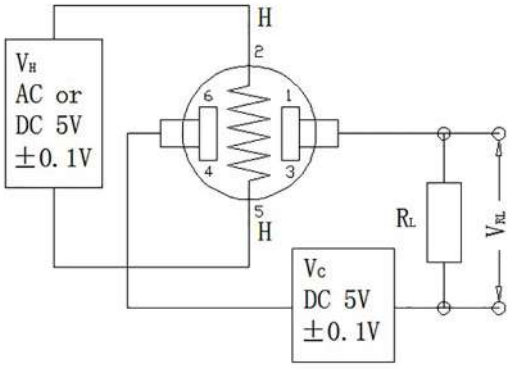


Рисунок 1 – Электрическая схема подключения

до полной деактивации газа перед входом в помещение.

Существует два крупных производителя датчиков озона: Hanwei и Winsen, в даташите Hanwei указано точное значение $Vc = 5$ В (рис. 1), в даташите Winsen – $Vc < 24$ В. Для систем автоматизации унифицированное напряжение 24 В.

На основе технической документации для датчика озона MQ-131 построены графики зависимости (рис. 2).

На основе графиков рисунка 2 построен график чувствительности (рис. 3).

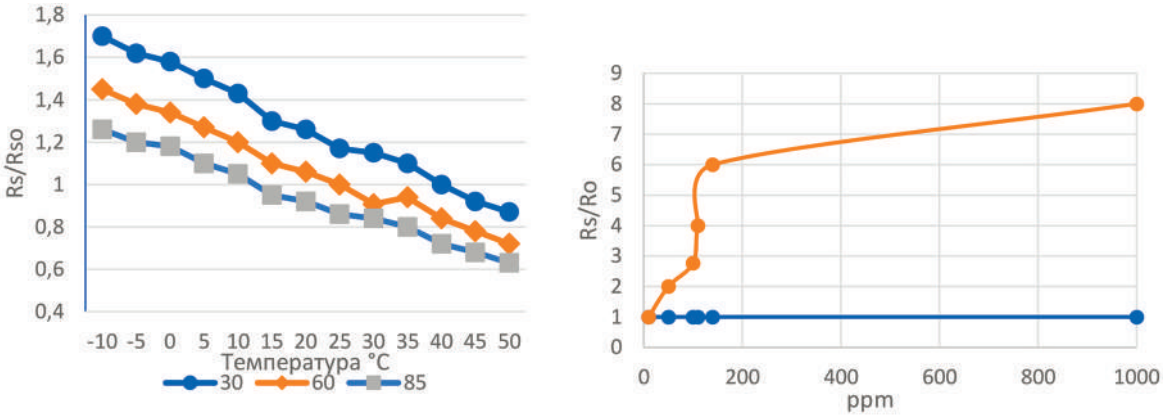


Рисунок 2 – Характеристики датчика, построенные по данным производителя

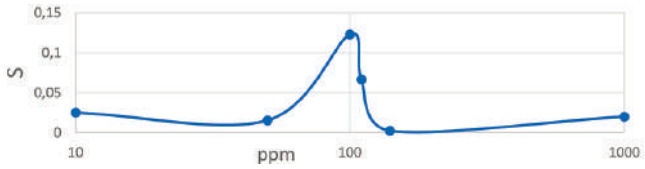


Рисунок 3 – График чувствительности датчика

Так как данный датчик имеет увеличение чувствительности в районе 100 ppm в 6 раз, его целесообразнее использовать как дискретный датчик для контроля превышения 100 ppm. В реальных техпроцессах для хранения овощей используется диапазон 0–20 ppm, чтобы «не пережечь» овощи. В случае использования его в качестве измерительного элемента необходим промышленный контроллер с развитыми математическими функциями, а также для увеличения точности целесообразно добавить датчик температуры для компенсации температурной зависимости.

УДК 537.622

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИКЕЛЬ-ЦИНКОВЫХ ФЕРРИТОВ $(Ni_{1-x}Zn_x)Fe_2O_4$ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ СОСТАВА

Шут В. Н., д.ф.-м.н., проф.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь.

Реферат. *По толстопленочной технологии с использованием двухступенчатого режима спекания изготовлена однородная и градиентная многослойная керамика на основе феррита $(Ni_{1-x}Zn_x)Fe_2O_4$ $(x = 0–0.2)$. Определены параметры элементарных кристаллических ячеек и значения основных магнитных характеристик: температуры Кюри, удельной намагниченности и магнитной восприимчивости, изучены петли магнитного гистерезиса. Изучены особенности намагничивания многослойных структур при двух вариантах воздействия внешнего магнитного поля: параллельно и перпендикулярно плоскости слоев. Сдвига петель магнитного гистерезиса в исследуемых материалах при различной геометрии эксперимента не обнаружено. Проведен анализ возможных причин отсутствия сдвига петель в объемных магнитных материалах с градиентом состава.*

Ключевые слова: никель-цинковые ферриты, многослойная градиентная керамика, магнитные характеристики.

Синтез полярных керамических материалов с изменяющимися по объёму свойствами – градиентных ферроиков (graded ferroics), считается в настоящее время одним из наиболее перспективных направлений физики магнитных материалов, направленных на повышение их электрофизических характеристик [1–3]. Кроме большой практической значимости, градиентные ферроики представляют интерес и с точки зрения получения фундаментальных знаний о физике сегнетоэлектрической или магнитной неустойчивости в данных соединениях. В отличие от сегнетоэлектриков, объём экспериментальных исследований по магнитным структурам невелик. В то же время создание градиентных магнитных керамик с целью модификации «традиционных» характеристик материалов – магнитной проницаемости, удельной намагниченности, петель гистерезиса – представляет несомненный интерес. В последние годы появились работы, подтверждающие увеличение магнитоэлектрического эффекта в композиционных структурах с градиентной магнитной подсистемой [4]. Технологически удобным материалом для создания указанных структур являются магнитомягкие никель-цинковые ферриты $(Ni_{1-x}Zn_x)Fe_2O_4$ (НЦФ). Целью данной работы является получение многослойной ферритовой керамики на основе НЦФ, содержание цинка в которой менялось в пределах $x = 0{-}0{,}2$, и изучение её магнитных характеристик.

При изготовлении отдельных слоев использовался метод шликерного литья (толстоплёночная технология). Синтез исходных поликристаллических порошков $(Ni_{1-x}Zn_x)Fe_2O_4$ трёх составов: ($x = 0$; 0,1; 0,2) проводили на воздухе в два этапа [5]. Из приготовленных порошков методом шликерного литья отливались пленки толщиной ~ 25 μm [2]. Пленки прессовались в пакеты с требуемой конфигурацией слоев. Однородные структуры (с фиксированной концентрацией цинка) собирались из пленок одинакового состава. Для изготовления градиентных структур совместно прессовались пленки различных составов $(Ni_1Fe_2O_4 + (Ni_{0.9}Zn_{0.1})Fe_2O_4 + (Ni0_{.8}Zn_{0.2})Fe_2O_4)$ по три пленки каждого состава. Из пакетов вырубались заготовки размерами 5,5×4,0 mm. Для уменьшения диффузионных процессов на границах слоев с различным составом был применен двухступенчатый режим спекания образцов. На первом этапе температура полученных заготовок повышалась до максимального значения 1270 °C, затем снижалась до 1100 °C при которой осуществлялась выдержка в течение 3 h. Окончательная толщина многослойных образцов составляла ~ 200 μm.

Рентгеноструктурные исследования как однородных, так и градиентных образцов показали, что используемая технология синтеза позволяет получать однофазные структуры в диапазоне концентрации замещения никеля цинком $x = 0{-}0{,}2$. Размеры элементарной ячейки синтезированной керамики оказались близкими к значениям, приведенным в базе данных

PCPDFWIN [6].Это свидетельствует о хорошем качестве структуры полученных образцов и сбалансированности условий их синтеза.

Результаты изучения удельной намагниченности σ и магнитной восприимчивости χ твердых растворов ферритов системы $(Ni_{1-x}\ Zn_x)\ Fe_2O_4$ $(x = 0; 0{,}1; 0{,}2)$ и многослойных структур на их основе представлены на рисунке 1 в виде температурных зависимостей $\sigma = f_1(T)$, и $10^{-2}/\chi = f2(T)$. Установлено, что характеристики синтезированных однородных по составу слоев и многослойных структур устойчивы к прогреву до температуры 850 K.

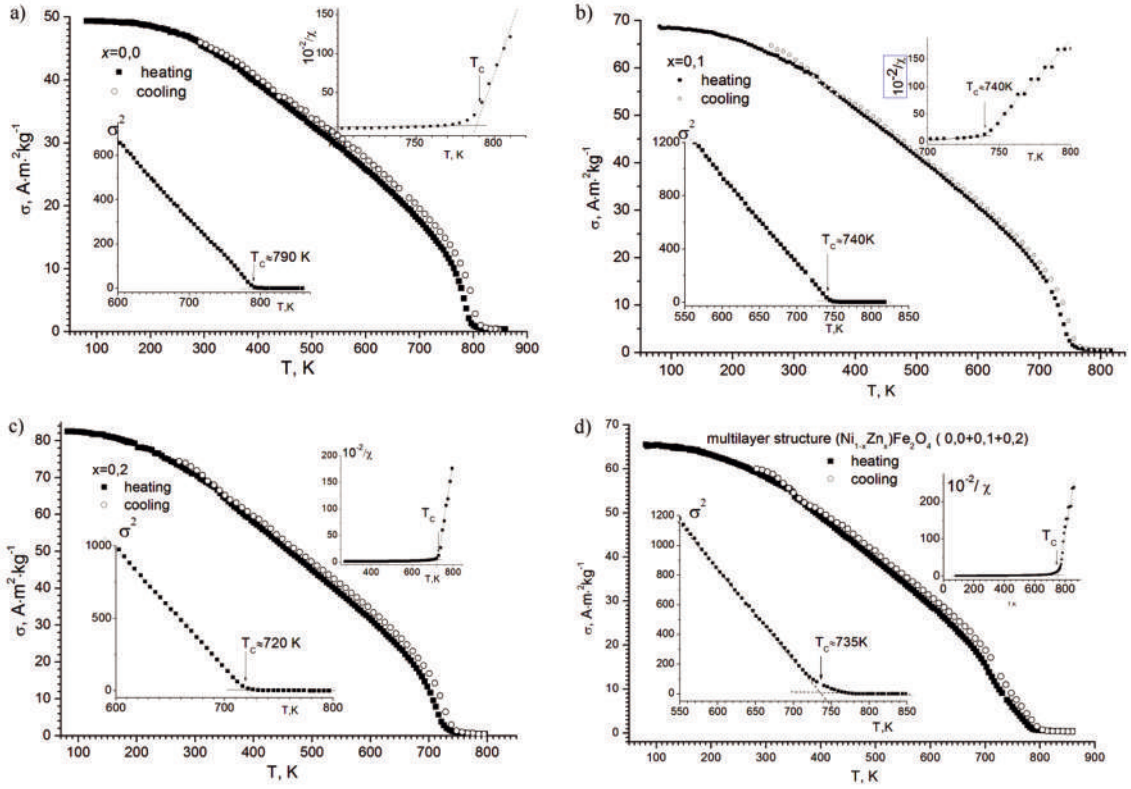


Рисунок 1 – Температурные зависимости удельной намагниченности $\sigma = f_1(T)$; обратной магнитной восприимчивости $10^{-2}/\chi = f_2(T)$ (верхняя вставка); прямолинейного участка квадратичной зависимости $\sigma^2 = f_3(T)$ (нижняя вставка) твердых растворов $(Ni_{1-x}Zn_x)Fe_2O_4$: a – концентрация цинка 0 мол.%; b – 10 мол.%; c – 20 мол.%; d – многослойная структура с изменением концентрации цинка по толщине от 0 до 20 мол.%

Обнаружено, что увеличение содержания цинка в керамике приводит к усилению разкомпенсации антиферромагнитного упорядочения, свойственного этому ферриту. Наблюдалось увеличение удельной намагниченности от 45.30 до 70.95 $A \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$ при комнатной температуре и величины магнитного момента от 2,09 до 3,48 μB вблизи температуры жидкого азота. При этом увеличение на ~ 0,8 % параметра а элементарной кристаллической ячейки приводит к ослаблению магнитных обменных взаимодействий между катионами и обуславливает уменьшение температуры Кюри от 790 до 720 K.

Исследованы особенности намагничивания полученных многослойных структур при двух вариантах приложения внешнего магнитного поля – соответственно параллельно плоскости образца $(H \perp \Delta\sigma)$ и перпендикулярно ей $(H \parallel \sigma)$. Результаты эксперимента подтвердили предположение, что результирующая петля магнитного гистерезиса многослойной структуры (при $H \perp \sigma$) может быть получена «суммированием» ординат петель магнитного гистерезиса отдельных слоёв структуры. Параметры экспериментально полученных петель гистерезиса хорошо согласуются с расчетными значениями. Следует отметить, что характеристики многослойной структуры не являются средними значениями соответствующих величин, образующих ее однородных слоев, а обладают несколько меньшими значениями.

Значение градиента намагниченности в исследуемых образцах составляло $\frac{d\sigma}{dz} \approx 90 \frac{A \cdot m^2}{kg \cdot mm}$.

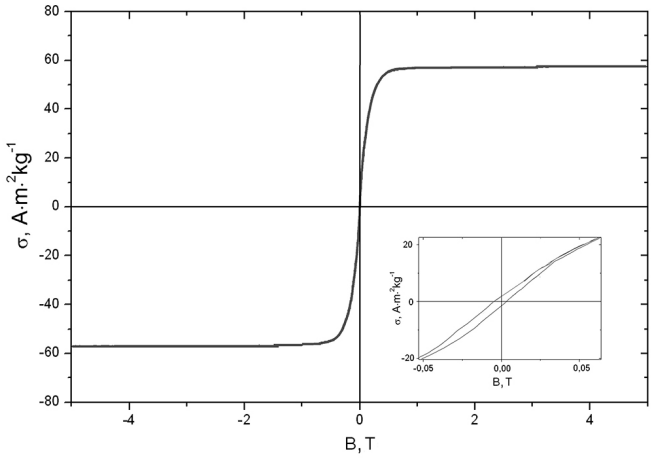


Рисунок 2 – Петля магнитного гистерезиса образца $(Ni_{1-x}Zn_x)Fe_2O_4$ с градиентом состава: магнитное поле $H \parallel \sigma$ (на вставке приведена область вблизи $B = 0$)

Было установлено, что при созданном градиенте намагниченности никакого сдвига петли гистерезиса (ни по одной из осей σ или B), свидетельствующего о наличии в исследуемых материалах внутреннего магнитного поля, не наблюдалось (рис. 2).

Проведен анализ возможных причин отсутствия на эксперименте теоретически предсказанных эффектов. Наиболее вероятной причиной этого является наличие в системе полидоменной структуры, которая препятствует возникновению внутреннего магнитного поля, и соответственно, сдвигу петли магнитного гистерезиса [5].

Список использованных и источников

1. Mantese, J. V. Graded Ferroelectrics, Transpacitors and Transponents / J. V. Mantese, S. P. Alpay. – New York : Springer, 2005. – 153 p.
2. Shut, V. N. Ferroelectrics / V. N. Shut, S. R. Syrtsov, V. L. Trublovsky [et al.] // Ferroelectrics. – 2009. – Vol. 386, No. 1. – P. 125–130.
3. Shut, V. N. Phase Transitions: A Multinational Journal / V. N. Shut, S. R. Syrtsov, V. L. Trublovsky // Phase Transitions. – 2010. – Vol. 83, № 5. – P. 368–375.
4. Mandal, S. K. Physical Review / S. K. Mandal [et al.] // Physical Review B. – 2011. – Vol. 84, No. 1. – P. 014432.
5. Шут, В. Н. Кристаллическая структура и магнитные свойства керамики (Ni1-xZnx)Fe2O4 с градиентом состава / В. Н. Шут [и др.] // Физика твердого тела. – 2016. – Т. 58, № 10. – С. 1975–1980.
6. Международный центр дифракционных данных JCPDS PCPDFWIN [База данных]. – Ньютон-Сквер : Международный центр дифракционных данных, 1998. – Версия 2.00. – Карты 89-4927, 86-2267, 03-0875, 10-0325.

УДК 685.34.016:685.34.05

ОБРАТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОДОШВ ОБУВИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-СКАНИРОВАНИЯ

Науменко А. М., к.т.н., Леонов В. В., ст. преп., Кисель К. С., студ. Точилин А. С., студ.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены вопросы проектирования пресс-форм для литья подошв обуви с использованием обратного проектирования. Описаны этапы 3D-сканирования, формирования твердотельной модели, разработка управляющей программы для станка с ЧПУ. Рассмотрены основные преимущества обратного проектирования.*

Ключевые слова: компьютерная программа; NURBS-модель; ЧПУ; пресс-форма; литье подошв обуви; облако точек.

Использование формованных подошв при изготовлении обуви клеевого метода крепления значительно уменьшает трудоемкость и увеличивает производительность за счет исключения ряда технологических операций по получению деталей, их предварительной и окончательной обработке, улучшает потребительские свойства: повышается сопротивление истиранию подошвы, увеличивается срок службы обуви, водопроницаемость приближается к нулю и т. п.

В условиях высокой конкуренции и постоянного обновления ассортимента, ключевым фактором эффективности работы обувного предприятия является скорость и гибкость подготовки производства. Центральным звеном этой подготовки выступает инструментальное производство, а именно – создание пресс-форм для литья подошв. От качества, точности и долговечности пресс-формы напрямую зависит не только внешний вид и потребительские свойства готовой обуви, но и экономическая эффективность ее массового производства. Технологический процесс изготовления пресс-форм является сложным, наукоемким и многоступенчатым, требующим применения передовых цифровых технологий и высокоточного оборудования.

Целью данной статьи является анализ процесса проектирования пресс-форм для литья подошв обуви с использованием обратного проектирования.

В отличие от классического проектирования, которое начинается с идеи и техзадания, в данной работе процесс создания цифровой модели изделия осуществляется на основе готового изделия (обратное проектирование).

Главное преимущество обратного проектирования – это возможность создать полноценную цифровую модель пресс-формы даже в условиях отсутствия конструкторской документации. Это особенно важно для предприятий, использующих формы иностранного производства, запасы которых уже исчерпаны или более не выпускаются. Также метод востребован при ремонте и доработке изношенных форм: сканирование позволяет точно локализовать критические зоны и разработать заменяемые элементы без полной переделки всей конструкции.

К числу других преимуществ можно отнести:

– минимизация времени и затрат на разработку новой формы;
– возможность модернизации и улучшения конструкции в цифровом виде;
– повышение точности за счет цифровой верификации моделей;
– снижение зависимости от внешних поставщиков и чертежей;
– сохранение формы как цифрового архива для будущего тиражирования.

В современном инструментальном производстве качество пресс-формы напрямую зависит от точности исходных данных. Исходным материалом для разработки служит физический образец подошвы.

Первым этапом в процессе проектирования является точное снятие геометрических размеров. При помощи измерительных инструментов фиксировались ключевые параметры подошвы: общая длина, ширина в различных сечениях, высота каблучной и носочной частей, а также глубина рисунка. Полученные данные служат реперными точками для калибровки и проверки точности трехмерной модели.

Вторым этапом является перенос геометрии подошвы в цифровую среду для последующего проектирования и обработки на станках с ЧПУ. Эту задачу решает технология 3D-сканирования, выполняется с применением портативного триангуляционного 3D-сканера, например, Shining EinScan Pro HD, обеспечивающего высокое качество съемки, объемную точность (с маркерами) до 0,05 мм, скорость обработки до 3 000 000 точек/сек.

Принцип работы сканера заключается в бесконтактном считывании координат точек поверхности объекта и формировании «облака точек». В процессе сканирования формируются данные о топологических особенностях подошвы: углублениях протектора, боковой геометрии, переходных поверхностях и рельефных элементах. Для достижения максимальной точности и исключения «слепых зон» сканирование производится с нескольких ракурсов, после чего полученные фрагменты облака точек автоматически сшиваются в единую трехмерную структуру.

На третьем этапе полученное в результате сканирования облако точек импортируется в специализированное программное обеспечение Rhinocheros 8. Дискретный набор точек преобразуется в полигональную, а затем в твердотельную NURBS-модель (рис. 1), пригодную

для инженерных расчетов и последующего производства. Первоначальная модель, будучи точной копией физического образца, часто содержит шумы, неровности или дефекты сканирования. В результате обработки геометрии сглаживаются артефакты и устраняются неоднородности сетки. Параллельно с этим выполняется улучшение и редактирование модели в соответствии с техническим заданием. Производится корректировка углов наклона для лучшего сцепления подошвы с поверхностью, доработка внутренних полостей для последующего размещения деталей низа обуви, оптимизация толщин стенок для обеспечения технологичности будущей пресс-формы.

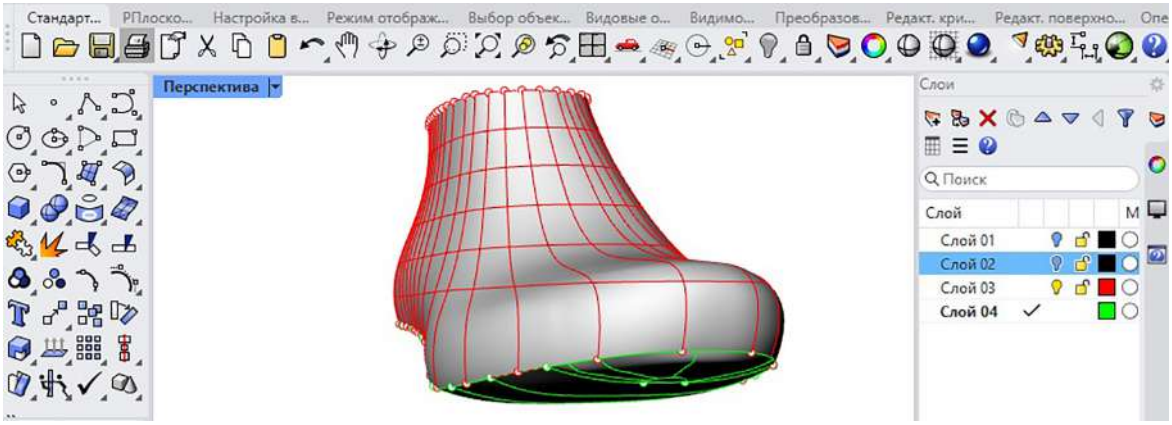


Рисунок 1 – Твердотельная NURBS-модель

Четвертым этапом является проектирование оснастки для ее производства – пресс-формы. Используя доработанную модель подошвы, в среде САПР конструируется пресс-форма, состоящая из матрицы и пуансона. При проектировании учитывается усадка материала, расположение литниковой системы для впрыска полимера и наличие уклонов для легкого извлечения готового изделия, разрабатывается производственная документация.

Пятым этапом является разработка управляющей программы (G-кода) для станка с ЧПУ. Специализированный CAM-модуль, например, Siemens NX анализирует 3Д-модель пресс-формы, рассчитывает оптимальные траектории движения режущего инструмента, скорости резания и подачи. Для обработки сложных поверхностей программа автоматически разбивает процесс на черновую обработка (для снятия основной массы материала) и чистовую обработку (для достижения требуемой шероховатости), автоматическую смену фрез различного диаметра и профиля. Также выполняется сравнение финальной модели с исходным объектом по отклонениям, симметрии и посадочным точкам.

Шестым этапом является передача готового управляющего кода на 5-осевой обрабатывающий центр с ЧПУ PENTAMAC. В результате высокоточной обработки на станке изготавливается готовая пресс-форма, полностью соответствующая разработанной цифровой модели и пригодная для дальнейшего использования в процессе литья или вулканизации подошв.

Обратное проектирование пресс-форм становится востребованным инструментом в самых разных отраслях – от автомобильной промышленности до медицины. Отдельного внимания заслуживает применение в условиях импортозамещения. Многие отечественные предприятия сталкиваются с задачей воспроизводства форм, поставки которых прекратились. В таком случае обратное проектирование позволяет сократить путь от образца до готовой формы в 2–3 раза по сравнению с классическим проектированием. Вместе с тем, сохраняется возможность внесения улучшений: добавление рёбер жёсткости, коррекция углов уклона, модернизация охлаждающей системы. Всё это можно реализовать на этапе цифрового моделирования, избежав дорогостоящих ошибок при изготовлении.

Таким образом, обратное проектирование представляет собой высокотехнологичный процесс создания точной цифровой CAD-модели на основе готового физического изделия или существующей оснастки, что позволяет полностью отказаться от долгого и дорогостоящего проектирования с нуля. Благодаря применению современных 3D-сканеров предприятие

получает возможность оперативно копировать сложные компоненты. Этот подход сокращает общие сроки подготовки производства, оптимизирует затраты на проектирование и позволяет легко модернизировать выпускаемые изделия на этапе редактирования цифровой модели. В конечном итоге предприятие формирует надежный электронный архив всей используемой оснастки, гарантируя стабильность, гибкость и непрерывность всего производственного цикла.

Список использованных источников

1. Минец, В. В. Применение 3D-технологий в производстве обуви / В. В. Минец, О. А. Белицкая // Современные задачи инженерных наук : сборник стендовых докладов молодых ученых и студентов : Международный Косыгинский Форум. – Москва : ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2019. – С. 122–124.
2. Стронгин, Б. М. Проектирование пресс-форм обувного производства / Б. М. Стронгин. – Москва : Легпромбытиздат, 1988. – 120 с.

УДК 621.791.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Джежора А. А., д.т.н., проф.,
Науменко А. М., к.т.н., Буткевич В. Г., к.т.н., доц., Юрченко О. Н., асп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *Ультразвуковая сварка является одним из наиболее эффективных методов соединения текстильных материалов. В статье описана конструкция лабораторной установки для исследования процесса ультразвуковой сварки текстильных материалов. Исследованы характеристики сварных швов нетканых материалов на прочность. Проведен анализ факторов, влияющих на прочность сварных швов нетканых материалов.*

Ключевые слова: ультразвуковая сварка, нетканые материалы, лабораторная установка; разрывная нагрузка; разрывное удлинение.

Ультразвуковая сварка – это инновационный бесшовный технологический способ соединения текстильных материалов. Этот метод применим для соединения текстильных материалов из всех видов термопластичных волокон. Основные преимущества ультразвуковых технологий – это простота применения, отсутствие расходных материалов, легкая автоматизация, то есть встраивание модулей ультразвуковой сварки в технологические линии.

При ультразвуковом способе сварки нагревание материалов в зоне соединения происходит благодаря их упругим колебаниям ультразвуковой частоты. Материалы при этом способе скрепляются путём образования ряда сварных точек заданного размера. Особенностью ультразвуковой сварки материалов является локальная направленность теплового воздействия, и, как следствие, отсутствие деформации и напряжения, стабильность качества. С помощью ультразвука можно сваривать однородные и разнородные материалы различной толщины без подготовки поверхности. Оптимальное время сварки для каждого вида изделия определяется технологическим режимом. Время ультразвукового воздействия: от долей секунды до нескольких секунд [1].

Основная задача при соединении материалов – получение швов максимальной прочности. Оборудование должно обеспечивать выполнение таких швов с максимальной производительностью. Прочность швов характеризуется совокупностью параметров, количество и сущность которых зависят от вида применяемого способа соединения.

При ультразвуковой сварке синтетических волокнистых материалов образуется сварочный шов, обладающей определенной аутогезионной прочностью [2].

При прочих постоянных значениях параметров сварки время сварки зависит от толщины материала, площади сварки, химического состава и пролетного содержания синтетических волокон.

Процесс ультразвуковой сварки синтетических волокнистых материалов характеризуется следующими основными параметрами:

а) амплитудой колебаний;
б) сварочным усилием;
в) временем сварки;
г) фиксированным зазором [3].

Кроме того, на прочность сварного соединения оказывают влияние физико-химические свойства материалов (плотность материала, скорость звука в материале, коэффициент затухания колебаний в материале, химический состав, теплоемкость, теплопроводность, температура плавления и др.); а также размеры опоры, толщина материала, размеры сварного шва, вид деформации шва [4].

В связи с вышеизложенным проведены исследования сварных швов текстильных материалов на прочность. Для проведения экспериментов были выбраны нетканые материалы: спанбонд из расплава волокон полипропилена плотностью 60 г/м^2 и 80 г/м^2.

Использована экспериментальная лабораторная установка, разработанная сотрудниками кафедры автоматизации производственных процессов. Система состоит из волновода, преобразователя, винтового зажима преобразователя, зажимного приспособления для свариваемых образцов, шагового привода, генератора марки УРСК-7Н с рабочей частотой 26,5 кГц.

В лабораторных условиях кафедры технического регулирования и товароведения проведены экспериментальные исследования сварных швов нетканых материалов до полного разрыва на автоматизированной разрывной машине WDW-20E (фирма Time Group Inc). Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 3813–82. Прочностные характеристики исследуемых образцов представлены в таблице 1.

Примеры полученных диаграмма «нагрузка–удлинение» показаны на рисунках 1, 2.

Таблица 1 – Прочностные характеристики исследованных образцов

№ п/п	Плотность образца, г/м^2	Разрывная нагрузка, Н	Разрывное удлинение, мм
1	60	48,5	123,3
2	60	50.4	131.3
3	60	50.1	145.5
4	60	48.3	140.1
5	60	13.7	12.5
6	80	108.7	94.9
7	80	110.2	107.6
8	80	61.2	16.7
9	80	58.2	15.5

Полученные результаты показали, что исследованные образцы имеют как высокую прочность, сопоставимую с прочностью свариваемого материала, так и очень низкую прочность в 1,8–3,5 меньше максимальной. Низкая прочность шва в нетканых материалах связана с неверно выбранным термическим режимом сваривания. В отличие от монолитного пластика, нетканое полотно состоит из хаотичных волокон, что делает его чувствительным изменениям технологического процесса. Избыток ультразвуковой энергии приводит к полному расплавлению волокон. Вместо эластичного скрепления волокон получается хрупкая, тонкая стеклянистая пленка. Шов теряет гибкость и легко ломается при растяжении. Для материалов с плотностью 60 г/м^2 различия в прочности образцов более высокие. Установлено, что при ультразвуковой сварке нетканых материалов ключевую роль играет время сваривания.

Дальнейшими направлениями исследования является экспериментальное определение зависимости разрывной нагрузки и разрывного удлинения сварных швов нетканых материалов от времени сваривания, физико-механических свойств, формы и размеров свариваемых образцов.



Рисунок 1 – Диаграмма «нагрузка–удлинение» образца сварного шва с высокой прочностью



Рисунок 2 – Диаграмма «нагрузка–удлинение» образца сварного шва с низкой прочностью

Список использованных источников

1. Применение ультразвукового способа сварки для соединения текстильных полимерных материалов / Л. Г. Хисамиева и [др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – С. 74 – 76.
2. Ультразвуковая сварка полимеров = Ultrasonic polymer welding / В. В. Клубович [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сборник научных трудов : в 3 кн. / Национальная академия наук Беларуси, Физико-технический институт ; гл. ред. А. В. Белый. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2017. – Кн. 1 : Материаловедение. – 2017. – С. 130–136.
3. Клеткин И. Д. Исследование и разработка электроакустических узлов ультразвуковых швейных машин: автореферат на соискание учёной степени кандидата технических наук: : специальность 05.02.15 – «Машины, агрегаты лёгкой промышленности» / Клеткин Игорь Давыдович ; науч. рук. В. П. Полухин. – М., – 1976 (ВНИИЛтекмаш). – 37 с.
4. Хисамиева, Л. Г. Исследование растягивающей нагрузки в местах соединения деталей костюма для черлидинга в зависимости от применяемых полимерных материалов / Л. Г. Хисамиева, К. П. Гейгер, И. Г. Давлетбаев // Вестник Казанского технологического университета. Федеральное агенство по образованию, Казанский государственный технологический университет. – Казань: КГТУ, – 2012. – № 11. – С.125–126.

УДК: 62-82(075.8)

АНАЛИЗ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ГИДРОСИСТЕМЫ СТАНКА

Кульминский Ю. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

Реферат. *В работе произведен анализ общих принципов схемотехнических решений автоматизации управления работой гидросистемы станка, анализ циклограммы работы станка с ЧПУ, разработана схема гидросистемы, обеспечивающая заданную последовательность действий рабочих органов и автоматизацию управления.*

Ключевые слова: токарный станок с ЧПУ, гидравлическая система, схематическое решение.

Анализ схемотехнических решений автоматизации гидросистем станков – это тема, которая охватывает как классические релейно-контактные схемы управления, так и современные системы с числовым программным управлением (ЧПУ). Основная цель применения этих решений – повышение точности, производительности и надежности работы оборудования [1, 2].

Проектирование или анализ гидросистемы невозможен без четкого понимания того, как именно работает станок. Логика его движений и операций описывается циклограммой. И уже исходя из этой временной последовательности, строится принципиальная гидравлическая схема, реализующая данные движения.

Общие принципы схематических решений при проектировании.

1. Применение системы на предотвращение аварий и обеспечение безопасности производственного процесса: схема должна предусматривать нештатные ситуации (пропадание питания, засорение, обрыв шлангов). Для этого используются блокирующие устройства, гидрозамки и сигнальные элементы, которые фиксируют исполнительный механизм (гидроцилиндр) в заданном положении при отключении питания.
2. Контроль скорости движения: проводится анализ на регулирование скорости рабочих органов. Это могут быть дроссели (простейший способ, чувствительный к нагрузке) или более совершенные регуляторы потока (поддерживают постоянство скорости независимо от нагрузки).
3. Контроль усилия рабочих элементов: для ограничения или поддержания определенного давления в различных частях системы применяются предохранительные, редукционные клапаны и клапаны последовательности.
4. Динамические характеристики: важно оценить, как система ведет себя в переходных режимах – при разгоне и торможении. Для обеспечения плавности хода могут применяться распределители с электрогидравлическим управлением и специальные дросселирующие устройства

В соответствии с циклограммой порядок работы токарного станка с ЧПУ 1750Ф3 предусматривает следующие этапы:

1. Начало работы – устанавливается заготовка в патронах главного шпинделя и противошпинделя.
2. Зажим – производится ее зажим патроном главного шпинделя гидроцилиндра VNK 150-67, также зажимается патроном в противошпинделе гидроцилиндра SIN-LPS-NT100.
3. Обработка – оператором задается режим работы и производится обработка детали в соответствии с заданной программой, при этом гидродвигатель поступательного действия поднимает или опускает червячную передачу для поворота по часовой или против часовой стрелки шпинделя, чтобы зафиксировать в заданном положении.
4. Замена инструмента – при необходимости смены инструмента подается команда на разжим инструмента в револьверной головке, ее поворот и повторный зажим.
5. Завершение – после обработки детали подается команда, штоки цилиндров совершают обратный ход. При этом патроны разжимают кулачки и можно извлечь деталь.

В соответствии с порядком работы рабочих органов станка и циклограммой разработана схема гидросистемы токарного станка с ЧПУ 1750Ф3 (рис. 1).

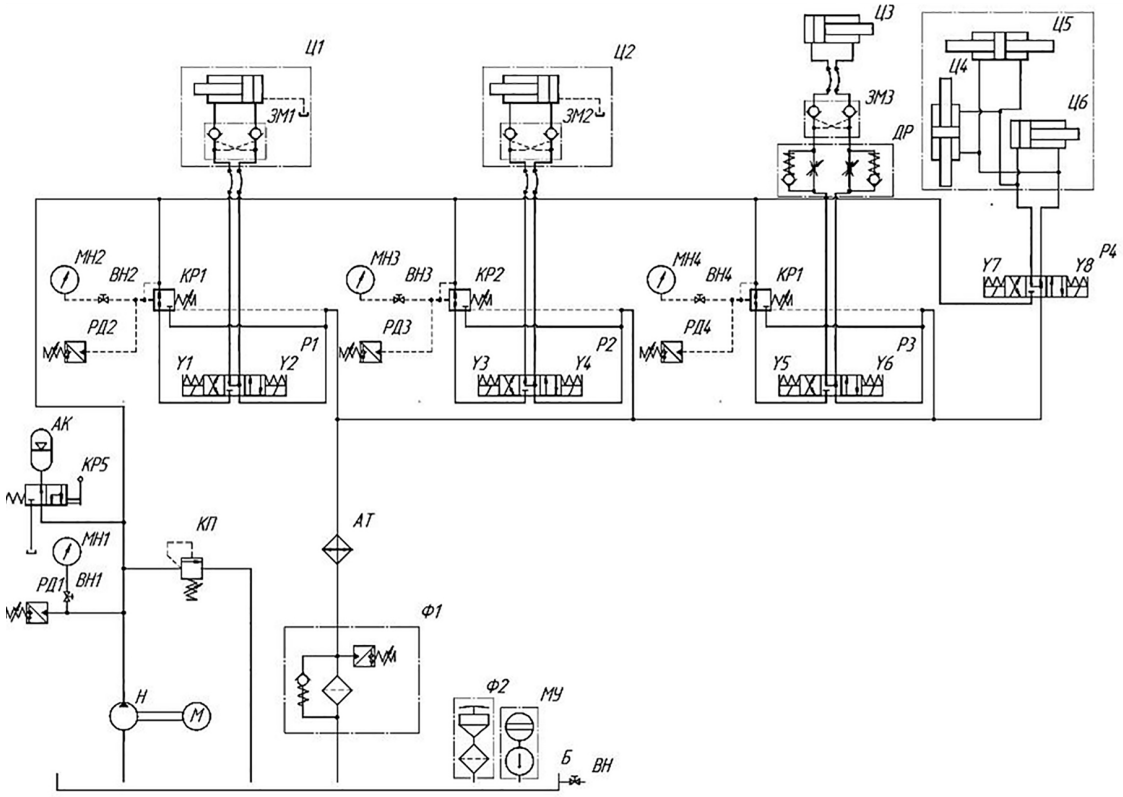


Рисунок 1 – Принципиальная гидравлическая схема

Типовые схемотехнические решения, применяемые для управления гидравлической системой токарного станка с ЧПУ 1750Ф3:

1. Начало работы – работа системы начинается при включении электродвигателя. Насос Н подает жидкость по трубопроводам системы, заполняя их. Два цилиндра Ц1, Ц2 находятся в исходном положении (шток задвинут), третий цилиндр находится в исходном положении (шток выдвинут). Давление в гидросистеме повышается, срабатывает клапан предохранительный КП и жидкость идет на слив через КП. При переключении крана шарового КР5 в левое положение, жидкость поступает в пневмогидроаккумулятор АК, заряжая его для компенсации дефицита расхода. Жидкость поступает в редукционный клапан КР1, который предназначен для снижения давления. Вместе с клапаном КР1 установлено реле давления РД2, предназначенное для отключения привода гидроустановки при падении установленного давления на редукционном клапане КР1. После редукционного клапана КР1 жидкость поступает в распределитель Р1, подается команда на электромагнит Y1, переключая распределитель в левое положение, при поступлении жидкости через гидрозамок ЗМ1 в поршневую полость гидроцилиндра Ц1 шток выдвигается, и патрон зажимает деталь на шпиндельной бабке.

2. Распределения жидкости по цилиндрам – жидкость поступает в редукционный клапан КР2. После редукционного клапана КР2 жидкость поступает в распределитель Р2, подается команда на электромагнит Y3, переключая распределитель в левое положение, при поступлении жидкости через гидрозамок ЗМ2 в поршневую полость гидроцилиндра Ц2 шток выдвигается, и патрон зажимает деталь на противошпинделе.

Жидкость поступает в редукционный клапан КР3, затем в распределитель Р3, подается команда на электромагнит Y5, переключая распределитель в левое положение. После поступления жидкости в дроссель ДР, жидкость поступает в гидрозамок ЗМ3, затем в штоковую полость гидроцилиндра Ц3, при этом шток задвигается, и червячная передача поворачивает шпиндель в заданное положение.

3. Распределения жидкости к револьверной головке – жидкость поступает в распределитель

Р4, подается команда на электромагнит Y7, переключая распределитель в левое положение. После чего револьверная головка меняет инструмент.

4. Окончание работы – при подаче сигнала на электромагнит Y6 распределитель Р3 переключается в правое положение, жидкость подается в поршневую полость, при этом шток выдвигается, и червячная передача возвращается в исходное положение. Жидкость, проходя через гидрозамок ЗМ3 и дроссель ДР, идет на слив через теплообменник АТ и сливной фильтр Ф1 и попадает в бак Б.

При подаче сигнала на электромагнит Y8 распределитель Р4 переключается в правое положение, жидкость идет на слив, возвращая головку в исходное положение.

При подаче сигнала на электромагнит Y4 распределитель Р2 переключается в правое положение, жидкость подается в штоковую полость, при этом шток задвигается, разжимая деталь в патроне. Жидкость, проходя через гидрозамок ЗМ2, идет на слив.

При подаче сигнала на электромагнит Y2 распределитель Р1 переключается в правое положение, жидкость подается в штоковую полость, при этом шток задвигается, разжимая деталь в патроне. Жидкость, проходя через гидрозамок ЗМ1, идет на слив.

После окончания работы шаровой кран КР5 переключают в правое положение, и жидкость с пневмогидроаккумулятора АК идет на слив.

5. Аппараты для контроля – величина давления в нужных точках системы контролируется манометрами МН1, МН2 МН3, МН4, МН5.

Схемотехнические решения, рассмотренные в гидросистеме станка 1750Ф3, являются типовыми и эффективными для современного металлорежущего оборудования. Они обеспечивают высокую степень автоматизации, безопасность (за счет гидрозамков и реле давления), точность позиционирования и регулирования усилий, а также надежность и долговечность работы станка. Построение схемы с разделением на функциональные модули и дублированием контроля давления является оптимальной для автоматического цикла обработки деталей.

Список использованных источников

1. Багдасарова, Т. А. Выполнение работ по профессии «токарь» : пособие по учебной практике 2-е изд., – М.: Машиностроение, 2016. – 176 с.
2. Андреевец, Ю. А. Теория и проектирование гидропневмосистем : пособие по одноименной дисциплине для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной формы обучения / Ю. А. Андреевец. – Гомель: ГГТУ им. П. О.Сухого,– 2019. – 285 с.

УДК 622.692

ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЁТА И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Белов Д. А., асп., Иванов В. А., д.т.н., проф.
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Российская Федерация

Реферат. *В статье рассматривается проблема разрозненности информационных систем на объектах хранения нефти и нефтепродуктов. Системы автоматизированного коммерческого учета и комплексы технического диагностирования функционируют изолированно, что снижает эффективность управления активами. Предложен подход к объединению потоков данных для реализации стратегии предиктивного обслуживания. Описан механизм взаимного влияния параметров учета на оценку остаточного ресурса оборудования и коррекции учетных показателей на основе данных о деформациях. Внедрение единой информационной модели позволяет снизить эксплуатационные риски и повысить точность количественного учёта.*

Ключевые слова: нефтяные резервуары, коммерческий учет, техническая диагностика, предиктивное обслуживание, интеграция данных, остаточный ресурс, промышленная безопасность.

Эксплуатация резервуарных парков нефтегазовой отрасли сопровождается постоянным мониторингом двух ключевых аспектов. Первый касается количественного учета продукта, где точность измерений напрямую влияет на экономические показатели предприятия. Второй аспект относится к техническому состоянию оборудования, от которого зависит промышленная безопасность и экологическая устойчивость производства [1].

На действующих объектах эти направления обеспечены разными техническими средствами. Системы автоматизированного коммерческого учета фиксируют уровни, температуры и объемы продукта в реальном времени. Средства диагностики контролируют толщину стенок, наличие дефектов сварных швов и геометрические отклонения корпуса. Обмен информацией между этими подсистемами часто отсутствует или осуществляется вручную с большой задержкой [2].

Так, данные о режимах эксплуатации не используются для прогноза износа, а результаты дефектоскопии не учитываются при расчете товарных потерь.

Реализация стратегии предиктивного обслуживания требует создания единого информационного пространства. Данные системы коммерческого учета содержат ценную информацию о цикличности нагружения конструкции резервуара. Частота наполнения и опорожнения, скорость изменения уровня и температурные режимы продукта напрямую влияют на усталостную прочность металла и скорость коррозионных процессов.

При интеграции эти параметры передаются в модуль оценки технического состояния. Алгоритмы анализа используют историю циклов нагружения для уточнения прогноза остаточного ресурса. Это позволяет перейти от планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию. Техническое решение предполагает организацию канала передачи данных между контроллерами уровнемеров и системой сбора диагностической информации. Протоколы обмена должны обеспечивать синхронизацию временных меток для корректного сопоставления событий.

Обратная связь также необходима для повышения точности коммерческого учета. Результаты ультразвуковой толщинометрии и геодезических измерений выявляют деформации корпуса и днища резервуара. Изменение геометрии емкости влияет на градуировочные характеристики и вносит погрешность в расчет объема продукта.

Для реализации предложенного подхода разработана архитектура единой информационной системы, включающая три основных модуля: модуль сбора данных коммерческого учета, модуль технической диагностики и аналитический модуль прогнозной аналитики (рис. 1). Связь между модулями осуществляется через промышленный шлюз данных, обеспечивающий преобразование протоколов и синхронизацию временных меток [3–5].



Рисунок 1 – Схема архитектуры единой информационной системы

Для обеспечения надёжной работы интегрированной системы необходимо соблюдение ряда технических требований. Пропускная способность канала передачи данных должна составлять не менее 10 Мбит/с для обеспечения передачи показаний в реальном времени. Система должна поддерживать резервирование каналов связи и автоматическое переключение при

отказе основного канала. Важным аспектом является защита информации: все передаваемые данные должны шифроваться по протоколу TLS 1.3, а доступ к системе контролируется через многофакторную аутентификацию.

Эксплуатация системы предполагает выполнение регулярных процедур верификации данных. Ежедневно производится автоматическая сверка показаний датчиков с эталонными значениями. Еженедельно выполняется калибровка измерительных каналов и проверка целостности архивов. Ежемесячно проводится анализ точности прогнозных моделей и при необходимости их переобучение на актуальных данных. Все процедуры фиксируются в журнале событий с возможностью аудита.

Внедрение интегрированной системы позволяет сократить затраты на техническое обслуживание на 15 % за счёт оптимизации ремонтных циклов. Точность коммерческого учета повышается на 2 % благодаря коррекции градуировочных таблиц с учётом фактической геометрии резервуара. Срок окупаемости проекта составляет 18–24 месяца в зависимости от масштаба резервуарного парка.

Интеграция систем коммерческого учета и технической диагностики создаёт основу для перехода к предиктивной модели обслуживания оборудования нефтегазовой отрасли. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку алгоритмов машинного обучения для автоматического выявления аномалий в режимах эксплуатации и прогнозирования критических состояний оборудования.

При реализации проекта необходимо учитывать потенциальные риски. Проведённая количественная оценка рисков интеграции систем коммерческого учета и технической диагностики выявила средневзвешенный уровень угроз проекта на отметке 2,78 балла по десятибалльной шкале. К приоритетным факторам отнесены организационные и IT риски: сопротивление персонала (интегральный показатель 4,20), киберугрозы (4,00) и риски срыва сроков внедрения (3,60). Технические риски, включая несовместимость оборудования и потерю данных, имеют сопоставимую интегральную оценку (~3,15), однако характеризуются более предсказуемой природой и наличием отработанных инженерных методов минимизации (табл.1).

Таблица 1 – Оценка рисков интеграции систем коммерческого учета и технической диагностики

Категория риска	**Описание риска**	**Вероят-ность, %**	**Влияние, балл (1–10)**	**Интеграль-ная оценка**	**Меры по минимизации**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Технические риски					
Несовмести-мость оборудования	Различные протоколы обмена данными между системами учета и диагностики разных производителей	45	7	3,15	Использование промышленных шлюзов и стандартов OPC UA, MQTT
Потеря данных	Сбои в передаче данных между подсистемами, нарушение целостности информации	35	9	3,15	Резервирование каналов связи, система очередей сообщений, транзакционная БД
Отказ оборудования	Выход из строя датчиков, контроллеров, серверов	25	8	2,00	Мониторинг состояния критических компонентов
IT-риски					
Кибератаки	Несанкционированный доступ к системе управления резервуарным парком	40	10	4,00	Многоуровневая защита, сегментация сети, шифрование данных, SIEM-системы

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Ошибки данных	Некорректные показания датчиков, погрешности измерений	65	5	3,25	Валидация данных, перекрестная проверка, калибровка оборудования
Потеря исторических данных	Повреждение архивов данных за длительный период	20	8	1,60	Резервное копирование, RAID-массивы

Результаты анализа подтверждают необходимость сопровождения проекта формализованным реестром рисков с назначением ответственных и регламентом ежеквартального мониторинга, что позволяет перевести большинство угроз из категории критических в зону контролируемых параметров.

Список использованных источников

1. Кузнецов, С. В. Перспективы развития технологической интеграции: региональный аспект // С. В. Кузнецов, А. Е. Миллер, Л. М. Давиденко // Проблемы прогнозирования. – 2019. – № 1 (172). – С. 23–32.
2. Иванов, В. А. Интеллектуальные методы оценки ресурса и технического состояния резервуаров хранения нефтепродуктов: состояние и перспективы / В. А. Иванов, Д. А. Белов // Нефтегазохимия – 2025, Минск, 3–5 декабря 2025 г. – Минск : БГТУ, 2025. – С. 51–54.
3. Белов, Д. А. Цифровизация при контроле технического состояния резервуаров для нефтепродуктов в системе обеспечения промышленной безопасности / Д. А. Белов, В. А. Иванов, М. Ю. Земенкова // Тюменский научный журнал. – 2025. – № 4. – С. 32–37.
4. Земенкова, М. Ю. Интеллектуальный мониторинг состояний объектов трубопроводного транспорта углеводородов с применением нейросетевых технологий / М. Ю. Земенкова, Е. Л. Чижевская, Ю. Д. Земенков // Записки Горного института. – 2022. – Т. 258. – С. 933–944.
5. Белов, Д. А. Исследование внедрения Интернета вещей IoT для мониторинга и оптимизации потребления ресурсов в нефтехимической отрасли / Д. А. Белов // Нефтегазохимия – 2024, Минск, 13–15 ноября 2024 г. – Минск : БГТУ, 2024. – С. 245–248.

УДК 681.5.08

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ЗАМЕРНЫЕ УСТАНОВКИ СКВАЖИННОГО ФЛЮИДА

Курочкина Д. М., студ., Краснов А. Н., к.т.н., доц.
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Реферат. *В статье рассмотрены способы измерения дебита скважинной продукции в нефтегазовой отрасли, включая автоматизированные групповые замерные установки и многофазные расходомеры. Проанализированы их возможности, преимущества и ограничения, а также предложен подход к модернизации существующих АГЗУ за счёт совершенствования измерительных принципов и алгоритмов обработки данных, что позволяет повысить точность учёта скважинной продукции при снижении затрат.*

Ключевые слова: автоматизированная групповая замерная установка, многофазный расходомер, контроль дебита, измерение скважинной продукции, многофазный состав.

Контроль дебита нефтяных и газовых скважин играет важную роль в управлении добычей и оптимизации технологических процессов. Дебит отражает объем флюида (нефти, газа, воды), добываемого за единицу времени, и выражается в м³/сут или баррелях в сутки. Точные данные необходимы для планирования разработки месторождений, регулирования режимов работы скважин, учета добычи и соблюдения законодательства [1].

При этом следует учитывать, что измерение дебита многофазной продукции нефтяных скважин представляет значительную сложность из-за неоднородности состава добываемой смеси и характерных изменений расхода и пропорций фаз во времени. Вследствие этого возникает потребность в более точных и надежных способах контроля.

Существующие автоматические комплексы для определения дебита нефтяных скважин и компонентного состава продукции (нефть – вода – газ) можно условно разделить на две большие группы: информационно-измерительные системы (ИИС) с применением замерных сепарационных установок (ЗСУ) и ИИС, функционирующие без них [2].

Согласно количественной оценке замерных установок на 2025 год наибольшую распространённость на отечественных нефтегазодобывающих предприятиях в 2025 году имеют автоматизированные групповые замерные установки (АГЗУ), использующие сепарационный метод замера. Их доля составляет 45–60 % от общего числа эксплуатируемых средств учёта скважинной продукции.

Автоматизированная групповая замерная установка представляет собой комплексное технологическое решение для измерения дебита нефтяных скважин, обеспечивающая автоматический контроль объёмов добываемой жидкости и сопутствующего нефтяного газа. С помощью установки возможно поочерёдное подключение от 1 до 14 скважин, при этом измеряются массовый и объёмный расход с точностью, установленной ГОСТ Р 8.615-2005, а полученные данные передаются в систему АСУ ТП месторождения [3].

Принцип работы АГЗУ следующий: продукция скважины, поступающая на замер, направляется в сепарационную ёмкость, где газожидкостная смесь разделяется на жидкую и газовую фазы под действием гравитации и снижения скорости потока. Жидкая фаза накапливается в нижней части сепаратора, тогда как газ выходит через верхний патрубок в газовую измерительную линию.

В жидкостной магистрали устанавливается массовый или объёмный расходомер для измерения расхода смеси нефти и воды. При необходимости может использоваться влагомер для определения доли воды в потоке. В газовой линии применяется массовый, вихревой или ультразвуковой расходомер для учёта выделившегося газа [4].

Несмотря на длительное и широкое применение автоматизированных групповых замерных установок, их эксплуатация сопровождается рядом технологических и метрологических факторов, способных снижать точность учёта добываемой продукции. Одной из основных проблем является неполное отделение свободного газа в горизонтальных сепараторах при работе на повышенной производительности, вследствие чего часть газа остаётся в жидкой фазе и поступает на жидкостный расходомер. Это приводит к завышению показателей дебита жидкости и недоучёту газа. Дополнительную погрешность может вызывать наличие в газовом потоке мелкодисперсных капель нефти или пластовой воды, что отрицательно влияет на стабильность показаний газовых расходомеров, особенно при высоких значениях газового фактора. Существенное влияние оказывают и изменения физико-химических характеристик продукции скважины – плотности, вязкости и газосодержания, которые отражаются на корректности работы уровнемеров и регулирующих устройств. Кроме того, присутствие остаточного растворённого или выделившегося газа в жидкостном потоке способно вызывать дополнительные ошибки при определении массового расхода, особенно при использовании приборов, чувствительных к изменению плотности среды [5].

На протяжении многих десятилетий в нефтегазовой промышленности для определения дебита скважин широко используется традиционный метод, основанный на разделении добываемой продукции на отдельные фазы с помощью сепарационных установок [6].

В то же время современные условия разработки месторождений требуют более технологичных и точных подходов, одним из которых является применение многофазных расходомеров. Методы измерения многофазных потоков оказывают значительное влияние на развитие нефтегазовой отрасли и рассматриваются как одно из перспективных направлений её дальнейшей модернизации.

Одним из ключевых преимуществ многофазных измерительных систем является возможность отказа от традиционного сепарационного оборудования на поверхности. Это позволяет существенно сократить капитальные вложения и упростить технологическую инфраструктуру месторождения. Кроме того, уменьшение количества крупногабаритных ёмкостей и вспомогательных систем способствует снижению вероятности аварийных ситуаций и уменьшает воздействие на окружающую среду [7].

Продолжая рассмотрение преимуществ технологии измерения многофазных потоков, следует отметить ряд характерных особенностей многофазных расходомеров. Одним из основных достоинств является возможность непрерывного измерения дебита в режиме реального времени, что позволяет оперативно контролировать изменения параметров добычи без цикличности, характерной для традиционных замерных установок.

Дополнительным фактором надёжности является отсутствие движущихся элементов в конструкции, что снижает износ оборудования и уменьшает потребность в обслуживании. Кроме того, такие приборы сохраняют работоспособность при высокой обводнённости продукции, вплоть до 100 %, что делает их эффективными на поздних стадиях разработки месторождений.

Несмотря на свои преимущества, многофазные расходомеры имеют ряд ограничений. Измерение многокомпонентного потока сложно, так как продукция представляет собой смесь нефти, газа, воды и твёрдых частиц, а на поведение потока влияют давление, температура, скорость, состав и физические свойства фаз, а также химические реагенты, закачиваемые в скважину. Некоторые приборы используют радиоактивные источники для определения фазового состава, что усложняет соблюдение требований безопасности, повышает затраты на хранение и обслуживание и ограничивает применение на удалённых объектах [8].

Хотя доля многофазных расходомеров в мировой добыче пока невелика, их развитие остаётся перспективным. Высокая стоимость и необходимость обучения персонала сдерживают внедрение, но рост требований к точности и освоение трудноизвлекаемых ресурсов делают такие системы всё более востребованными.

Таким образом, традиционные автоматизированные групповые замерные установки отличаются высокой конструктивной сложностью, значительными габаритами и повышенными капитальными и эксплуатационными затратами, обусловленными применением сепарационного оборудования и нескольких измерительных каналов. Современные альтернативные решения, включая многофазные расходомеры, несмотря на их технологическую привлекательность, ограничены высокой стоимостью, требованиями к условиям эксплуатации, сложностями метрологического обеспечения и использованием радиоактивных источников, требующих дополнительных затрат на обслуживание и утилизацию. Проведённый анализ показал, что наиболее рациональным направлением является модернизация существующих АГЗУ за счёт совершенствования измерительных принципов и алгоритмов обработки данных без существенного изменения аппаратной части, что позволяет повысить эффективность учёта скважинной продукции при снижении затрат.

Список использованных источников

1 Измерение дебита скважины. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=80661930 (дата обращения: 24.02.2026). – Текст : электронный.

2 Система автоматического измерения дебита скважин по нефти, воде и попутному газу. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_44562750_84421059.pdf (дата обращения: 15.01.2026). – Текст : электронный.

3 ГОСТ Р 8.615-2005. Измерения количества извлекаемой из недр нефти и нефтяного газа : Общие меирологичекие и технические требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2005 г. № 411-ст : введён впервые : дата введения 2006-03-01. – URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/949/4293851929.pdf (дата обращения: 27.02.2026). – Текст : электронный.

4 Групповая замерная установка. – URL: https://inner.su/articles/gruppovaya-zamernaya-ustanovka/ (дата обращения: 20.01.2026). – Текст : электронный.

5 Модернизация измерительных установок. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_75181970_74932992.pdf (дата обращения: 28.01.2026). – Текст : электронный.

6 Андрейчиков, Б. Проблемы и решения по модернизации АГЗУ типа «Спутник» и «Мера» в нефтедобывающей промышленности. – URL: https://www.cta.ru/cms/f/435964.pdf (дата обращения: 10.01.2026). – Текст : электронный.
7 Эволюция измерений многофазных потоков и их влияние на управление эксплуатацией. – URL: https://oilcapital.ru/news/2003-12-24/evolyutsiya-izmereniy-mnogofaznyh-potokov-i-ih-vliyanie-na-upravlenie-ekspluatatsiey-1008863?ysclid=miljoo1kv0685997337&utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru (дата обращения: 24.01.2026). – Текст : электронный.
8 Прибор для измерения расхода многофазного потока на основе оптико-акустического эффекта. – URL: file:///C:/Users/Дарья/Downloads/331-644-1-SM.pdf (дата обращения: 25.02.2026). – Текст : электронный.

УДК 621.311:004.94

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рубцов К. Д., асп.
ФГБНУ Федеральный исследовательский центр
«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»
(ФИЦ КНЦ СО РАН), г. Красноярск, Российская Федерация

Реферат. *В статье рассматриваются фундаментальные положения создания и функционирования автоматизированных систем сбора и анализа данных для прогнозирования состояния энергетического оборудования. Проводится детальный анализ существующих методологических подходов к организации информационного обеспечения, современных методов обработки данных и эффективных алгоритмов прогнозирования.*

Ключевые слова: автоматизация, электроэнергетика, сбор данных, прогнозирование, техническое состояние, энергетическое оборудование, информационные системы.

Современное развитие электроэнергетических систем напрямую связано с активным внедрением средств автоматизации, цифровых технологий и интеллектуальных методов обработки информации. Энергетическая инфраструктура постепенно трансформируется из традиционной системы производства и передачи электроэнергии в сложную киберфизическую среду, где ключевую роль играет оперативный сбор, передача и анализ больших массивов технологических данных. Увеличение масштабов энергосистем, рост числа распределённых источников генерации, развитие концепции интеллектуальных сетей (Smart Grid) и повышение требований к надёжности энергоснабжения делают задачи автоматизации обработки информации особенно актуальными.

В таких условиях особое значение приобретают системы автоматизированного сбора и анализа данных, позволяющие получать оперативную информацию о состоянии энергетических объектов, режимах работы оборудования и параметрах электрических сетей. Наличие достоверных и своевременно полученных данных обеспечивает возможность оперативного управления технологическими процессами, предотвращения аварийных ситуаций и повышения эффективности эксплуатации энергетического оборудования.

Системы автоматизации сбора данных в электроэнергетике базируются на совокупности аппаратных и программных средств, включающих датчики, измерительные преобразователи, устройства телемеханики, коммуникационные сети и специализированное программное обеспечение. Наиболее распространёнными решениями в данной области являются системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA), автоматизированные системы коммерческого и технического учёта электроэнергии (АСКУЭ и АСТУЭ), а также различные системы технологического мониторинга.

1. Основные принципы построения систем автоматизации сбора данных в электроэнергетике.

Для более наглядного представления структуры системы автоматизированного сбора данных целесообразно рассмотреть основные компоненты такой системы и их функциональное назначение (табл. 1).

Таблица 1 – Основные компоненты системы автоматизированного сбора данных в электроэнергетике

Компонент системы	**Функциональное назначение**	**Примеры реализации**
Измерительные датчики и преобразователи	Преобразование физических параметров электрической сети в цифровые сигналы	Трансформаторы тока и напряжения, цифровые измерительные модули
Устройства сбора данных	Первичная обработка, фильтрация и временная синхронизация измерительной информации	Контроллеры телемеханики, RTU-устройства
Система передачи данных	Передача информации от объектов энергетики в центры обработки	Оптоволоконные линии связи, Ethernet, промышленные протоколы
Центры обработки данных	Хранение, анализ и визуализация технологической информации	SCADA-системы, серверы аналитики
Средства моделирования и анализа	Моделирование режимов работы и разработка алгоритмов управления	SimInTech, специализированные аналитические платформы

Представленная структура показывает, что эффективная система автоматизации формируется за счёт тесного взаимодействия аппаратных и программных компонентов. Каждый из элементов выполняет собственную функцию, но при этом все они объединены общей задачей обеспечения достоверного и оперативного получения информации о состоянии энергосистемы.

Использование программных средств моделирования, включая SimInTech, позволяет дополнительно повысить эффективность проектирования таких систем. С помощью имитационных моделей возможно воспроизведение различных режимов функционирования электроэнергетической сети, проверка устойчивости алгоритмов управления и анализ возможных аварийных ситуаций.

2. Методы обработки и анализа данных в электроэнергетических системах.

Первичным этапом обработки данных является их предварительная фильтрация и нормализация. Измерительная информация, поступающая от датчиков и измерительных преобразователей, может содержать случайные отклонения, шумы и погрешности, связанные как с особенностями измерительной аппаратуры, так и с внешними воздействиями. Для устранения подобных искажений применяются различные методы цифровой обработки сигналов, включая скользящее усреднение, медианную фильтрацию и алгоритмы подавления выбросов.

Следующим этапом является агрегирование информации и её структурирование в информационных базах данных. На данном уровне происходит формирование единого информационного пространства энергосистемы, в котором данные от различных объектов объединяются в централизованной системе управления. Это позволяет диспетчерским службам получать комплексное представление о текущем состоянии энергосистемы, оперативно выявлять отклонения параметров и принимать решения по регулированию режимов работы оборудования.

Для более наглядного представления задач анализа данных в энергетических системах можно рассмотреть основные категории информации, используемой в процессе автоматизированного управления (табл. 2).

Использование комплексных методов обработки и анализа информации позволяет значительно повысить эффективность функционирования энергетических систем. Объединение традиционных методов цифровой обработки сигналов с современными аналитическими инструментами и средствами имитационного моделирования формирует основу для развития

интеллектуальных систем управления электроэнергетическими объектами.

Следовательно, рассмотренные принципы построения систем автоматизации сбора и анализа данных позволяют сформировать целостное представление о современной архитектуре информационного обеспечения электроэнергетических систем. Рост масштабов энергетической инфраструктуры, увеличение числа контролируемых параметров и повышение требований к надёжности энергоснабжения требуют внедрения эффективных механизмов получения и обработки технологической информации. В этих условиях автоматизированные системы мониторинга становятся одним из ключевых элементов управления энергетическими объектами.

Таблица 2 – Основные категории данных в системах автоматизации электроэнергетики

Категория данных	**Характеристика информации**	**Применение в системе управления**
Электрические параметры сети	Напряжение, ток, частота, мощность	Контроль режимов работы энергосистемы
Технологические параметры оборудования	Температура, вибрация, состояние изоляции	Диагностика технического состояния оборудования
Режимные данные энергосистемы	Нагрузки, распределение потоков мощности	Оптимизация режимов работы сети
Аварийные события	Отключения оборудования, короткие замыкания	Анализ аварийных ситуаций и предотвращение повторных отказов
Прогнозные данные	Прогноз нагрузки, генерации, состояния оборудования	Планирование и оптимизация работы энергосистемы

Анализ методов обработки данных показал, что эффективность функционирования автоматизированных систем во многом определяется качеством алгоритмов фильтрации, структурирования и аналитической обработки информации. Использование методов цифровой обработки сигналов, статистического анализа и прогнозных алгоритмов позволяет существенно повысить точность оценки текущего состояния энергосистемы и своевременно выявлять потенциальные отклонения в её работе. В результате формируются условия для более оперативного принятия управленческих решений и повышения устойчивости функционирования энергетической инфраструктуры.

Среди отечественных программных решений, используемых для моделирования динамических процессов и разработки алгоритмов автоматизации, особое место занимает среда SimInTech. Применение подобных инструментов в энергетической отрасли способствует развитию современных цифровых технологий управления и формированию интеллектуальных энергетических систем. Расширение возможностей автоматизированного анализа данных открывает новые перспективы для повышения эффективности эксплуатации энергетического оборудования, оптимизации режимов работы энергосистем и предотвращения аварийных ситуаций.

Список использованных источников

1. Рубцов, К. Д. Методология физико-информированного моделирования для задач прогнозирования технического состояния электротехнического оборудования / К. Д. Рубцов // Передовые технологии и инновации в образовании и науке для улучшения качества жизни и стимулирования устойчивого экономического роста : сборник статей VIII Международной научно-технической конференции. В 3-х томах, Белорусский государственный технологический университет, 03–05 декабря 2025 года. – Минск: Учреждение образования Белорусский государственный технологический университет, 2025. – С. 149-153. – EDN YWGSJW.
2. Рубцов, К. Д. Обзор программно-алгоритмических решений для автоматизации сбора и предобработки данных в системах диагностики энергооборудования / К. Д. Рубцов //

MIP Engineering-VI-2025: Модернизация, Инновации, Прогресс : сборник научных трудов VI международной научной конференции, Красноярск, 11–12 сентября 2025 года. – Красноярск: Общественное учреждение «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений», 2025. – С. 83–96. – EDN OUZSUZ.
3. Пятков, Д. А. Цифровой двойник железнодорожного пути: актуальность, проблемы внедрения и перспективы развития / Д. А. Пятков // Наука, технологии, общество: Экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий (НТО-VI-2025) : сборник научных статей по материалам VI Всероссийской (национальной) научной конференции, Красноярск, 06–07 ноября 2025 года. – Красноярск: Общественное учреждение «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений», 2025. – С. 118–127. – EDN EUJUXC.
4. Автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие для вузов по специальности «Автоматическое управление электроэнергетическими системами», «Элетроэнергетические системы и сети» / О. П. Алексеев, и др. ; Ред. В. П. Морозкин. – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 448 с.
5. Ассоциация «Цифровая энергетика». – URL: https://www.digitalenergy.ru (дата обращения: 01.03.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.622, 621.73.019

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ДАТАСЕТА ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКЕ

Преображенский Е. В., к.т.н., доц., Маркелов Е. Е., асп., Галкин В. И., д.т.н., проф.
Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), г. Москва, Российская Федерация

Реферат. *Прогнозирование дефектов, возникающих в ходе горячей объемной штамповки, является актуальной задачей, позволяющей уменьшить себестоимость получаемых деталей и обеспечить высокое их качество. До начала производства для анализа течения металла обычно используют компьютерное моделирование, однако развитие методов машинного обучения предоставляет инженеру-технологу новый инструмент. В настоящей работе демонстрируется механизм сбора и подготовки данных для последующего обучения и прогнозирования дефектов поковок с помощью искусственных нейронных сетей.*

Ключевые слова: обучающий набор данных, подготовка датасета, горячая объемная штамповка, дефект, моделирование, метод конечных элементов.

Горячая объемная штамповка остается одним из наиболее востребованных способов производства деталей для авиакосмической отрасли, металлургической и машиностроительной промышленности [1]. Качество получаемых поковок зависит от целого ряда факторов, включая технологические параметры, свойства материала, геометрию инструмента, тип смазки и пр. Выбор перечисленных показателей осуществляется инженером-технологом на основе справочной информации, стандартов и индивидуального опыта. Однако принятое решение и возможные отклонения от заданных значений не всегда обеспечивают отсутствие дефектов. Так, в поковке могут образовываться складки, утяжины и прострелы. При несоблюдении рекомендуемых температурных интервалов деформации возможен пережог или появление трещин из-за снижения пластичности. Недостаток усилия оборудования или наличие труднозаполняемых участков ведет к недоштамповке. А геометрия штампового ручья и применяемая смазочно-охлаждающая жидкость влияют на износ оснастки и снижение размерной точности поковок. При этом зачастую брак является непоправимым, и израсходованный материал существенно сказывается на окончательной стоимости изготовления продукции,

снижая пропускную способность производственной цепочки.

Согласно концепции четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0) в скором будущем ожидается повсеместное внедрение искусственного интеллекта, который позволит оптимизировать процессы предприятия, в том числе за счет потенциала нейронных сетей предвидеть появление дефектов для разрабатываемых операций [2]. Обучаясь на большом массиве данных, нейронная сеть сумеет выявить сложную нелинейную зависимость между входящими параметрами и вероятностью возникновения дефектного изделия. Но для практического применения моделей искусственного интеллекта предварительно требуется сгенерировать исчерпывающий датасет, произведя корректную маркировку данных. По отношению к процессу горячей объемной штамповки эта задача сопряжена с некоторыми трудностями. Во-первых, предприятия не готовы предоставлять открытый доступ к технологической документации, т. к. она является коммерческой тайной. Во-вторых, дефекты поковок встречаются не так часто, поэтому появляется дисбаланс в датасете, когда нейронная сеть не сможет обучиться важным причинам появления брака из-за малого числа примеров. В-третьих, множественные эксперименты методом проб и ошибок хотя и достаточно точны, но остаются дорогостоящими и длительными, а промышленное оборудование должно использоваться по прямому назначению. К тому же, выделение отдельного работника для описания всех обнаруженных дефектов нельзя считать рациональным способом заполнения исходных данных. Наконец, существует сложность с точностью используемых датчиков и их наличием (возможностью установки в очаге деформации), а также обязательностью проведения испытаний методами неразрушающего контроля, что, в конечном счете, снизит достоверность прогноза. Для преодоления перечисленных барьеров предлагается применить сгенерированные данные, полученные за счет моделирования хода штамповки методом конечных элементов. Путем варьирования технологических параметров и модификации геометрии штампового ручья осуществляется получение сбалансированного датасета, содержащего группу записей с поковками с наличием дефектов и без них. Для исключения ручного труда в процессе подготовки данных разработан специализированный программный код, обеспечивающий взаимосвязь с системой автоматизированного проектирования SolidWorks и инженерного анализа QForm (рис. 1).

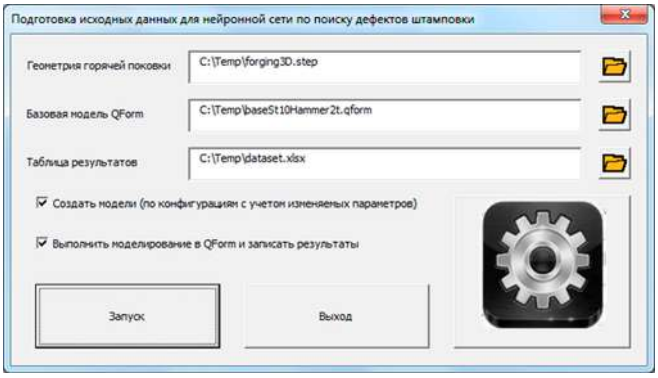


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс приложения для подготовки исходных данных

Алгоритм работы приложения заключается в следующем. Пользователь предварительно подготавливает геометрию горячей поковки и базовый файл для расчетов процесса штамповки методом конечных элементов в QForm. Используя настройки, задаются варьируемые параметры, которые будут сохранены в выходном файле (по умолчанию в виде таблицы Excel). Датасет формируется автоматически при помощи команд API: поковка загружается в SolidWorks, при необходимости меняется её конфигурация, определяется положение облойного мостика, вычисляется объем заготовки. Поскольку программный код для быстрой работы предусматривает двумерную постановку задачи, то из исходной осесимметричной 3D-детали инструментом создания сечения вдоль линии пересечения тел определяется геометрия штамповой оснастки. Добавляется эскиз в виде прямоугольника с рассчитанной высотой и диаметром цилиндрической заготовки. Полученная геометрия экспортируется в отдельный DXF-файл. Стоит отметить, что для генерации формы поковки из чертежа чистовой детали использовался дополнительный программный продукт [3], что также ускорило поиск вариантов, расширяющих датасет, то есть включающих те, которые приводили к разным видам дефектов. На следующем этапе запускается QForm и через его API выполняются операции для подготовки к конечно-элементному анализу. В первую очередь открывается базовая

модель с заранее установленными технологическими параметрами. Если пользователь решает увеличить число записей, то в настройках подключается варьирование значений исходной температуры, смазки, типа оборудования и пр. Геометрия импортируется из ранее сохраненного DXF-файла и запускается расчет. По завершении анализа считываются требуемые результаты. Помимо стандартных (распределения температур, напряжений и деформаций) по требованию подключаются новые модули. Например, забираются показатели износа штампа или любых других свойств поковки, в том числе определяемых через пользовательские подпрограммы, которые QForm позволяет добавлять на языке LUA [4]. Особенностью получения результатов является то, что данные по наличию дефектов в виде складок, участков с повышенными температурами или напряжениями берутся строго в основной области поковки, игнорируя образовавшийся облой. С этой целью в исходную таблицу помещается координата с выявленной точкой начала облойной канавки (рис. 2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	Z
1	fname	conf	comment	wpD	wpH	h_d	T	Ro	r	L	Angle	Angle	F	D	D2	maxS	minS	maxE	minE	wear1t	wear1p	wear2t	wear2p	limitX
2	base_Ham	conf_D50	06.03.202	67	103	1,54	1100	2	1	3	5	3	3,3501	-1	3	-4E+08	3E+06	0,019	12,851	0,0003	0,0015	0,0007	0,001	52
3	base_Ham	conf_D50	06.03.202	67	103	1,54	1200	2	1	3	5	3	5,037	-1	3	-5E+08	-1E+08	0,0249	13,343	0,0004	0,0015	0,0005	0,0008	52
4	base_Ham	conf_D50	06.03.202	61	125	2,05	1100	2	1	3	5	3	2,5412	-1	3	-3E+08	3E+07	0,0293	12,582	0,0003	0,0012	0,0008	0,0012	52
5	base_Ham	conf_D50	06.03.202	61	125	2,05	1200	2	1	3	5	3	3,6957	-1	3	-3E+08	2E+07	0,0147	12,432	0,0003	0,0009	0,0006	0,001	52
6	base_Ham	conf_D50	06.03.202	57	145	2,54	1100	2	1	3	5	3	1,8706	-1	3	-3E+08	2E+07	0,0262	7,5153	0,0002	0,0007	0,0008	0,0011	52
7	base_Ham	conf_D50	06.03.202	57	145	2,54	1200	2	1	3	5	3	2,9835	-1	3	-3E+08	2E+07	0,0366	8,5655	0,0002	0,0007	0,0006	0,001	52
8	base_Ham	conf_D50	06.03.202	69	102	1,48	1100	2	1	3	7	5	3,1452	0	3	-4E+08	3E+06	0,0229	11,705	0,0003	0,0016	0,0006	0,0009	52
9	base_Ham	conf_D50	06.03.202	69	102	1,48	1200	2	1	3	7	5	4,9584	-1	2	-4E+08	-2E+08	0,0343	12,186	0,0003	0,0014	0,0005	0,0009	52
10	base_Ham	conf_D50	06.03.202	62	128	2,06	1100	2	1	3	7	5	2,1532	-1	3	-3E+08	3E+07	0,0269	11,576	0,0003	0,0012	0,0007	0,0012	52

Рисунок 2 – Часть таблицы с полученным датасетом в Excel

Все результаты переносятся в таблицу Excel по технологии Microsoft OLE Automation. Указанным образом удается в автоматическом режиме (после создания исходной геометрии поковки) сформировать множество записей для будущего обучения нейронной сети. При этом сама таблица может быть загружена в соответствующие пакеты для классификации дефектов, прогнозирования усилия штамповки или возникающих температур в заготовке. Кроме того, средства табличного редактора позволяют фильтровать данные, выполнять дополнительные расчеты и корректировки.

Важно отметить, что привязка к программным средствам SolidWorks, QForm, Excel является не обязательной. Предложенная методика требует лишь небольшого изменения кода для учета объектной модели другого приложения.

Таким образом, в ходе работы подтверждена возможность генерации датасета при помощи автоматизированных процедур. Разработан программный модуль, обеспечивающий быстрое заполнение таблицы с учетом варьируемых технологических параметров и изменяемой геометрии поковки. Маркировка дефектов осуществляется при помощи результатов, полученных методом конечных элементов.

Список использованных источников

1. Рожков, И. В., Захаренко, И. К., Солдатова, Н. Ф., Русин, В. Н. Анализ влияния интеграции больших данных на эффективность и качество штамповочного производства // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2025. – № 2. С. 51–56. EDN RHGFWK.
2. Шайхулова, А. Ф. Проектирование машиностроительного производства будущего: дорожная карта перехода от индустрии 3.0 к индустрии 5.0 // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2025. Т. 14, – № 4(72). – С. 10–20. EDN AUKQTA.
3. Галкин, В. И., Преображенский, Е. В., Палтиевич, А. Р., Маркелов, Е. Е., Галкин, Е. В. Разработка программного обеспечения для проектирования формы поковок осесимметричных деталей из сталей // Металлы. – 2024. – № 4. – С. 85–93. EDN GKNADM
4. Галкин, В. И., Преображенский, Е. В., Маркелов, Е. Е., Ященко, Б. Ю. Расчет эксплуатационных свойств деталей в процессе моделирования горячей объемной штамповки // Технология легких сплавов. – 2024. – № 4. – С. 66–72. EDN QRBGFY.

УДК 621.9.047

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ПРАВКИ ТОКОПРОВОДЯЩЕГО ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Борисов М. А., к.т.н., доц., Надеждина О. А., ст. преп.
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
г. Чебоксары, Российская Федерация

Реферат. *В статье предложена схема устройства для автоматического управления процессом периодической электрохимической правки токопроводящего шлифовального инструмента в условиях электрохимического плоского шлифования токопроводящих изделий и рассмотрен принцип его работы. Разработанное устройство позволяет повысить эффективность процесса электрохимического плоского шлифования и периодической электрохимической правки токопроводящего шлифовального инструмента за счет обеспечения возможности осуществления указанных процессов как при прямом, так и обратном перемещении инструмента.*

Ключевые слова: электрохимическая правка, автоматическое управление, шлифование, абразивный инструмент, электрическая цепь, комбинированная обработка.

Эффективным способом финишной отделочной обработки изделий, изготовленных из труднообрабатываемых материалов, включающих коррозионностойкие и жаропрочные стали, является электрохимическое комбинированное шлифование абразивными кругами на металлической связке с зернами из сверхтвердых материалов [1–3]. Применение указанного способа гибридной обработки позволяет обеспечить высокие требования, предъявляемые к качеству обрабатываемых поверхностей изделий, в том числе к их шероховатости [4, 5]. Использование высокопрочной металлической связки в шлифовальных инструментах позволяет интенсифицировать процесс обработки, но происходит его засаливание частицами срезанного материала, что приводит к ухудшению режущих свойств инструмента.

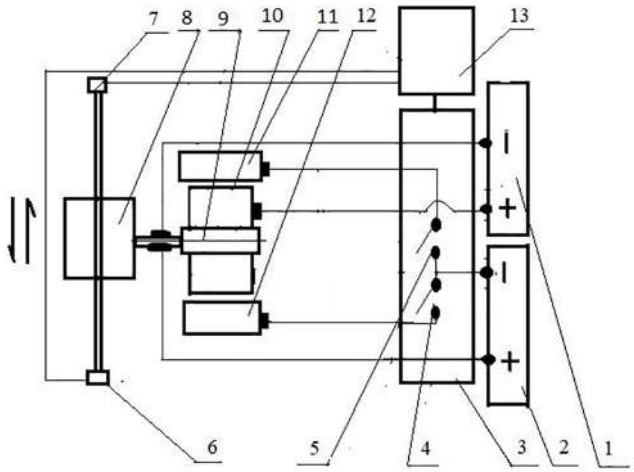
Для их восстановления применяются различные способы правки абразивных инструментов. Правка нужна как для восстановления режущей способности шлифовального инструмента за счет его очищения от частичек снятого материала, так и восстановления его первоначальной заданной геометрической формы. Механический метод правки позволяет удалить засаленный слой и восстановить геометрические параметры инструмента. К его недостаткам можно отнести значительные непроизводительные потери дорогостоящего абразивного материала и относительно высокую трудоемкость правки. Кроме этого указанный метод правки нецелесообразно применять для правки абразивного инструмента с небольшим абразивным слоем, например, алмазных и эльборовых головок диаметром до 10 мм., так как удаляется значительный по отношению к исходному слой абразивного материала.

В таком случае зачастую применяют электрохимическую правку, вводя её в процесс электрохимического шлифования [6]. При электрохимической правке абразивного инструмента, который при этом процессе является анодом, происходит растворение засаленного слоя. Абразивные зерна освобождаются от частиц обрабатываемого материала, которые уносятся из зоны обработки электролитом. Режущие способности шлифовального инструмента восстанавливаются. Для автоматического управления периодической электрохимической правкой токопроводящего инструмента и процессом электрохимического шлифования применяются различные устройства. В частности для периодической электрохимической правки инструмента при плоском шлифовании изделия используется известное устройство для электрохимической обработки и правки инструмента [7]. Оно позволяет управлять автоматически процессом электрохимической обработки металлического изделия и электрохимической правки абразивного токопроводящего инструмента за счет последовательного подключения и отключения от источника тока для обработки изделия и источника тока для правки инструмента, предназначенные для их осуществления

электрические цепи. Недостаток устройства заключается в том, что электрохимическое шлифование изделия осуществляется при поступательном прямолинейном движении инструмента только в одну сторону, так как при обратном ходе происходит электрохимическая правка инструмента.

Цель работы состоит в повышении эффективности процесса электрохимического шлифования и периодической электрохимической правки токопроводящего шлифовального инструмента.

На рисунке 1 представлена схема предлагаемого нами устройства для автоматического управления процессом периодической электрохимической правки токопроводящего шлифовального инструмента.



1, 2 – источник тока ; 3 – блок коммутации токов;
4, 5 – реле; 6, 7 – концевые датчики ;
8 – инструментальный блок;
9 – шлифовальный токопроводящий инструмент;
10 – металлическое изделие; 11, 12 – правящие катоды;
13 – блок управления коммутацией токов

Рисунок 1 – Схема устройства

Предложенное устройство содержит источник тока 1, используемый при электрохимическом шлифовании металлического изделия 10 и источник тока 2, используемый при электрохимической правке шлифовального токопроводящего инструмента 9. Инструмент установлен в инструментальный блок 8. Блок 3 коммутации токов снабжен двумя реле 4 и 5. Они используются для периодического подключения/отключения правящих катодов 11 и 12 к источнику тока 2. Электролит подается в зону обработки с помощью насоса (на рисунке не показаны). Блок 13 управляет работой блока 3 коммутации тока правки. Устройство также содержит два концевых датчика 6 и 7. Они предназначены для определения крайних положений инструмента 9 и соединены с блоком управления коммутацией токов 13.

Автоматическое управление процессом периодической электрохимической правки токопроводящего шлифовального инструмента осуществляется следующим образом. В блок 8 устанавливается шлифовальный инструмент 9. Настраивается нужная глубина резания. Правящие катоды 11 и 12 устанавливаются ниже обрабатываемой поверхности на величину, равную глубине резания. При запуске цикла плоского электрохимического шлифования изделия 10 прерывается контакт блока 8 с датчиком 6. Блок управления коммутацией токов 13 подает сигнал на замыкание контактов реле 5. После завершения процесса шлифования изделия происходит контакт инструмента 9 с катодом 11 и замыкается электрическая цепь, предназначенная для электрохимической правки инструмента. Происходит анодное растворение частичек налипшего на инструмент обрабатываемого материала и, следовательно, очищение инструмента. При последующем контакте инструментального блока 8 с датчиком 7. контакты реле 5 размыкаются. Затем инструмент 10 и правящие катоды 11 и 12 перемещаются синхронно в одном направлении на величину, равную глубине резания. При обратном поступательном движении инструментального блока 8 происходит прерывание его контакта с датчиком 7. Контакты реле 4 замыкаются. Электрохимическая правка инструмента 9 катодом 12 при обратном движении инструментального блока 8 осуществляется аналогично электрохимической правке, рассмотренной выше.

Процесс автоматического управления периодической электрохимической правкой токопроводящего шлифовального инструмента был апробирован нами при электрохимическом плоском шлифовании на исследовательском стенде [8] квадратных

образцов размером 10 на 10 мм., изготовленных из стали коррозионностойкой 08Х18Н10 головкой эльборовой AW 6х10х3х60 ЛКВ50 125/100 100 % МЭ-3. Установлено, что процесс периодической электрохимической правки токопроводящего шлифовального инструмента происходил как при прямом, так и обратном перемещении инструмента.

Список использованных источников

1. Патент № 2489236 C2 Российская Федерация, МПК B23H 5/06. Способ электроабразивной обработки токопроводящим кругом : № 2011122895/02 : заявлено 06.06.2011 : опубликовано 10.08.2013 / В. А. Мишин, М. А. Борисов, Д. В. Александров. – EDN THHMVU.
2. Борисов, М. А. Способ электроабразивной обработки труднодоступных поверхностей / М. А. Борисов, Д. А. Дементьев, В. А. Мишин // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2017. – № 4. – С. 15–16. – EDN YHGDHR.
3. Борисов, М. А. Способ электрохимической обработки труднодоступных поверхностей без применения правящего электрода / М. А. Борисов, В. А. Мишин, Д. А. Дементьев // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве : материалы II-ой международной научно-практической конференции, Чебоксары, 11–14 октября 2016 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, 2016. – С. 234–237. – EDN XWCFRF.
4. Исследование влияния электрических режимов комбинированной электроалмазной обработки на качество шлифования твердых сплавов // Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Архипов П. В. // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск, 2014. – С. 323–327.
5. Influence of the Duration of Current Pulses on the Roughness in the Combined Processing of Corrosion Steel 12H18N10T / D. Lobanov, M. Borisov, A. Yanyushkin, V. Skeeba // Key Engineering Materials. – 2022. – Vol. 910 KEM. – P. 397–402. – DOI 10.4028/p-gu270a. – EDN DMQEWE.
6. Борисов, М. А. Аспекты применения электрохимического шлифования зубопротезных металлических изделий / М. А. Борисов, В. А. Мишин // Новые технологии науки, техники, педагогики высшей школы : материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 29–31 мая 2017 года. – Москва: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», 2017. – С. 157–159. – EDN ZEDXOZ.
7. Патент на полезную модель № 232260 U1 Российская Федерация, МПК B23H 5/08, B24B 53/00. Устройство для электрохимической обработки и правки инструмента : заявл. 19.12.2024 : опубл. 04.03.2025 / М. А. Борисов, О. А. Надеждина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова». – EDN RJFCKY.
8. Разработка устройства для исследования и моделирования процесса электрохимического шлифования / М. А. Борисов, Д. В. Лобанов, В. Ю. Скиба, О. А. Надеждина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2025. – Т. 27, № 1. – С. 93–105. – DOI 10.17212/1994-6309-2025-27.1-93-105. – EDN TOQSUS.

УДК 629.7.054

ТРЕНАЖЕРНЫЙ СТЕНД ПИЛОТИРОВАНИЯ БПЛА

Чупахин И. А., студ., Демидов М. С., студ., Гребенникова Н. М., к.т.н., доц.
Тамбовский государственный технический университет,
г. Тамбов, Российская Федерация

Реферат. *В статье рассматривается специализированный учебный стенд для подготовки операторов дронов, конструктивно выполненный в виде рамы с системой динамических подвесов, которая удерживает реальный аппарат. Будучи зафиксированным в подвесах, дрон сохраняет полную работоспособность всех бортовых систем, что создает достоверную имитацию полета при абсолютной безопасности оборудования. Особое внимание уделяется каркасу крепления дрона, спроектированному в SolidWorks и изготовленному методом 3D-печати для быстрой проверки подвижности соединений.*

Ключевые слова: стенд, БПЛА, оператор, дрон, обучение.

Основная проблема при обучении пилотированию дронов заключается в высоком риске повреждения дорогостоящей техники и угрозе безопасности людей и окружающих объектов, поскольку каждое практическое занятие может обернуться аварией. Эффективным решением этой задачи стал специализированный учебный стенд, который кардинально меняет подход к подготовке операторов. Данный тренажер позволяет отрабатывать ключевые летные навыки в контролируемой среде, полностью исключая какие-либо риски.

Актуальность поиска решений этой проблемы сегодня как никогда высока. Беспилотные авиационные системы превратились в рабочий инструмент для десятков отраслей: от сельского хозяйства и геодезии до кинематографа и логистики. Рынок требует всё большего количества квалифицированных пилотов, однако подготовка специалистов традиционными методами сопряжена с серьезными противоречиями. С одной стороны, практика в небе жизненно необходима для формирования навыков. С другой – каждый вылет новичка – это потенциальная авария, угроза здоровью людей и риск уничтожения техники. В связи с этим, разработка учебных стендов, дающих возможность пройти первичную летную практику без риска подъема в воздух, становится необходимым условием для качественного обновления системы профессиональной подготовки кадров [1].

Конструктивно стенд выполнен в виде прочной рамы, на которой с помощью системы динамических подвесов закреплен реальный дрон. Хотя аппарат лишен возможности свободного полета, все его бортовые системы, включая двигатели и пропеллеры, функционируют в штатном режиме (рис. 1).



Рисунок 1 – Внешний вид стенда

Ключевым элементом здесь является каркас крепления самого дрона. В качестве тестового образца каркас был спроектирован в приложении SolidWorks и напечатан на 3D-принтере из пластика PLA, что позволило оперативно и с минимальными затратами проверить подвижность соединений и корректность установки подшипников (рис. 2). Обучающийся управляет дроном с помощью обычного пульта, и аппарат реагирует на команды так же, как в реальном полете: моторы меняют обороты, корпус наклоняется, но дрон не может покинуть пределы стенда [2]. Это создает полный эффект присутствия, включая звук и вибрацию, но гарантирует отсутствие аварий.

Для наглядности отображения траектории и положения аппарата применяются специальные технические решения, например, система подвижных колец, кинематически связанная с полетным

контроллером. Эти кольца в реальном времени повторяют все угловые перемещения дрона, визуализируя его ориентацию в пространстве [3]. Благодаря этому пилот сразу видит взаимосвязь между движениями джойстиков и поведением машины, что способствует быстрому формированию правильной мышечной памяти. В настоящее время ведется разработка универсального крепления, которое позволит быстро адаптировать стенд для различных моделей дронов, делая тренажер более гибким инструментом в подготовке операторов.

Перспективным направлением модернизации является оснащение стенда расширенной системой датчиков, способных в реальном времени анализировать работу всех узлов дрона – от энергопотребления двигателей до создаваемой тяги и уровня вибраций [4]. Собранные данные выводятся на монитор инструктора, что позволяет не только обучать пилотированию, но и отрабатывать энергоэффективные режимы полета, а также диагностировать ранние признаки неисправностей. Особую ценность тренажеру придает возможность моделирования сложных внешних условий, таких как направленные порывы ветра от программируемых вентиляторов или имитация осадков. Инструктор может программно сымитировать отказ двигателя, потерю сигнала или разряд аккумулятора, а курсант учится парировать эти нештатные ситуации без риска фатальных последствий [5].



Рисунок 2 – Каркас крепления дрона

Экономическая эффективность такого тренажера очевидна: сотни учебных часов проходят без малейшего ущерба для дорогостоящего оборудования, что многократно окупает первоначальные вложения [6]. Стенд позволяет до автоматизма отработать взлет, посадку, зависание и сложные маневры, формируя у будущего пилота уверенные навыки еще до первого реального вылета. Таким образом, данный высокотехнологичный комплекс служит надежным мостом между теорией и практикой, готовя не робких новичков, а уверенных специалистов, что в итоге повышает надежность и безопасность всей отрасли в целом .

Список использованных источников

1. Василенко, Н. В. Никитан, К. Д. Пономарёв, В. П. Смолин, А. Ю. Основы робототехники. – Томск МГП «РАСКО», – 1993. – 470 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: пер. с англ. – Изд. 2-е. – М.: Издательство БИНОМ . – 2014. – 704 с.
3. Юревич, Е. И. Основы робототехники – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
4. Иноземцев, Д. П. Беспилотные летательные аппараты: теория и практика // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2013. – № 2. – 49 с.
5. Иванов, А. А. Этапы разработки информационно-измерительных систем для определения координат и параметров движения подвижных объектов / А. А. Иванов, А. В. Иванов // Цифровая трансформация в энергетике : сборник трудов конференции, Тамбов, 19 декабря 2024 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2025. – С. 45–47.
6. Минаев, Д. А. Моделирование вихревого эффекта / Д. А. Минаев, О. Н. Попов // Цифровая трансформация в энергетике : сборник трудов конференции, Тамбов, 19 декабря 2024 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2025. – С. 67–68.

УДК 62-551.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Савинова К. С., к.т.н., асс.
Тамбовский государственный технический университет,
г. Тамбов, Российская Федерация

Реферат. *Статья представляет собой практическое продолжение и экспериментальное исследование на реальном объекте управления, изложенных в статье К. С. Савиновой, С. В. Фролова и соавторов об использовании эффективных систем позиционного регулирования для задач медицинской техники. В качестве реального объекта управления рассмотрен экспериментальный блок управления гидродинамическим неонатальным фантомом, имитирующий метаболизм новорождённого в целях оценки качества управления микроклиматом в неонатальных инкубаторах. Проведено сравнение стандартного двухпозиционного регулирования и усовершенствованного двухпозиционно-статического метода с корректирующими звеньями, реализованные с использованием одноплатного микрокомпьютера Raspberry и языка программирования Python. Результаты подтвердили теоретические выводы, полученные в ранних теоретических имитационных исследованиях.*

Ключевые слова: двухпозиционное регулирование, усовершенствованное двухпозиционно-статическое регулирование, позиционное управление, стабилизация температуры, автоматическое регулирование.

В работе авторов С. В. Фролова, К. С. Савиновой, А. Ю. Куликова и И. А. Суконкина «Использование эффективных систем позиционного регулирования для задач медицинской техники» был проведен комплексный анализ применения двухпозиционных регуляторов в медицинском оборудовании [1]. Несмотря на простоту реализации, низкую стоимость и надежность, стандартное двухпозиционное регулирование обладает существенным недостатком – значительной амплитудой колебаний управляемой величины относительно задания, что ограничивает его применение в задачах, требующих высокой точности. Анализ результатов имитационного моделирования различных методов усовершенствованного двухпозиционного регулирования показал, что усовершенствованное двухпозиционно-статическое регулирование позволяет достичь минимальных отклонений от задания и устранить статическую ошибку, но это приводит к интенсификации работы реле, снижая его долговечность [1].

Изучение характеристик процессов управления позволило сделать вывод об актуальности исследуемых методов и необходимости применения перспективных методов позиционного управления для задач медицинской техники [1]. Несмотря на убедительность результатов моделирования, реальное внедрение алгоритмов в медицинскую технику требует их проверки на физических объектах, учитывающих возмущающие воздействия, погрешности датчиков и нелинейности тепловых процессов.

В рамках исследований, направленных на разработку экспериментальной установки для исследования микроклимата в неонатальных инкубаторах с использованием полноростового гидродинамического фантома новорожденного возникла необходимость точного поддержания температуры поверхности фантома, имитирующего терморегуляцию в организме ребенка [2]. Для поддержания температуры поверхности фантома был разработан экспериментальный блок управления температурой кровеимитирующей жидкостью, которая с помощью перистальтического насоса циркулирует через внутренние полости неонатального фантома. Нагрев кровеимитирующей жидкости осуществляется в специальной емкости с нагревательным элементом на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi 4, выполняющего функции контроллера системы управления.

Целью данной работы является экспериментальная оценка выводов статьи [1] на реальном объекте управления (неонатальном фантоме). Измерение температуры осуществлялось

цифровым датчиком HDC1080, обеспечивающим точность ±0,2 °C. Исполнительным механизмом служил нагревательный элемент, управляемый через широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) с частотой 1 кГц.

В целях поддержания температуры кровеимитирующей жидкости были реализованы два алгоритма управления. В первом случае был проведен эксперимент для оценки стандартного двухпозиционного регулирования с гистерезисом. Во втором случае – усовершенствованное двухпозиционно-статическое регулирование с двумя корректирующими звеньями первого порядка, обрабатывающими сигнал ошибки регулирования. Параметры системы были заданы следующим образом: целевая температура поддержания кровеимитирующей жидкости составляла 40 °C, интервал измерений – 2 секунды, зона нечувствительности (гистерезис) реле – 0,3 °C, коэффициент заполнения ШИМ управления напряжением нагревателя 40 %. Для усовершенствованного алгоритма параметры корректирующих звеньев были установлены: постоянная времени первого звена T_1 = 60 секунд с коэффициентом усиления k_1 = 0,05 для компенсации медленной инерции системы; постоянная времени второго звена T_2 = 10 секунд с коэффициентом усиления k_2 = 0,01 для обеспечения быстрого отклика на возмущения. Также стоит отметить, что в предыдущих экспериментальных исследованиях зона гистерезиса составляла 1,0 °C. Было принято решение снижения зоны нечувствительности до 0,3 °C для снижения статической ошибки и амплитуды колебаний. На рисунке 1 представлены результаты работы стандартного двухпозиционного регулятора.

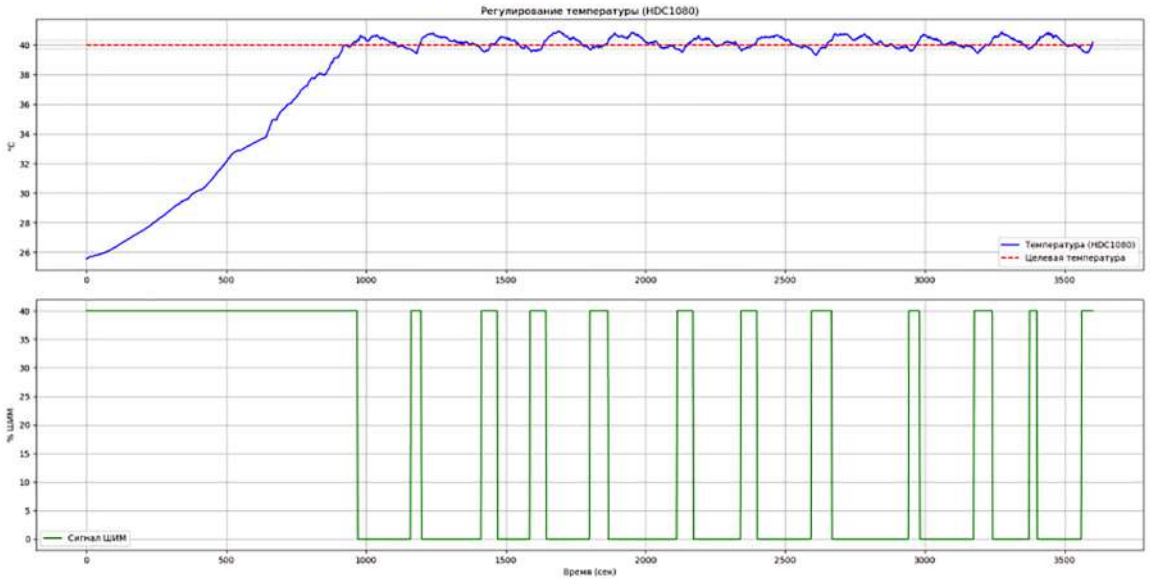


Рисунок 1 – Результаты моделирования стандартного двухпозиционного регулирования: температура, задание и управляющий сигнал (ШИМ)

На рисунке 1 заметна значительная амплитуда колебаний температуры относительно задания (±0,5–1,0 °C), что характерно для данного метода управления. Нижний график показывает управляющий сигнал ШИМ, который принимает два значения (0 % и 40 % мощности). Отмечается низкая частота переключений реле (около 10 включений за время эксперимента – 1 час), что обеспечивает высокую надежность исполнительного механизма, но не позволяет достичь высокой точности поддержания температуры.

На рисунке 2 представлены результаты работы усовершенствованного двухпозиционно-статического регулятора с двумя корректирующими звеньями. Наблюдается существенное снижение амплитуды колебаний температуры относительно задания – до ±0,2–0,3 °C, что в 2–3 раза лучше по сравнению со стандартным методом. Статическая ошибка регулирования отсутствует. Отмечается увеличение частоты переключений исполнительного механизма примерно в 2 раза по сравнению со стандартным регулятором, что полностью согласуется с данными имитационного моделирования, полученными в предыдущей работе [1]. Приведены

графики корректирующих звеньев: сигнал ошибки (синяя линия) компенсируется медленной коррекцией (оранжевая, T_1 = 60 с, k_1 = 0,05) и быстрой коррекцией (фиолетовая, T_2 = 10 с, k_2= 0,01), что обеспечивает высокую точность стабилизации при сохранении устойчивости системы.

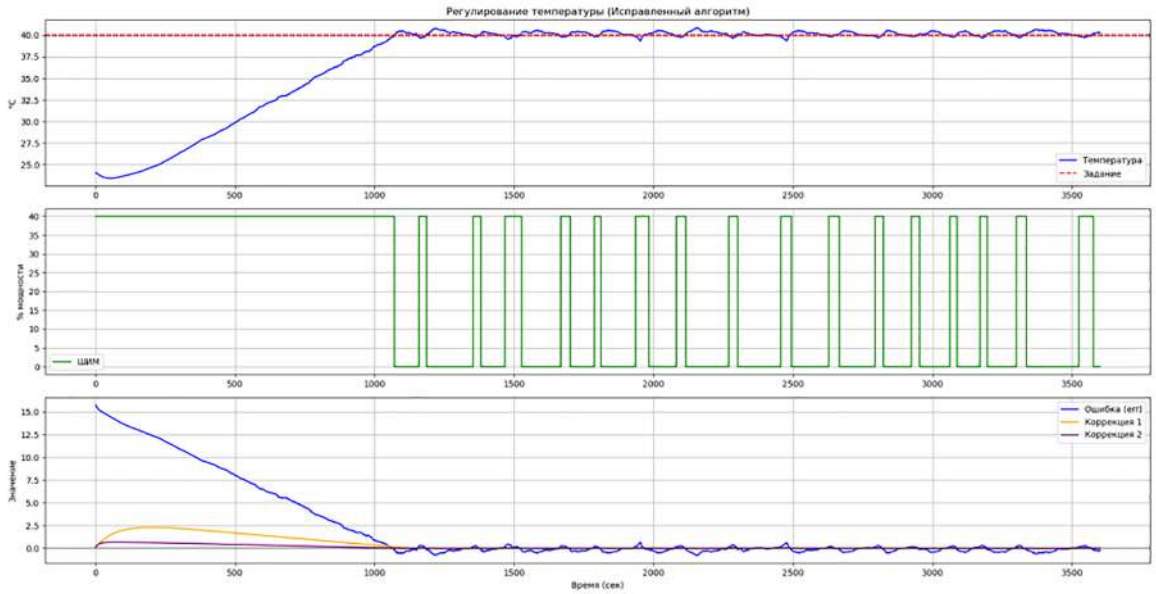


Рисунок 2 – Результаты моделирования усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования: температура объекта, задание, управляющий сигнал (ШИМ), ошибка регулирования и корректирующие сигналы

При использовании стандартного двухпозиционного регулирования наблюдалась классическая картина автоколебаний с амплитудой отклонения температуры от задания в диапазоне 0,5–1,0 °C. При переходе на усовершенствованный алгоритм управления амплитуда колебаний сократилась до 0,2–0,3 °C, а ошибка регулирования асимптотически стремилась к нулю, что свидетельствует об отсутствии статической ошибки. Тем не менее, как и в имитационном моделировании, количество включений нагревателя увеличилось примерно в два раза по сравнению со стандартным методом на том же временном интервале. Это создает потенциальный риск ускоренного износа реле при длительной эксплуатации, что особенно актуально для медицинской техники, работающей в непрерывном режиме.

Таким образом, экспериментальное подтверждение эффективности усовершенствованных позиционных методов открывает путь к их интеграции в более сложные системы управления, в том числе для научно-исследовательских задач, а также задач управления сложными нелинейными системами [3].

Список использованных источников

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. – DOI 10.21685/2227-8486-2022-2-4.
2. Экспериментальная установка для исследования особенностей управления микроклиматом в неонатальных инкубаторах с использованием гидродинамического фантома новорожденного / С. В. Фролов, А. А. Коробов, К. С. Савинова [и др.] // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2024. – Т. 27, № 2. – С. 52–59. – DOI 10.18127/j15604136-202402-07.
3. Нейросетевая система управления микроклиматом и освещенностью в неонатальном инкубаторе / С. В. Фролов, А. А. Коробов, К. С. Савинова, А. Ю. Потлов // Датчики и системы. – 2025. – № 1(279). – С. 62–68. – DOI 10.24412/1992-7185-2025-1-62-68.

УДК 612.13

СРАВНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ И АЛЬТЕРНАТИВНОЙ КОНЦЕПЦИЙ РЕГУЛЯЦИИ КРОВООБРАЩЕНИЯ С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Коробов А. А., к.т.н., доц.
Тамбовский государственный технический университет,
г. Тамбов, Российская Федерация

Реферат. *Рассматривается принципиально новая концепция регуляции сердечно-сосудистой системы В. А. Лищука и соавторов и приведена её формализация в терминах теории автоматического управления. В отличие от классической концепции, в которой регуляция рассматривается как стабилизация параметров по отклонению с главенствующей переменной, в оригинальной концепции В. А. Лищука, построенной на основе теории функциональных систем П. К. Анохина, сердечно-сосудистая система представляется как многосвязная иерархическая система согласования ресурсов автономных подсистем. Авторами оригинальной концепции критикуется классический подход в силу того, что он не учитывает возможность конфликта подсистем организма, каждый из которых имеет автономный контур саморегуляции.*

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, регуляция кровообращения, нейрогуморальная регуляция, теория автоматического управления, математическое моделирование сердечно-сосудистой системы.

В классической физиологии регуляция кровообращения обычно рассматривается как процесс стабилизации определённых параметров, прежде всего артериального давления и сердечного выброса. Это подход наиболее подробно описан в работе Артура Гайтона и широко используется в медицинской литературе [1]. В рамках предложенной, ставшей классической, концепции сердечно-сосудистая система описывается как объект управления, на который воздействуют различные механизмы нервной и гуморальной регуляции, обеспечивающие поддержание физиологических параметров в допустимых пределах. В ряде современных медицинских и научных источников, регуляция рассматривается в рамках единого механизма нейрогуморальной регуляции [1].

В работах В. А. Лищука и соавторов предложена альтернативная концепция регуляции кровообращения, которая направлена на решение спорных вопросов классической концепции [2–4]. Так, авторы справедливо указывают на проблему выбора «главной переменной». В классической физиологии таковой считают артериальное давление или сердечный выброс. В концепции считается, что приоритеты могут меняться и спор о выборе главенствующей переменной некорректен [2–4]. Другой проблемой считают ориентацию на поддержание «нормальных» значений физиологических параметров, которая может быть не оправдана при патологических состояниях. Например, при сниженной сократительной способности миокарда попытка поддерживать нормальный уровень артериального давления может привести к дополнительной перегрузке сердца. Третьей проблемой называют недостаток внимания к автономным механизмам саморегуляции, в том числе сердца. И наконец, существующие модели кровообращения, в основе которых лежат классические представления о регуляции, могут иметь ограниченное применение в клинической практике, так как они описывают, прежде всего состояние функционирования здорового организма [2–4].

Общностью обеих концепций можно считать то, что главными задачами сердечно-сосудистой системы в обеих является обеспечение ткани кислородом и питательными веществами согласно с их потребностями. Различия концепций особенно видны при попытке представления обеих с позиции теории автоматического управления.

В классической концепции регуляция рассматривается как иерархическая система управления с единым центром – бульбарным (вазомоторным) центром в продолговатом мозге. Этот центр считается автономным регулятором, способным поддерживать гомеостаз даже при отключении от вышележащих структур. Можно сказать, что с точки зрения ТАУ, сердечно-сосудистая систем здесь – одноконтурная система автоматического регулирования (САР).

Можно выделить классические элементы, присущие САР:

– задающее воздействие (уставка) – это «нормальное» значение главенствующей переменной, в роли которой чаще всего называют артериальное давление;

– объект управления – сердце и сосуды;

– измеряемая величина – текущее значение главенствующей переменной;

– обратная связь – сигналы от барорецепторов;

– ошибка регулирования – разница между «нормальным» и текущим значением главенствующей переменной;

– управляющее воздействие – изменение тонуса сосудов и частоты сердечных сокращений через симпатическую и парасимпатическую нервную систему.

Такая система стремится минимизировать ошибку по одной переменной. Таким образом, здесь система выступает в роли регулятора, работающего по принципу отрицательной обратной связи: датчики (барорецепторы) передают информацию об отклонении текущего давления от заданного значения (уставки), а центр вычисляет «сигнал ошибки» и формирует управляющее воздействие на исполнительные органы – сердце и сосуды. Этот подход предполагает, что центр стремится минимизировать ошибку регулирования любой ценой, возвращая систему к норме даже в условиях патологии, что может приводить к опасной перегрузке ресурсов отдельных органов, таких как больное сердце [3, 4].

Концепция В. А. Лищука в терминах ТАУ переходит от идеи прямого управления функциями к принципу самоорганизации и согласования возможностей. Здесь органы и ткани рассматриваются как автономные функциональные системы, обладающие собственными контурами саморегуляции, способными к эффективному решению локальных задач. Высший вегетативный центр уравновешивает положительные составляющие ошибок регулирования различных подсистем, которые являются интегральным сигналом качества работы подсистем организма. Концепция позволяет уйти от принудительного навязывания нормы к перераспределению нагрузки на основе текущих ошибок между всеми подсистемами, позволяя разгрузить нагрузку со «слабого звена». В роли автономных подсистем выступают система саморегуляции сердца, артериальный и венозный сосудистые резервуары, а также обобщённая капиллярная система тканей. Сосудистая система представлена артериальным и венозным резервуарами, обладающими механизмами изменения сосудистого тонуса. Тканевой уровень представлен капиллярным руслом и артериолами, где осуществляется локальная саморегуляция кровотока в зависимости от метаболических потребностей тканей [3, 4].

С точки зрения ТАУ сердечно-сосудистую систему в предложенной концепции можно рассматривать как многосвязную систему управления с несколькими входами и выходами. Управляемыми величинами (выходами) выступают локальные функции автономных подсистем. Ошибки регулирования формируются внутри каждой подсистемы на основе отклонения её текущего состояния. Однако здесь важную роль играет не полная ошибка, а её положительная составляющая. Цель всей системы – не минимизация отклонений от заданной уставки, а сохранение жизнеспособности организма в целом за счёт предотвращения критического перенапряжения любой подсистемы, гибкого перераспределения нагрузки между ними, допущения временного снижения эффективности одних функций ради спасения других [3, 4].

Таким образом, в концепции В. А. Лищука сердечно-сосудистая система описывается как многоконтурная система управления, в которой существует несколько параллельных контуров саморегуляции. Каждый из них формирует собственные сигналы ошибок, а центральные механизмы регуляции выполняют функцию координатора, перераспределяющего управляющие воздействия между подсистемами.

Представление обеих концепций в терминах теории управления позволяет более чётко выявить их структурные различия и уточнить роль центральных и локальных механизмов регуляции кровообращения. Такой подход может быть полезен при разработке сложных математических моделей сердечно-сосудистой системы, учитывающих регуляцию.

На кафедре «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «ТГТУ» разрабатывается математическая модель нейрогуморальной регуляции кровообращения, потенциально применимая для создания цифрового двойника сердечно-сосудистой системы [5, 6]. В её основе лежат подходы адаптивного управления и методы нейронных сетей, в том числе авторский алгоритм градиентного нейросетевого управления [7]. Перспективным направлением является

применение вышеописанных подходов и методов для математического моделирования новых альтернативных подходов к описанию механизмов регуляции [8].

Список использованных источников

1. Холл, Дж. Э. Медицинская физиология по Гайтону и Холлу / Дж. Э. Холл ; пер. с англ. ; под ред. В. И. Кобрина, М. М. Галагудзы, А. Е. Умрюхина. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Логосфера, 2018. – 1328 с.
2. Лищук, В. А. Математическая теория кровообращения / В. А. Лищук. – М. : Медицина, 1991. – 256 с.
3. Лищук, В. А. Математические модели и методы в интенсивной терапии: сорокалетний опыт. К 50-летию НЦССХ им А. Н. Бакулева. Часть 1. 1966–1986 гг. / В. А. Лищук, Л. А. Бокерия // Клиническая физиология кровообращения. – 2006. – № 1. – С. 5–16.
4. Бокерия, Л. А. Концепция регуляции сердечно-сосудистой системы – от управления функциями к согласованию возможностей (часть 5. Роль регуляции) / Л. А. Бокерия, В. А. Лищук, Д. Ш. Газизова [и др.] // Клиническая физиология кровообращения. – 2013. – № 1. – С. 34–44.
5. 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.
6. Фролов, С. В. Совместное использование методов функциональной диагностики и математического моделирования сердечно-сосудистой системы ребенка с врожденным пороком сердца / С. В. Фролов, Д. Е. Судаков // Российский кардиологический журнал. – 2024. – Т. 29, № 17. – 44 с.
7. Фролов, С. В. 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. – DOI 10.25791/pribor.5.2021.1262.
8. Potlov, A. Yu. Use of a neural controller and electrochromic glazing in incubators for neonates for adaptive simulation of day/night changes / A. Yu. Potlov, S. V. Frolov, A. A. Korobov, K. S. Savinova // Biomedical Engineering. – 2024. – Vol. 58, No. 4. – P. 234–237. – DOI 10.1007/s10527-024-10406-y.

УДК 681.5:004.8

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВИБРАЦИОННОГО ДАТЧИКА НАСОСНОГО АГРЕГАТА В ДИСКРЕТНОМ ВРЕМЕНИ

Хаитова А. Р., преп.
Международная академия исламоведения Узбекистана,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

Реферат. *В работе представлена математическая модель вибрационного датчика, установленного на насосном агрегате, в условиях дискретного времени. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения надёжности и эксплуатационной устойчивости насосных установок за счёт своевременного контроля их технического состояния. Вибрационные параметры рассматриваются как информативный диагностический признак, отражающий динамические изменения в работе агрегата при различных режимах нагрузки.*

В рамках исследования разработана дискретная модель обработки измеренных вибрационных сигналов с учётом периодичности съёма данных и ограничений аппаратной реализации датчика. Полученные зависимости позволяют описать изменение амплитуды вибрации во времени и установить граничные значения, соответствующие нормальному и предельному состоянию оборудования. Особое внимание уделено анализу устойчивости

модели и её чувствительности к изменению частоты дискретизации.

Результаты моделирования подтверждают возможность применения предложенного подхода для оценки технического состояния насосного агрегата и выявления начальных признаков ухудшения его работы. Представленная модель может быть использована при разработке систем мониторинга и автоматического контроля промышленного оборудования.

Ключевые слова: насосный агрегат, вибрация, дискретная модель, мониторинг состояния, техническая диагностика.

Введение

Насосные агрегаты широко применяются в энергетике, нефтегазовой отрасли, коммунальном хозяйстве и других сферах промышленности. Надёжность их работы во многом определяется техническим состоянием вращающихся элементов, подшипниковых узлов и соединительных механизмов. Одним из наиболее информативных параметров, позволяющих оценить состояние оборудования, является уровень вибрации.

Повышение вибрации может свидетельствовать о нарушении балансировки ротора, износе подшипников, несоосности валов или других механических дефектах. В связи с этим применение вибрационных датчиков для контроля состояния насосных агрегатов является актуальной задачей современной промышленной диагностики. Особую значимость приобретает переход к цифровым методам обработки сигналов, основанным на дискретном представлении измеряемых параметров. Использование дискретного времени при регистрации вибрационных сигналов позволяет учитывать периодичность съёма данных и особенности работы микроконтроллерных систем. Это создаёт предпосылки для построения адекватной математической модели, описывающей изменение вибрационных параметров во времени и обеспечивающей корректную интерпретацию полученных результатов.

Анализ

В ходе исследования была проведена оценка изменения вибрационных параметров насосного агрегата при различных уровнях нагрузки. Экспериментальные данные показали, что с увеличением нагрузки наблюдается устойчивый рост амплитуды вибрации, что соответствует увеличению динамических усилий в элементах вращающегося механизма. При этом характер изменения вибрации имеет нелинейную тенденцию, особенно в диапазоне высоких нагрузок.

Анализ дискретной модели показал, что корректный выбор шага дискретизации оказывает существенное влияние на точность представления вибрационного сигнала. При недостаточной частоте съёма данных возможна потеря информативных составляющих сигнала, что снижает достоверность диагностики. В то же время чрезмерное увеличение частоты дискретизации приводит к росту вычислительной нагрузки без существенного повышения точности.

Счетчик подтверждения k_n, основанный на времени.

Если колебания продолжаются непрерывно, k увеличивается шаг за шагом; если колебания прекращаются, k падает до нуля;

$$k_{n+1} = \begin{cases} min(k_n + 1, K_2), & v_n = 1 \\ 0, & v_n = 0 \end{cases}$$

Здесь: $k_n \geq K_1$ если вибрация проходит через «короткодействующий фильтр», $k_n \geq K_2$ если вибрация длится достаточно долго.

Таблица 1 – Правило формирования вибрационного сигнала

№	Состояние	Закон обновления	Физическое содержимое
1	2	3	4
Правило формирования вибрационного сигнала			
1	$A_n \geq A_{max}$	$v_n = 1$	Вибрация считается чрезвычайной ситуацией

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
2	$A_n \geq A_{max}$	$v_n = 0$	Вибрация допустима
Счетчик длительности вибрации динамика			
1	$v_n = 1$	$k_{n+1} = k_n + 1$	Вибрация продолжается непрерывно
2	$v_n = 0$	$k_n + 1 = 0$	Вибрация прекращается, отсчет начинается заново

Стабилизация / счетчик повторений x_n

Вибрация начинает возрастать по оси x только после прохождения стадии K_1:

$$x_{n+1} = \begin{cases} min(x_n + 1, X_2), & (v_n = 0 \wedge (k_n \geq K_1)) \\ 0, & v_n = 0 \end{cases}$$

Результаты

В результате моделирования была получена дискретная математическая зависимость, описывающая изменение вибрационной амплитуды насосного агрегата в зависимости от уровня нагрузки и частоты дискретизации. Разработанная модель позволяет вычислять значения скорости и ускорения вибрации на каждом шаге измерения и формировать критерии оценки технического состояния оборудования.

Расчётные данные показали, что при нагрузке свыше 75 % наблюдается заметное увеличение вибрационной активности, что может свидетельствовать о повышении механических напряжений и вероятности развития дефектов. Полученные результаты подтверждают возможность применения разработанной модели в системах мониторинга состояния насосных агрегатов.

Таблица 2 – Принятие решения об отключении насосного агрегата

№	Состояние	Эффект выхода	Объяснение
Принятие решения об отключении насосного агрегата			
1	$k_n \geq K_2$	$P_{n+1} = 0$	Тряска продолжалась долгое время
2	$x_n \geq X_2$	$P_{n+1} = 0$	Вибрация – это стабильное условие столкновения
3	Другая ситуация	$P_{n+1} = P_n$	Насос продолжит работать
Начальные условия			
	Смена	**Ценить**	**Объяснение**
1	P_0	1	Насос запускается и находится в рабочем состоянии
2	k_0	0	Начальное значение счетчика длительности
3	x_0	0	Начальное значение счетчика стабильности
Связывание дискретных параметров с реальным временем			
	Параметр	**Пошагово**	**Выражение в реальном времени**
1	Короткий фильтр	K_1	$T_1 = K_1 \Delta t$
2	Длительная продолжительность	K_2	$T_2 = K_2 \Delta t$

Заключение

В работе разработана математическая модель вибрационного датчика насосного агрегата в дискретном времени, позволяющая формализовать процесс регистрации и анализа вибрационных параметров при различных режимах нагрузки. Предложенный подход основан на цифровом представлении измеряемых сигналов и учёте периодичности их съёма, что обеспечивает корректную обработку данных в микроконтроллерных системах мониторинга. Разработанная модель может быть использована при создании автоматизированных систем контроля технического состояния насосных агрегатов, а также при внедрении цифровых средств диагностики промышленного оборудования. Практическая значимость работы заключается в повышении надёжности эксплуатации насосных установок и возможности своевременного выявления отклонений от нормального режима работы.

Список использованных источников

1. Абдуллаев, А. А. Основы цифровой обработки сигналов / А. А. Абдуллаев – Ташкент: Издательство ТДЮУИТ, 2019.
2. Рахимов, М. М., Юсупов, Ж. Б. Диагностика технического состояния промышленного оборудования / М. М. Рахимов, Ж. Б. Юсупов. – Ташкент: Фан, 2016.
3. Нурматов, Ш. Н. Информационно-коммуникационные технологии и их применение в промышленности / Ш. Н. Нурматов– Ташкент: Инновация ривожи, 2020.
4. ISO 20816-1:2016. Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration. – Geneva: International Organization for Standardization, 2016. – P. 34.
5. Randall, R. B. Vibration-Based Condition Monitoring / R. B. Randall – Chichester: John Wiley & Sons, 2011. – P. 308.
6. Harris, C. M., Piersol, A. G. Harris' Shock and Vibration Handbook / C. M. Harris, A. G. Piersol. – New York: McGraw-Hill, 2010.
7. Mobley, R. K. An Introduction to Predictive Maintenance / R. K. Mobley. – Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2002. – P. 437.
8. IEEE 1451: Smart Transducer Interface Standards. – New York: IEEE Standards Association, 2020.
9. Мирзиёев, Ш. М. Послание Президента Республики Узбекистан Олий Мажлису и народу Узбекистана. – Ташкент, январь 2026 г.
10. Стратегия «Узбекистан – 2030». Указ Президента Республики Узбекистан № ПФ-158 от 11.09.2023.

УДК 621.315

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ КОРЗИНОЧНЫХ ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННЫХ КАТУШЕК

Медведева Т. С., лаб., Ковалевский Д. О., лаб.
Херсонский технический университет

Реферат. *В статье рассматривается проблема ограниченности выбора мощных индуктивно связанных катушек для беспроводной зарядки беспилотных летательных аппаратов. Исследуется конструкция и преимущества корзиночных катушек, которые можно изготовить самостоятельно, и приводятся результаты экспериментального определения их индуктивности. Полученные данные аппроксимированы математическими зависимостями, подтверждающими квадратичный характер связи между числом витков и индуктивностью.*

Ключевые слова: беспроводная зарядка, индуктивно связанные катушки, корзиночная катушка, индуктивность.

В последние годы наблюдается стремительный рост использования беспилотных летательных аппаратов в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства и культурного плана. Современные дроны имеют ограниченное время полета, и требуют периодической подзарядки. Одним из способов является беспроводная зарядка, особенно это актуально в условиях, когда необходимо обслуживать большое количество дронов, непрерывно работающих. Узловым элементом беспроводной зарядки являются индуктивно связанные катушки. Проблема заключается в том, что на рынке электротехнической продукции они представлены крайне скудно и в основном стандартизированы для приёмников малой мощности, что делает невозможным их применения в устройствах большей мощности, коими являются беспилотные летательные аппараты [1].

Один из способов получения тороидальной катушки из обычной цилиндрической заключается в том, что сначала на стержневую оправку производится рядовая намотка провода, после чего витки скрепляются связующим материалом по одной части их периметра. Затем эта гибкая обмотка изгибается до образования кольца, и уже в таком состоянии витки фиксируются окончательно по оставшейся части периметра. Такой подход позволяет получить катушку с замкнутым магнитным полем, что особенно ценно при необходимости размещения экрана в непосредственной близости от нее, без риска внесения значительных искажений в ее работу.

Для мощных высокочастотных устройств, где критически важны эффективный отвод тепла и возможность подстройки индуктивности, разработана технология крепления обмотки на диэлектрической пластине [2]. После намотки цилиндрической спирали внутрь нее ввинчивают пластину с двумя рядами пазов по краям. Шаг этих пазов точно соответствует шагу намотки, причем один ряд сдвинут относительно другого на половину шага. Такая конструкция не только надежно фиксирует витки, но и оставляет обмотку практически открытой для воздушного охлаждения, а сама пластина, выступая за пределы катушки, служит удобным основанием для ее крепления и может иметь отверстия для монтажа.

Существуют также методы, использующие свойства материалов с эффектом памяти. Например, ребра жесткости для катушек изготавливают из термопласта, в котором предварительно формуют отверстия меньшего диаметра, чем провод обмотки. Эти отверстия разогревают и растягивают, формируя пазы, в которые затем закладывают витки. При последующем нагреве материал ребра стремится вернуться к исходной форме, плотно обжимая каждый виток по всей поверхности контакта [3]. Это обеспечивает не только механическую прочность, но и высокую электрическую прочность конструкции. Все эти технологии объединяет стремление к точному контролю над геометрией и физическими свойствами, что в конечном итоге определяет поведение катушки в схеме.

Выше приведенные способы сложны для использования вне мощного цеха и высокой степени автоматизации. В [4] приводились опыты с определением оптимальных параметров индуктивно связанных катушек. Показано, что наиболее простым и надежным способом является использование корзиночной катушки, приведенной на рисунке 1.



Рисунок 1 – Корзиночные катушки

Корзиночные катушки обладают следующими преимуществами: легкостью намотки, устойчивостью конструкции, высокой индуктивностью. В отличии от варианта, приведенного в [4], для намотки катушки использовались два медных провода ПЭТВ-2 с диаметром 0,5 мм. Это уплотнило витки и значительно повысило значение индуктивности. Варьируя значения лепестков, можно также варьировать индуктивность катушки. Корпус для катушек был выполнен с помощью 3D-принтера с применением PLA-пластика. Внутренний диаметр составляет 30 мм, внешний – 60 мм, толщина – 0,8 мм.

Для того чтобы оценить индуктивность полученных катушек и также обеспечить задел для будущих проектов было принято решение измерять их индуктивность в зависимости от числа намотанных катушек. Для этих целей отменялась длина провода, и поочередно наматывалась корзиночная катушка. Проводились замеры индуктивности при величине числа витков, кратным пяти. Полученные данные представлены на рисунке 2.

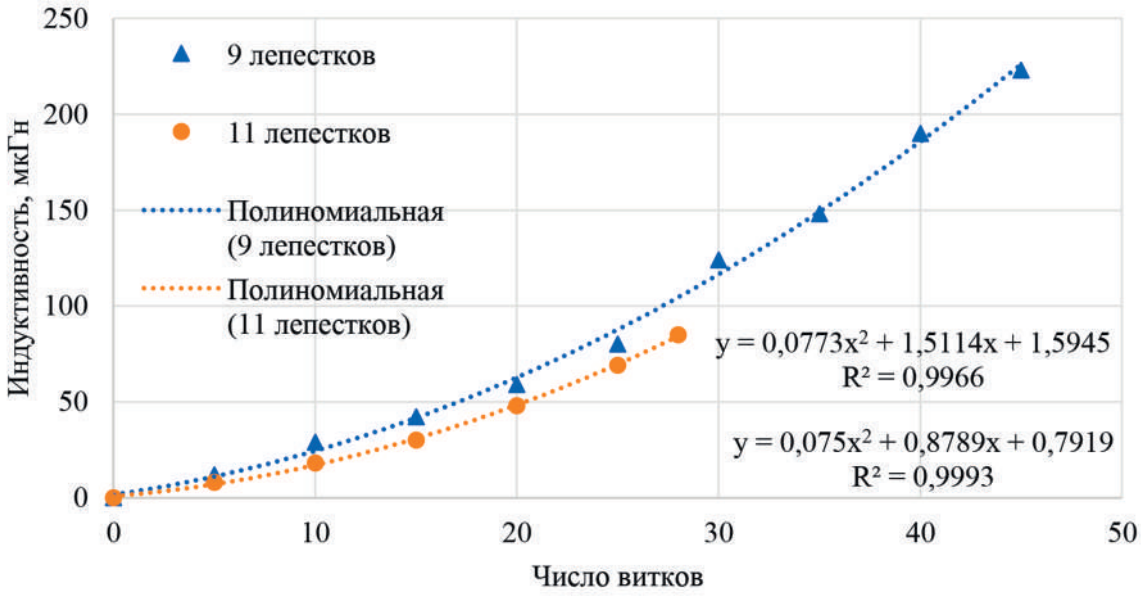


Рисунок 2 – Зависимость между числом витков и индуктивностью для корзиночных катушек

Как можно видеть из рисунка 2 зависимость имеет явный квадратичный характер. Полученные зависимости можно аппроксимировать:

$$L_1 = 0{,}0773n^2 + 1{,}5114n + 1{,}5945, \quad (1)$$

$$L_2 = 0{,}075n^2 + 0{,}8789n + 0{,}7919. \quad (2)$$

Также зависимость может быть представлена в виде чистой квадратичной зависимости:

$$L_1 = 0{,}12n^2, \quad (3)$$

$$L_2 = 0{,}11n. \quad (4)$$

Коэффициент коррекции между экспериментальными данными и формулами (1) и (2) составляет для девятилепестковой катушки 0,996 и для одиннадцатилепестковой 0,999 соответственно. Коэффициент коррекции между экспериментальными данными и формулами (3) и (4) составляет для девятилепестковой катушки 0,995 и для одиннадцатилепестковой 0,997 соответственно. Коэффициент связи для двух рядом лежащих катушек составил 0,6.

Выводы

В ходе эксперимента подтверждено, что зависимость индуктивности корзиночных катушек от

числа витков носит квадратичный характер. Полученные аппроксимирующие формулы с высоким коэффициентом корреляции позволяют с достаточной точностью рассчитывать параметры катушек для практического применения. Это дает возможность проектировать и изготавливать индуктивные элементы под конкретные задачи беспроводной передачи энергии для более мощных потребителей, таких как дроны.

Список использованных источников

1. Медведева, Т. С. Применение беспроводного симметричного LLC преобразователя для обмена электроэнергией между беспилотными аппаратами / Т. С. Медведева, А. С. Кустов, Б. А. Авдеев // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : сборник научных трудов / под ред. И. Л. Афонина. – Москва-Севастополь : Изд-ва : РНТОРЭС им. А.С. Попова, СевГУ, 2024. – № 7. – С. 183.
2. Райко, Г. А. Заряд беспилотных летательных аппаратов через двунаправленные беспроводные зарядные станции / Г. А. Райко, А. А. Силкин, В. С.Соболев, А. В. Дегтярев // Международная научно-техническая конференция. Сборник тезисов 35-й Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – Санкт-Петербург: ООО «Типография Фурсова», 2024. – С. 485–488.
3. Черняев, Е. В. Исследование беспроводного последовательного LC резонансного преобразователя / Е. В. Черняев, Г. Р. Полтавец // VII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы техники, технологии и образования». – Керчь : КГМТУ, 2026. – С. 82–85.
4. Бушуева, А. С. Экспериментальное исследование магнитосвязанных катушек для беспроводного устройства передачи электроэнергии / А. С. Бушуева, Б. А. Авдеев // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения). Сборник статей XII Международной научно-практической конференции. – Пенза. – 2025. – С. 27–30.

4.7 Теплоэнергетика

УДК 681.5:621.311

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

Голомуздова А. А., маг., преп.-стажёр, Путеев Н. В., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В работе рассмотрены принципы разработки системы управления ветроэнергетической установкой (ВЭУ): архитектура управляющих контуров, алгоритмы регулирования в зонах частичной и номинальной мощности, управление углом установки лопастей и ориентацией гондолы, а также вопросы мониторинга (SCADA), диагностики и требований безопасности. Показано, что эффективность ВЭУ определяется согласованной работой аэродинамического и электротехнического управления, учетом ограничений исполнительных механизмов и выполнением требований к надежности и устойчивости при сетевых возмущениях.*

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, система управления, регулирование мощности, pitch, yaw, MPPT, силовая электроника, SCADA, диагностика, надежность.

Введение

Основными проблемами в процессе эксплуатации систем ветрогенераторных установкок являются следующие показатели:

– переменность и стохастичность ресурса (ветер меняется по времени и пространству, присутствуют порывы и турбулентность);

– сильная нелинейность аэродинамики и зависимость эффективности от быстроходности и угла лопастей;

– высокие циклические нагрузки на конструктивные элементы (лопасти, редуктор, подшипники, башня), которые влияют на ресурс и стоимость обслуживания;

– интеграция с энергосистемой, требующая выполнения сетевых регламентов по качеству и устойчивости (P/Q, LVRT, гармоники);

– требования по безопасности и надежности в условиях распределённой эксплуатации и удалённого мониторинга.

В таком контексте система управления ВЭУ выступает ключевым компонентом, который обеспечивает:

– максимальную энергоотдачу при переменных ветровых условиях (MPPT);

– удержание параметров (мощность, обороты) в допустимых пределах в штормовых режимах;

– минимизацию усталостных нагрузок и продление срока службы оборудования;

– выполнение сетевых и эксплуатационных требований;

– реализацию безопасных сценариев при отказах и авариях.

Отдельно отмечается прикладной характер работы: предлагаемые решения ориентированы на реализацию в промышленном контроллере и интеграцию в ветропарк с учетом стандартов и практик эксплуатации. В работе также учитываются современные тренды: использование lidar для предиктивного управления, применение технологий предиктивного обслуживания (ML) и усиление мер кибербезопасности.

Основная часть

Развитие ветроэнергетики в мире в последние десятилетия демонстрирует устойчивый рост: увеличиваются единичные мощности турбин, снижаются капитальные затраты и повышается доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в генерации. Ветровая энергия обладает специфическими особенностями – переменностью и стохастичностью ресурса, наличием порывов и турбулентности, – а также сильной нелинейностью аэродинамики и зависимостью эффективности от быстроходности и угла лопастей. Эти факторы, вместе с высокими циклическими нагрузками на лопасти, редуктор, подшипники и башню, определяют основные требования к проектированию, управлению и эксплуатации ветроэнергетической установки (ВЭУ). Интеграция ВЭУ в энергосистему налагает дополнительные условия по качеству и устойчивости энергопоставки (поддержание P/Q, устойчивость при провалах напряжения, снижение гармоник), а также повышает требования к безопасности и киберустойчивости при удалённом мониторинге и управлении.

Типовая ВЭУ включает ветряное колесо с лопастями, систему изменения угла лопастей (pitch), привод ориентации гондолы (yaw), трансмиссию (редуктор или безредукторное решение), генератор (часто с полным или частичным преобразованием), силовую электронику и систему управления с датчиками и интерфейсами SCADA. Система управления является критическим компонентом, способным обеспечить максимизацию выработки при малых и средних скоростях ветра (MPPT), ограничение мощности и оборотов при сильном ветре, снижение усталостных нагрузок, безопасные режимы пуска/остановки и выполнение сетевых требований. С точки зрения теории управления объект характеризуется нелинейностью аэродинамики, переменными параметрами (изменение формы лопастей, обледенение), ограничениями по движениям исполнительных органов и стохастическими ветровыми возмущениями, что диктует применение многоуровневой архитектуры управления.

Архитектура управления обычно включает нижний уровень с контурами исполнительных механизмов (контур тока/момента генератора, позиционные и скоростные контуры приводов pitch, управление yaw и тормозами), средний уровень с энергетическими регуляторами (регуляторы скорости ротора, активной и реактивной мощности, ограничители по оборотам и моменту) и верхний супервизорный уровень SCADA для логики пуска/остановки, диагностики

и диспетчеризации. В зоне частичной мощности (зона II) основная цель управления – извлечение максимальной мощности из потока ветра. Практически применяются несколько подходов: управление по оптимальному моменту (ОТС), при котором задаётся момент в зависимости от скорости ротора для приближения к максимуму коэффициента мощности Cp; управление по поддержанию заданной быстроходности (TSR-control), требующее оценки ветра; и экстремальные алгоритмы поиска максимума (ESC), изменяющие управляющее воздействие и отслеживающие отклик по мощности. Часто используют гибриды: базовый ОТС плюс адаптивные коррекции по данным SCADA и страховочные ограничения по вибрациям и температуре. Эти решения позволяют уменьшить зависимость от ненадёжных измерений ветра и сохранять высокую энергоотдачу в условиях турбулентности.

В зоне номинальной мощности (зона III) задача управления – ограничить аэродинамическую и электрическую мощность до номинальных значений и при этом минимизировать нагрузку на конструкцию. Pitch-регулирование является основным инструментом ограничения: регулятор скорости ротора формирует задающий угол β, при этом вводятся ограничения по скорости изменения угла, фильтрация сигналов и механизмы антинасыщения для предотвращения резких команд. Параллельно контур момента генератора обеспечивает быстродействующее демпфирование и стабилизацию активной мощности, а при наличии дополнительных функций – индивидуальное управление лопастями (IPC) – достигается уменьшение циклических нагрузок за счёт фазированных корректировок β. Для снижения усталостных нагрузок применяются фильтрация резонансов, подавление колебаний башни и привода, ограничение частоты включений yaw и адаптивные ограничения на основе состояния редуктора и подшипников.

Yaw-система корректирует ориентацию гондолы по направлению ветра и, чтобы не изнашивать механические элементы из-за постоянных реакций на кратковременные флуктуации, обычно реализуется по пороговому принципу: поворот выполняется только при превышении ошибки ориентации заданного порога с учётом задержки и ограничений по скорости поворота. Корректная ориентация повышает выработку и снижает поперечные нагрузки на башню и систему привода. Интеграция с сетью через силовую электронику требует от ВЭУ выполнения требований по поддержанию активной и реактивной мощности, соблюдения стандартов гармоник и обеспечению устойчивости при сетевых возмущениях (провалы/подъёмы напряжения, отклонения частоты). Наличие полномасштабного преобразователя и грамотной настройки контуров P/Q, а также реализация функций LVRT/HVRT – ключевые элементы для соответствия современным grid codes.

SCADA-система и подсистемы диагностики играют важную роль в повышении доступности парка. SCADA обеспечивает сбор телеметрии (скорость ветра, обороты, мощность, положения приводов, температуры), журналирование событий и аварий, анализ трендов и формирование отчётов для эксплуатационных служб. Диагностика должна охватывать вибрационный мониторинг редуктора и подшипников, температурный контроль, анализ состояния смазки и деградации датчиков. Современный тренд – переход к предиктивному обслуживанию на базе статистики и машинного обучения, что позволяет планировать ремонты и сокращать внеплановые простои. Не менее важны требования по функциональной безопасности и киберустойчивости: необходимо проектировать системы так, чтобы при отказах происходил гарантированный переход в безопасное состояние (управляемый уход в «перо», применение тормозов), предусматривать резервирование критичных датчиков и каналов, а также защищать интерфейсы управления и передачи данных согласно требованиям (например, IEC 62443 и соответствующим национальным нормам).

Экономическая эффективность эксплуатации ВЭУ напрямую зависит от качества управления и стратегии технического обслуживания: сочетание эффективного MPPT, адаптивного pitch/yaw, подавления резонансов и предиктивной диагностики снижает OPEX за счёт меньшего числа ремонтов и длительного ресурса конструктивных элементов. Одновременно повышение единичной мощности турбин и ужесточение сетевых требований увеличивают значимость алгоритмов снижения нагрузок, интеграции с системами накопления энергии и координации турбин на уровне ветропарка (farm-level control) для оптимизации общей выработки и снижения пиковых нагрузок на сеть. При разработке и внедрении системы управления рекомендуется проводить пилотные испытания на опытных установках с полным сбором телеметрии, интегрировать lidar и прогнозно-ориентированные алгоритмы для предиктивной коррекции, а

также последовательно развивать предиктивное обслуживание на основе исторических данных и ML-моделей.

В заключение следует подчеркнуть, что система управления ВЭУ является интегративным элементом, который объединяет аэродинамическую модель, силовую электронику, механику приводов и стратегию технического обслуживания. Только синергия этих элементов позволяет обеспечить высокую энергоотдачу, соблюдение сетевых требований и экономическую жизнеспособность ветропарка. Для практической реализации необходимо сочетать проверенные физические законы (OTC, TSR) с адаптивными методами и функциями снижения нагрузок (IPC, фильтрация), обеспечив при этом политику безопасности и киберзащиты. Следующим шагом является детальная численная настройка и экспериментальная валидация алгоритмов для конкретных типоразмеров турбин, а также оценка экономического эффекта от внедрения дополнительных функций (lidar, IPC, предиктивное обслуживание).

Заключение

Разработка системы управления ВЭУ – комплексная задача, объединяющая аэродинамику, силовую электронику и автоматику. Основу составляют контуры управления моментом генератора и pitch-регулирования, позволяющие реализовать MPPT в зоне II и ограничение мощности в зоне III. Дополняющие функции yaw-управления, диагностики и SCADA повышают энергоотдачу и эксплуатационную надежность. Повышение единичной мощности турбин и ужесточение сетевых требований усиливают значимость алгоритмов снижения нагрузок, мониторинга состояния и мер кибербезопасности.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 7.0.5–2008. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 апреля 2008 г. № 95-ст : дата введения 2009-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 23 с. – Текст : электронный // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – URL: https://protect.gost.ru/gost/details/2eef7820-44bc-49a4-bf1f-fe51c54039dc (дата обращения: 08.03.2026).
2. ГОСТ Р 51991–2002. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Общие технические требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 20 марта 2003 г. : дата введения 2003-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 12 с. – Текст : электронный // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – URL: https://rosstandart.org/gost/001.027.180/gost-r-51991-2002/ (дата обращения: 08.03.2026).
3. IEC 61400-1–2014. Ветротурбины. Часть 1. Требования к проектированию : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2016 г. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 194 с. – Текст : электронный // Электронный магазин стандартов. – URL: https://www.standards.ru/document/5350713.aspx (дата обращения: 08.03.2026).
4. ГОСТ Р 54149–2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 декабря 2010 г. № 904-ст : дата введения 2013-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 20 с. – URL: https://protect.gost.ru/gost/details/... (дата обращения: 08.03.2026).
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) : утверждены приказом Минэнерго России от 8 июля 2002 г. № 204 : 7-е издание : [с изменениями и дополнениями]. – Москва : НЦ ЭНАС, 2002–2023. – Текст : электронный // Докипедия. – URL: https://dokipedia.ru/print/5157635 (дата обращения: 03.04.2026).

6. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2004. – 747 с.
7. Министерство энергетики Российской Федерации. Раздел «Возобновляемая энергетика» – URL: https://minenergo.gov.ru/ (дата обращения: 20.03.2026). – Текст : электронный.
8. Куксевич, В. Ф. Автоматизация ветроэнергетической установки / В. Ф. Куксевич, А. С. Соколова // Современные тенденции и инновации в науке и производстве : материалы XII Международной научно-практической конференции, Междуреченск, 26 апреля 2023 г. / КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева, Междуреченский филиал. – Междуреченск, 2023. – С. 529-1-529-5.

УДК 691.91:620.193.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Новикова В. А., студ., Жерносек С. В., к.т.н., доц., Марущак А. С., асс.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *Современные требования к энергоэффективности зданий обуславливают широкое применение теплоизоляционных материалов. Однако их долговечность и стабильность функциональных характеристик находятся в прямой зависимости от устойчивости к атмосферным воздействиям. В данной работе представлен системный анализ влияния химического состава и структуры волокон (минераловатные, древесные, биогенные, пробковые) на деградацию теплозащитных свойств. Рассмотрены механизмы старения под влиянием ультрафиолетового излучения, циклического замораживания-оттаивания, сорбции влаги и биологической коррозии, а также проведено сравнение данных испытаний и лабораторного ускоренного климатического старения.*

Ключевые слова: ультрафиолет, деструкция, теплопроводность, старение, теплоизоляционные материалы, атмосферное влияние.

Увеличение толщины теплоизоляции в ограждающих конструкциях является основным методом повышения энергосбережения зданий. Долгосрочная эффективность изоляции зависит не только от начальных значений коэффициента теплопроводности (λ), но и от способности материала сохранять эти характеристики в процессе эксплуатации, то есть от его структурной и химической стабильности [1].

Фасадные системы, включая системы наружной теплоизоляции композитного типа, подвергаются экстремальным климатическим нагрузкам. Как показывает анализ публикаций, существует значительный разрыв между результатами лабораторных испытаний и реальным поведением материалов в условиях многофакторного воздействия среды [2].

Целью данной работы является сравнительное исследование изменений структуры и теплофизических свойств изоляционных материалов различной химической природы (минеральная вата, древесное волокно, пробковые агломераты, биокомпозиты) под воздействием ключевых атмосферных факторов [3].

Материалы и методы оценки. Исследование основывается на данных, полученных из рецензируемых научных статей, в которых применялись методы ускоренного УФ-старения, циклы замораживания–оттаивания, гигротермические испытания в климатических камерах и длительные натурные экспозиции в городских зонах.

Влияние структуры и химического состава волокна на стойкость к старению. Различия в поведении материалов обусловлены морфологией волокон и составом связующего.

Минераловатные утеплители (стекловата и каменная вата). Химический состав и структура: неорганические аморфные волокна, высокая химическая стойкость, низкая сорбционная способность по массе (1–3 % при относительной влажности до 90 %). В отличие от органических материалов, теплопроводность минеральной ваты в гигроскопическом диапазоне влажности остается стабильной. Сравнение стекловолокна и минеральной ваты показало, что стекловолокно обладает более высокой гигроскопичностью, но меньшей паропроницаемостью по сравнению с каменной ватой, что влияет на скорость высыхания конструкции, однако это может зависеть от конкретных материалов. Уязвимость связующего (фенолформальдегидных смол) к гидролизу при длительном увлажнении. Под воздействием УФ и воды у поврежденных образцов увеличивается паропроницаемость и сорбция влаги [4].

Древесно-волокнистые и целлюлозные материалы. Химический состав и структура: полисахариды (целлюлоза, гемицеллюлозы), лигнин. Высокая пористость. Влагосодержание древесного волокна линейно зависит от относительной влажности воздуха, достигая 15–18 % по массе при ОВ 90 %. Теплопроводность линейно возрастает с увеличением влагосодержания в диапазоне до 25 %, что критически снижает энергоэффективность. Воздухопроницаемость древесного волокна примерно может быть выше 50 %, чем у минеральной ваты, что требует увеличения толщины изоляции на 20–30 мм для достижения эквивалентного термического сопротивления [5].

Пробковые материалы (натуральный, агломерированный и экспандированный). Химический состав и структура: суберин и лигнин обеспечивают естественную гидрофобность и эластичность. Наибольшая деградация клеточной структуры наблюдалась у экспандированной пробки (черный агломерат) под УФ. Агломерированная пробка (с полиуретановым связующим) сильнее пострадала от циклов замораживания–оттаивания. Спектральные методы подтвердили исчезновение полос, связанных с суберином и лигнином, после УФ-облучения, что свидетельствует о фотодеструкции. УФ-облучение увеличивает теплопроводность и удельную теплоемкость натуральной пробки, но снижает температуропроводность. Циклы замораживания–оттаивания увеличивают теплопроводность всех типов пробок. Прочность на сжатие падает под УФ у натуральной пробки [6].

Анализ условий и продолжительности атмосферного воздействия. Естественная экспозиция в городских зонах в течение 1 года вызывает заметное изменение цвета (эстетическая деградация) и начало микробиологического заселения. Ускоренное климатическое старение (гигротермические циклы) приводит к значительно более агрессивной потере поверхностной гидрофобности и росту плесени, несмотря на одинаковое суммарное количество влаги. Снижение времени эксперимента воздействия влаги при том же ее количестве (ускоренное старение) вызывает нелинейный скачок деградации по сравнению с плавным естественным старением. Это ставит под сомнение прямую экстраполяцию лабораторных данных на реальный срок службы в 15–20 лет. Исследования микробиологического роста на финишных покрытиях выявили, что простые модификации акриловых и силикатных составов могут существенно повысить сопротивление грибкам и водорослям [7].

В таблице ниже обобщены данные о деградации ключевых показателей различных классов материалов на основе проанализированных источников.

Таблица 1 – Изменения функциональных и теплофизических показателей

Материал	Тип воздействия	Изменение λ (Теплопроводность)	Изменение структуры/ свойств
1	2	3	4
Минеральная вата	Сорбция влаги (до 90 % ОВ)	Не изменяется в гигроскопическом диапазоне	Низкое влагопоглощение (1–3 % масс.)
Стекловолокно	УФ и водная деградация	Данные не детализированы, но отмечено увеличение k	Увеличение сорбции и паропроницаемости
Древесное волокно	Сорбция влаги	Линейный рост λ с ростом влажности	Влагосодержание 15–18 % при 90 % ОВ. Высокая воздухопроницаемость

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
Натуральная пробка	УФ-облучение	Увеличивается теплопроводность и теплоемкость	Деградация клеточной структуры, снижение прочности
Агломерированная пробка	Циклы заморозки–оттаивания	Увеличивается теплопроводность и диффузия	Влияние на связующее, изменение полос суберина (FTIR)
Экспандированная пробка	УФ и Циклы заморозки–оттаивания	Рост теплопроводности после УФ и заморозки–оттаивания	Значительные структурные разрушения, исчезновение спектральных полос

Обсуждение результатов и перспективы исследований. Анализ источников выявил критическую проблему: существующие модели прогнозирования срока службы часто не учитывают синергетический эффект факторов. Как отмечено, неожиданно высокая нагрузка по влаге за короткий промежуток времени (что имитирует участившиеся ливневые дожди) приводит к преждевременному отказу систем, который не предсказывается классическими методиками ускоренного старения [8].

Биоосновные материалы требуют обязательной модификации для снижения чувствительности к влаге. Например, биокомпозиты на основе соломы или пеньки демонстрируют конкурентную теплопроводность, но их долговечность ограничена биоразложением [5].

Высокоотражающие покрытия, наносимые на изоляцию, подвержены потере отражательной способности из-за естественного загрязнения и выветривания, что снижает эффективность защиты нижележащей изоляции от перегрева, но этот аспект слабо изучен вне жаркого климата [3].

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что химическая природа и морфология волокна являются первичными факторами, определяющими механизм и скорость деградации теплоизоляции в условиях атмосферного воздействия.

Минеральные волокна демонстрируют стабильность теплопроводности при колебаниях влажности, но подвержены структурным изменениям связующего при длительном контакте с водой и УФ.

Органические материалы (древесина, пробка) обеспечивают низкий углеродный след, но их теплофизические показатели крайне чувствительны к влажности и циклам замораживания-оттаивания из-за деградации лигнина и суберина.

Ускоренные лабораторные испытания могут искажать реальную картину старения, создавая более жесткие условия по сравнению с природными, что требует валидации через многолетние натурные наблюдения, особенно в условиях меняющегося климата.

Список использованных источников

1. Souza, A. R., Veloso, R. C., Maia, J., Flores-Colen, I., Ramos, N. M. M. Durability and performance of opaque high-reflectance envelope systems: A systematic review // Journal of Building Engineering. 2024. – Vol. 99. – P. 111350. – DOI: 10.1016/j.jobe.2024.111350.
2. Vyas Y. Hygrothermal Characterization and Impact of Drainage Positive Fibrous Insulation for Above Grade Exterior Insulation Application: Master's thesis / Ryerson University. Toronto, 2023. – 102 p.
3. Kubečková, D., Kubenková, K., Afsoosbiria, H., Musenda, O. K., Mohamed, K. External Thermal Insulation Composite Systems-Past and Future in a Sustainable Urban Environment // Sustainability. 2024. Vol. 16, No. 19. – P. 8500. – DOI: 10.3390/su16198500.
4. Gullbrekken, L., Grynning, S., Gaarder, J. E. Thermal Performance of Insulated Constructions-Experimental Studies // Buildings. 2019. – Vol. 9, No. 2. – P. 49. – DOI: 10.3390/buildings9020049.

5. Luo, S., Wang, S., Hu, C., Feng, L., Fan, H., Ma, H. Research on Thermal Insulation and Durability of Bio-Based Thermal Insulation Materials and Its Prospect of Engineering Application // Materials. 2025. – Vol. 19, No. 6. – P. 1229. – DOI: 10.3390/ma19061229.
6. Sousa, A. The impact of accelerated weathering exposure on the mechanical, thermal and chemical properties of natural insulators: natural cork, agglomerated cork and expanded cork // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2025. – Vol. 25, No. 2. – P. 45. – DOI: 10.1007/s43452-024-01083-1.
7. Parracha, J. L., Borsoi, G., Flores-Colen, I., Veiga, M. R., Nunes, L., Faria, P., Dionísio, A. Long-term durability of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS): comparing the impact of natural exposure and accelerated climate aging // Proceedings of WBC2-22. Lisbon: LNEC, 2022. – P. 1–8.
8. Hansen, K. K., Rode, C., Hansen, E. J. de P., Padfield, T., Kristiansen, F. H. Experimental investigation of the hygrothermal performance of insulation materials // Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings VIII: Conference Proceedings. Clearwater Beach, FL, 2020. – P. 1–10.

УДК 681.5.01

ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6–35 кВ

Филатов Д. А., студ., Исаков Р. Г., к.т.н., доц.
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева, г. Казань, Российская Федерация

Реферат. *Статья посвящена анализу основных видов защит от однофазных замыканий на землю в сетях 6–35 кВ. Рассматриваются их принципы действия, области применения и сравнительная эффективность в различных режимах работы сети.*

Ключевые слова. Однофазное замыкание на землю (ОЗЗ), релейная защита, ток нулевой последовательности, направленная защита, ненаправленная защита, режим заземления нейтрали, переходное сопротивление, перемежающаяся дуга, селективность.

Однофазное замыкание на землю (ОЗЗ) является наиболее распространённым видом повреждения в электрических системах, составляя от 70 до 90 процентов от общего числа всех неисправностей. Данный режим возникает при замыкании одной из фаз трёхфазной системы на землю либо на элемент, электрически связанный с ней, и создаёт целый ряд серьёзных проблем. Прежде всего, при ОЗЗ возможно возникновение перенапряжений, в 2,4–3,5 раза превышающих фазное напряжение, что способно привести к пробою изоляции неповреждённых фаз и переходу повреждения в двойное замыкание на землю. Кроме того, существует опасность поражения электрическим током обслуживающего персонала и потребителей, а при длительном существовании ОЗЗ происходит ускоренное старение изоляции и повреждение электрооборудования. В сетях, представляющих повышенную опасность для персонала, защита от замыканий на землю должна выполнять функцию защитного отключения и действовать без задержки, а для электродвигателей требуются специальные высокочувствительные устройства, поскольку токи замыкания на корпус ниже 5 ампер способны повредить изоляцию.

В современной практике применяется несколько типов защит от однофазных замыканий на землю, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и ограничения.

Защиты, реагирующие на напряжение нулевой последовательности, могут отключать линию с ОЗЗ только в том случае, когда от шин подстанции отходит единственное присоединение. К их достоинствам относится стабильность работы при перемежающихся и прерывистых дугах, а также независимость от наличия дугогасящего реактора. Однако при подключении к шинам нескольких линий такая защита пригодна лишь для неселективной сигнализации о возникновении замыкания.

Ненаправленные токовые защиты нулевой последовательности находят эффективное

применение в сетях с резистивным заземлением и небольшими емкостными токами, например, в кабельных сетях собственных нужд электростанций. Ток срабатывания в них отстраивается от собственного емкостного тока защищаемого присоединения, что накладывает ограничение на использование данного типа защиты на линиях с большими емкостными токами, где требуемая чувствительность не достигается.

Направленные токовые защиты обладают существенным преимуществом благодаря способности различать направление тока замыкания на землю. Это позволяет отстраиваться от собственных емкостных токов защищаемых присоединений и значительно снижать токи срабатывания, повышая тем самым чувствительность защиты. Данный тип применим в сетях с суммарными емкостными токами не менее 0,2 ампера. Основная сложность возникает при больших переходных сопротивлениях, например, при обрыве провода воздушной линии с замыканием на землю, когда рабочие сигналы защиты становятся соизмеримы с существующими в сети небалансами, что затрудняет отстройку.

Защиты с наложением тока другой частоты, как правило 25 герц, основаны на включении источника контрольного тока в нейтраль сети и фиксации этого тока в защищаемых при соединениях с помощью специальных фильтровых реле. Отличие частоты контрольного сигнала от промышленной частоты 50 герц существенно упрощает отстройку от небаланса. К недостаткам данного подхода следует отнести необходимость установки отдельного источника тока, снижение точности трансформаторов тока нулевой последовательности на низких частотах, сложность подключения источника при наличии нескольких дугогасящих реакторов, а также трудности отстройки от естественных гармонических составляющих при внешних дуговых перемежающихся замыканиях.

Защиты, реагирующие на высокочастотные составляющие в токе нулевой последовательности, применяются преимущественно в компенсированных сетях. Их работа основана на измерении уровня высших гармоник в токе нулевой последовательности защищаемого присоединения либо на сравнении этих уровней у всех присоединений. Основным недостатком является нестабильность состава и уровня высших гармоник, характерная для сетей промышленных предприятий, а также вероятность отказов при замыканиях через переходные сопротивления.

Устройства, реагирующие на составляющие тока и напряжения в переходном процессе, контролируют направление распространения волны переходного процесса, возникающей при замыкании. Защита сравнивает начальные знаки тока и напряжения нулевой последовательности: их совпадение свидетельствует о повреждении в защищаемой зоне, а несовпадение – о внешнем замыкании. Данный тип защиты способен фиксировать все разновидности ОЗЗ, независим от режима заземления нейтрали и обладает высокой чувствительностью к замыканиям через переходное сопротивление. Недостатком является отсутствие непрерывности действия, а также возможные искажения фазовых соотношений отражёнными волнами и ложные срабатывания от помех.

Эффективность каждого типа защиты определяется условиями её применения. Ненаправленная токовая защита нулевой последовательности хорошо работает при большом количестве присоединений с малыми емкостными токами в сетях с изолированной или резистивно-заземлённой нейтралью, но оказывается неэффективной при дуговых перемежающихся замыканиях и больших переходных сопротивлениях. Направленная токовая защита благодаря органу измерения направления мощности позволяет определять повреждённый фидер без отстройки от суммарного емкостного тока, что даёт возможность устанавливать токи срабатывания на уровне 0,5–0,6 ампера; она применима в тех же типах сетей, а также в компенсированных сетях в режиме недокомпенсации.

Защита с наложением тока частотой 25 герц, несмотря на принципиальную возможность применения в компенсированных сетях, имеет ряд конструктивных ограничений, препятствующих её широкому распространению. Защита по высшим гармоникам также ориентирована на компенсированные сети, однако её надёжность снижается из-за нестабильности гармонического состава и отказов при замыканиях через переходное сопротивление. Наиболее универсальными представляются устройства, реагирующие на переходные процессы: они эффективны при любом режиме нейтрали, фиксируют все виды ОЗЗ и обладают высокой чувствительностью, хотя отсутствие непрерывности действия требует дополнительных решений для организации полноценной защиты.

Проведённый анализ позволяет заключить, что универсальной защиты от однофазных замыканий на землю, одинаково эффективной во всех возможных режимах повреждений, не существует. Каждый из рассмотренных типов защит имеет свою оптимальную область применения, определяемую конфигурацией сети, режимом заземления нейтрали и характером возможных повреждений. Наиболее перспективным направлением развития систем защиты представляется создание комбинированных устройств, сочетающих анализ как установившихся, так и переходных процессов. Такие комплексные решения способны обеспечить высокую селективность и надёжность электроснабжения, минимизируя риски ложных срабатываний и неотключений повреждённых участков в сложных условиях эксплуатации.

Список использованных источников

1. Андреев, А. А. Анализ существующих разновидностей защит от однофазных замыканий на землю и условия их применения / А. А. Андреев // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2021. – Т. 29, № 4(72). – С. 56–70. – DOI 10.14498/tech.2021.4.5. – EDN LCSRVL.
2. Шабад, М. А. Защиты от замыканий на землю в сетях 6–35 кВ / М. А. Шабад. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2007. – 64 с.
3. Шалин, А. И. Релейная защита от замыканий на землю в сетях электроснабжения карьеров / А. И. Шалин, Е. А. Кондранина // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 9. – С. 9–14. – EDN IBGANV.
4. Шуин, В. А. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ / В. А. Шуин, А. В. Гусенков. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2001. – 48 с.
5. Электротехнический справочник : в 4 т. / под общ. ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 2001. – Т. 2. – 680 с.
6. Christopoulos, C. Electrical Power System Protection / C. Christopoulos, A. Wright. – Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2018. – 520 p.
7. Gale, B. Y. Fault location based on fault induced current transients / B. Y. Gale, P. F. Su, Y. Z. Ge // International Conference on New Development in Power System Protection & Local Control, Beijing, China, May 25–28, 2021. – Beijing, 2021. – P. 377–381.
8. Newcombe, R. W. The Development of Busbar Protection / R. W. Newcombe // The English Electric Journal. – 1956. – Vol. 14, No. 6. – P. 15–22.

УДК 677.027

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНОВ

Рудаков С. А., асс., асп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены современные представления о механизмах фотодеструкции текстильных волокон различной химической природы под действием ультрафиолетового (УФ) излучения. Проанализировано влияние состава волокна (натуральное, синтетическое), спектрального диапазона и интенсивности облучения на морфологию поверхности, надмолекулярную структуру и физико-механические свойства. Показано, что ключевым механизмом деградации является фотоокисление, приводящее к накоплению карбонильных и гидропероксидных групп, аморфизации кристаллической фазы и образованию микротрещин. Особое внимание уделено сравнительному анализу устойчивости полиэфирных, полиамидных, полипропиленовых и целлюлозных волокон.*

Ключевые слова: фотодеструкция, текстильные материалы, УФ-излучение, UVA, UVB, UVC, карбонильный индекс, гидроксильный индекс, хлопок, полиэстер, полиамид.

В условиях эксплуатации текстильные материалы постоянно подвергаются воздействию солнечного излучения. Ультрафиолет является наиболее агрессивным фактором: он инициирует фотохимические реакции, приводящие к разрыву полимерных цепей, что выражается в потере механической прочности до 40–60 %, изменении цвета и ускоренной эмиссии микропластика [1]. Существующие стандарты испытаний, такие как ISO 105-B02 и ASTM G154, часто используют обобщённые режимы облучения, не разделяя вклад различных спектральных диапазонов. В то же время энергия фотонов в диапазонах UVA, UVB и UVC различается кратно, что предполагает принципиально разные механизмы деструкции [2]. В литературе фрагментарно представлены данные о сравнительной кинетике деградации для различных типов волокон под действием узкополосного излучения. Цель настоящей работы – выявить и количественно сравнить особенности фотодеградации трёх типов текстильных материалов (хлопка, полиэстера и полиамида-6) под воздействием ультрафиолета различных диапазонов: UVA, UVB и UVC. Основной инструмент анализа – спектроскопия в режиме нарушенного полного внутреннего отражения (ATR).

В основе фотодеградации полимеров лежит поглощение кванта света, энергия которого достаточна для разрыва химических связей или перевода молекулы в возбуждённое состояние. Это запускает цепную реакцию свободнорадикального окисления: инициация образованием макрорадикалов *(R•)*, пропагация через образование пероксидных радикалов *(ROO•)* и гидропероксидов *(ROOH)*, а затем фотолиз гидропероксидов с образованием алкокси- и гидроксильных радикалов, что приводит к разрыву цепи [3]. Ключевой фактор, который определяет характер процесса, это зависимость от длины волны. Диапазон UVA (315–400 нм, 3.1–3.9 эВ) обычно вызывает поверхностное окисление и образование хромофоров, процесс идёт относительно медленно. Диапазон UVB (280–315 нм, 3.9–4.4 эВ) обладает достаточной энергией для прямого разрыва связей *C-C* и *C-H* в основной цепи, что приводит к более глубокой модификации структуры. Диапазон UVC (100–280 нм, 4.4–12.4 эВ), хотя и отсекается озоновым слоем в естественных условиях, в лабораторных экспериментах позволяет моделировать экстремальные воздействия и изучать первичные акты деструкции [4].

В работе исследовались три типа текстильных материалов, представляющих основные классы волокон: натуральный хлопок (целлюлоза ≥ 95 %, плотность 120–150 г/м^2), синтетический ароматический полиэстер (ПЭТ, плотность 90–110 г/м^2) и синтетический алифатический полиамид-6 (ПА-6, плотность 80–100 г/м^2) [5]. Выбор обусловлен их широким применением и различной химической устойчивостью к фотоокислению. Для характеризации использовались два основных спектроскопических метода. ИК-Фурье спектроскопия в режиме ATR (диапазон сканирования 4000–650 см$^{-1}$, разрешение 4 см$^{-1}$, 32 скана) позволяла регистрировать изменения функциональных групп без сложной пробоподготовки [6]. УФ-видимая спектроскопия в диапазоне 200–800 нм была чувствительна к появлению сопряжённых систем и хромофоров, образующихся в процессе деградации и отвечающих за пожелтение ткани. В качестве источников излучения применялись ксеноновая лампа как наиболее близкая имитация солнечного спектра, а также узкополосные УФ-светодиоды с длинами волн 365, 305 и 254 нм для выделения влияния отдельных диапазонов UVA, UVB и UVC. Для ксеноновой лампы использовались интерференционные фильтры, отсекающие нежелательные участки спектра.

Ключевой аспект любого сравнительного исследования – воспроизводимость условий. Эксперимент проводился по строго фиксированному протоколу, адаптированному с учётом требований международных стандартов ISO 105-B02 и ASTM G154 [7]. Интенсивность излучения на образце контролировалась калиброванным радиометром и составляла от 0,5 до 1,2 Вт/м² в зависимости от длины волны, что позволяло сравнивать не только спектральный, но и дозовый отклик материалов. Образцы облучались накопительными дозами: 10, 25, 50, 100 и 200 часов, такой градиент позволяет построить кинетические кривые и выделить начальную, линейную и насыщенную стадии деградации. Все эксперименты проводились при контролируемой температуре 25±2 °C и относительной влажности 50±5 %, чтобы исключить влияние термоокисления и гидролиза как самостоятельных факторов. Образцы размещались на фиксированном расстоянии 15 см от источника для обеспечения однородности поля излучения. Для каждого условия готовилось три параллельных образца, что позволило

оценить статистическую погрешность. Контрольные образцы хранились в темноте при тех же параметрах среды. Измерения проводились по циклической схеме: исходное состояние → облучение → анализ → следующее облучение, что позволило отслеживать эволюцию одного и того же образца во времени, минимизируя влияние межобразцовой вариабельности.

На примере полиэстера было показано, что после облучения достоверно растёт интенсивность полосы карбонильной группы в области 1715 $см^{-1}$. В зависимости от диапазона излучения прирост составляет от 35 до 120 % относительно исходного уровня, что является прямым маркером фотоокисления [8]. Одновременно появляется широкая полоса в области 3400 $см^{-1}$, соответствующая валентным колебаниям $O–H$ связей, свидетельствующая о накоплении гидропероксидов и спиртовых групп – промежуточных продуктов радикального окисления. Снижение интенсивности полос $C\text{-}H$ в области 1410 и 1340 $см^{-1}$ указывает на деструкцию углеродного остова цепи. А появление новой полосы около 1640 $см^{-1}$ может быть связано с образованием сопряжённых карбонилов или ненасыщенных структур, которые также являются центрами дальнейшего окисления. В УФ-видимой области наблюдается рост оптической плотности в диапазоне 280–350 нм, что коррелирует с визуальным пожелтением образцов. Сдвиг края поглощения в длинноволновую область – батохромный сдвиг – говорит об увеличении степени сопряжения в продуктах деградации. При сравнении материалов выявлены характерные паттерны: для хлопка наиболее выражен рост гидроксильных групп, что согласуется с окислением целлюлозы; для полиэстера доминирует карбонилирование; для полиамида наблюдается комплексное изменение как карбонильных, так и амидных полос, что может указывать на вклад гидролитических процессов [9].

Для объективного сравнения были рассчитаны три нормированных индекса: карбонильный индекс ($CI = A_{1715} / A_{1450}$), гидроксильный индекс ($HI = A_{3400} / A_{1450}$) и индекс пожелтения (YI) по данным УФ-спектроскопии и колориметрии CIELAB [10]. Нормировка на внутреннюю референсную полосу позволяет исключить влияние вариаций толщины образца и качества контакта в ATR-ячейке. Усреднённые данные для полиэстера после 100 часов облучения демонстрируют нелинейную зависимость: переход от UVA к UVB увеличивает прирост карбонильного индекса более чем в 2,5 раза, а к UVC – почти в 4 раза. Это полностью согласуется с ростом энергии фотона: если для UVA она составляет ~3.4 эВ, то для UVC – уже ~4.9 эВ, что превышает энергию связи C-C в основной цепи (~3.6 эВ) [11]. При сравнении материалов выявлены специфические паттерны. Для хлопка наиболее выражен рост гидроксильного индекса, что соответствует окислению глюкозидных колец целлюлозы с образованием карбоксильных и спиртовых групп. Для полиамида наблюдается синергетический эффект: при повышенной влажности скорость деградации в диапазоне UVB возрастает на 20–30 %, что указывает на вклад гидролитического расщепления амидных связей, активируемого фотоокислением [12].

На основе спектральных данных и литературного анализа выделены механизмы деградации в зависимости от диапазона.

– Диапазон UVA: энергии фотона недостаточно для прямого разрыва большинства связей в чистых полимерах. Процесс инициируется через примесные хромофоры или дефекты структуры, которые поглощают излучение и переходят в триплетное состояние. Далее запускается классическая цепная реакция автоокисления с образованием гидропероксидов и карбонильных групп. Изменения носят поверхностный характер, так как UVA-излучение слабо проникает в объём материала.

– Диапазон UVB: энергия фотона сопоставима или превышает энергию диссоциации связей C-C и C-H, что позволяет реализовываться механизму прямого фоторазрыва основной цепи. Образующиеся макрорадикалы быстро реагируют с кислородом, что приводит к ускоренному снижению молекулярной массы и, как следствие, к потере механической прочности. Именно UVB является основным фактором старения текстиля в естественных условиях на больших высотах или в регионах с истощённым озоновым слоем [13].

– Диапазон UVC: высокая энергия фотонов вызывает множественные разрывы, образование летучих продуктов окисления и быструю потерю массы. Важно отметить, что для полиамида и хлопка дополнительный вклад вносит фотоиндуцированный гидролиз, особенно при повышенной влажности, что подчёркивает необходимость комплексного подхода при моделировании реальных условий эксплуатации [14].

Полученные данные имеют прямое прикладное значение в трёх направлениях. Во-

первых, разработка новых материалов: для полиэстера наиболее критичен диапазон UVB, следовательно, при подборе стабилизаторов приоритет следует отдавать соединениям, эффективно поглощающим именно в этой области – например, производным бензотриазола. Для хлопка, где доминирует радикальное окисление, более эффективны стерически затруднённые амины (HALS), обрывающие цепную реакцию [15]. Во-вторых, рекомендации по эксплуатации: результаты подчёркивают, что для полиамида и хлопка опасность представляет не только излучение, но и его сочетание с влажностью. Поэтому при хранении технических тканей, медицинских текстилей или материалов для открытого использования важно контролировать оба параметра одновременно. В-третьих, стандартизация: на основе данных предлагается дополнить существующие протоколы ускоренных испытаний разделом по дифференцированному тестированию в диапазонах UVA и UVB, что повысит точность прогноза срока службы для конкретных климатических зон. Сформулирована простая эмпирическая модель для оценки срока службы, связывающая энергию фотона с константой скорости деградации, коэффициенты которой для исследованных материалов приведены в приложении к работе и могут быть использованы инженерами [16].

Заключение

Цель работы достигнута: проведён системный сравнительный анализ фотодеградации трёх типов текстильных материалов под воздействием ультрафиолетового излучения различных диапазонов. Экспериментально подтверждена иерархия агрессивности излучения: UVC и UVB вызывают на порядок более быстрые изменения по сравнению с UVA, что количественно выражено через карбонильный и гидроксильный индексы. Выявлены материал-специфичные паттерны деградации: для хлопка ключевым маркером является рост гидроксильных групп, для полиэстера – карбонилирование основной цепи, для полиамида – комплексное изменение амидных и карбонильных полос с выраженным влиянием влажности. Научная новизна работы заключается в прямом сравнении кинетики деградации под действием монохроматического излучения в строго контролируемых условиях, а также в демонстрации синергетического эффекта фото- и гидролиза для полиамидных волокон. В качестве перспектив планируется расширение исследования на комбинированные воздействия – ультрафиолет плюс температура или механическая нагрузка, а также внедрение методов in-situ спектроскопии для мониторинга деградации в реальном времени.

Список использованных источников

1. Temel, E. Structural investigation of UV aged tent fabrics / E. Temel, F. Bozdoğan, D. Mizmizlioğlu // Tekstil ve Konfeksiyon. – 2019. – Vol. 29, № 3. – P. 245–252. – DOI: https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.472048.
2. Andrady, A. L. Plastics and Environmental Sustainability / A.L. Andrady. – Hoboken: Wiley, 2015. – 360 p.
3. Wikipedia. Photo-oxidation of polymers. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Photo-oxidation_of_polymers (дата обращения: 14.05.2026). – Текст : электронный.
4. Kuzina, S.I. Photo-oxidation of polymers 4. The dual mechanism of polystyrene photo-oxidation: a hydroperoxide and a photochain one / S.I. Kuzina, A.I. Mikhailov // European Polymer Journal. – 2001. – Vol. 37, № 11. – P. 2319–2325. DOI: https://doi.org/10.1016/S0014-3057(01)00028-3.
5. Nylon Material Guide – Properties, Grades, and Industrial Uses / Szoneier Fabrics. – URL: https://szoneierfabrics.com/what-is-nylon-material/ (дата обращения: 14.05.2026). – Текст : электронный.
6. Rajendran, N. Accelerated UV degradation behavior of high tensile nylon 6, 6 webbings / N. Rajendran, E. DenHartog // Journal of Polymer Research. – 2025. – Vol. 32, № 374. – DOI: https://doi.org/10.1007/s10965-025-04591-x.
7. ISO 105-B02:2014. Textiles – Tests for colour fastness – Part B02: Colour fastness to artificial light: Xenon arc fading lamp test. – Geneva: ISO, 2014.
8. Impact of photochemical aging on high-performance fabrics used in firefighters' protective clothing [Электронный ресурс] // Journal of Applied Polymer Science. – 2024. – DOI: https://doi.org/10.1002/pol.20240104.
9. Hydrophilic modification of polyester/polyamide 6 hollow segmented pie microfiber nonwovens

by UV/TiO_2/H_2O_2 / J. Zhang et al. // Polymers. – 2023. – Vol. 15, № 4, 911. – DOI: https://doi.org/10.3390/polym15040911.
10. Saliu, F. Fourier transform infrared spectroscopy to assess the degree of alteration of artificially aged and environmentally weathered microplastics / F. Saliu et al. // Polymers. – 2023. – Vol. 15, № 4, 911. – DOI: https://doi.org/10.3390/polym15040911.
11. Differences in strength and wear resistance between polyester (PET) and nylon (PA) hot melt yarns / WithTech New Material. – URL: https://www.fiber-yarn.com/info/differences-in-strength-and-wear-resistance-be-102881514.html (дата обращения: 14.05.2026). – Текст : электронный.
12. Long-term ageing of polyamide-6 and polyamide-6 reinforced by glass fibers in distilled water at 90°C / M. Ben Hassine et al. // HAL Open Science. – 2017. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.06.004.
13. Gardette, J.-L. Photooxidation mechanisms of styrenic polymers / J.-L. Gardette, B. Mailhot, J. Lemaire // Polymer Degradation and Stability. – 1995. – Vol. 48, № 3. – P. 457–470. – DOI: https://doi.org/10.1016/0141-3910(95)00113-Z.
14. Kowalski, W. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection / W. Kowalski. – Berlin: Springer, 2021. – 320 p.
15. Gies, P.H. Textile photoprotection: current status and future prospects / P. H. Gies, C. R. Roy // Photochemical & Photobiological Sciences. – 2020. – Vol. 19, № 4. – P. 512–528. – DOI: https://doi.org/10.1039/C9PP00495B.
16. Larrañeta, E. Disinfection and sterilization of face masks for personal protection: a systematic review / E. Larrañeta et al. // Journal of Hospital Infection. – 2021. – Vol. 108. – P. 172–183. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhin.2021.02.003.

УДК 677.027

МЕХАНИЗМЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДЕГРАДАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ UVC-ИЗЛУЧЕНИЯ

Сузень П. В., студ., Рудаков С. А., асс.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены механизмы фотодеструкции текстильных материалов под воздействием ультрафиолетового излучения С-диапазона (UVC, λ = 200–280 нм). Проанализированы энергетические аспекты фотолиза, кинетика радикально-цепных реакций фотоокисления, сравнительная фотостабильность различных волокон, методы инструментального анализа микроструктуры и эксплуатационные характеристики деградированных материалов. Представлены практические данные мировых исследований 2020–2025 гг. и факторы окружающей среды, ускоряющие деградацию. Сформулированы рекомендации по выбору материалов для изделий, подвергаемых частой UVC-стерилизации.*

Ключевые слова: UVC-излучение, фотодеградация, текстильные материалы, фотостабильность, карбонильный индекс, ИК-спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, полипропилен, полиамиды, полиэфиры.

В связи с глобальными вызовами биобезопасности последних лет использование бактерицидных ламп с длиной волны λ = 254 нм стало обязательным для дезинфекции спецодежды, средств индивидуальной защиты и интерьерного текстиля. Высокая антимикробная эффективность UVC-излучения вступает в противоречие с низкой фотостабильностью большинства полимерных волокон, что приводит к преждевременному износу дорогостоящих материалов, снижению защитных функций и риску внезапного разрушения изделий в процессе эксплуатации.

Цель настоящей работы – систематизация данных о механизмах деградации и методах оценки структурного ущерба при сохранении эффективности дезинфекции. Деградация текстильных материалов под воздействием UVC-излучения начинается с поглощения фотона высокоэнергетического диапазона (λ = 200–280 нм) специфическими группами в структуре волокна – хромофорами. Энергия кванта UVC-излучения (E_{ph}) составляет примерно 450–490 кДж/моль, что превышает энергию диссоциации типичных одинарных связей в полимерах *(C–C, C–H, C–N)*, варьирующуюся в пределах 300–350 кДж/моль. Поскольку $E_{ph} > E_{bond}$, происходит прямой гомолитический разрыв молекулярной цепи без необходимости предварительного нагрева материала, то есть обработка текстиля UVC представляет собой не термический, а фотохимический процесс разрушения макромолекул [1]. Процесс фотоокислительной деструкции протекает по радикально-цепному механизму и включает три ключевых этапа. На стадии инициации под действием фотонов в полимерной цепи *(RH)* образуются свободные радикалы: $RH + hv \rightarrow R\bullet + H\bullet$. Далее наступает рост цепи: радикалы взаимодействуют с кислородом воздуха, образуя пероксидные радикалы и гидропероксиды, которые крайне нестабильны: $R\bullet + O2 \rightarrow ROO\bullet$. На завершающем этапе фрагментации макромолекул распад гидропероксидов приводит к окончательному разрыву основной цепи полимера и накоплению стабильных продуктов распада – карбонильных *(>C=O)* и гидроксильных *(–OH)* групп [2].

Скорость деградации напрямую зависит от химического строения макромолекул. К группе высокого риска относятся полипропилен и полиамиды: наличие третичных атомов углерода (в полипропилене) и амидных групп (в нейлоне) делает их «мишенями» для фотонов, разрушение происходит быстро и глубоко. Натуральные волокна (хлопок, лён) обладают умеренной стойкостью: прямой фотолиз гликозидных связей целлюлозы идёт медленнее, чем в синтетике, но сопровождается выраженным пожелтением и потерей гибкости вследствие образования оксицеллюлозы.

Полиэфиры (ПЭФ/лавсан) демонстрируют относительную стабильность благодаря наличию ароматических колец, способных частично поглощать и рассеивать энергию УФ-излучения, защищая основную цепь [3]. Для оценки остаточного ресурса деградированных материалов применяются механические испытания и колориметрический анализ. Разрывная нагрузка *(P, H)* является прямым показателем прочности макромолекулярных связей; UVC-облучение вызывает её падение из-за уменьшения средней длины полимерных цепей. Относительное удлинение *(Δl, %)* показывает эластичность: деградация часто сопровождается «сшивкой» молекул или их фрагментацией, что делает материал жёстким и хрупким. Колориметрический анализ (CIELAB) позволяет измерить индекс желтизны (YI): пожелтение является оптическим результатом образования сопряжённых двойных связей в полимере под действием жёсткого УФ [4]. Среди инструментальных методов анализа микроструктуры особое значение имеют сканирующая электронная микроскопия (SEM) и ИК-фурье спектроскопия (FTIR). SEM позволяет визуализировать деструкцию поверхности волокна: появление продольных трещин, фрагментация чешуек (для натуральных волокон) и «шелушение» (для синтетики). FTIR определяет химические группы по их колебаниям; рост пика в области 1710–1740 $см^{-1}$ соответствует появлению карбонильных групп *(C=O)*. «Карбонильный индекс» вычисляется как отношение интенсивности пика деградации к эталонному пику и служит количественным маркером степени старения материала [5].

Анализ актуальных исследований 2020–2025 гг. подтверждает экспоненциальный характер деградации. Экспериментально доказано, что многократная UVC-стерилизация (свыше 10 циклов) приводит к деградации электростатического заряда волокон мельтблауна, снижая эффективность фильтрации на 10–15 %. Исследования Larrañeta et al. зафиксировали, что полипропиленовые нетканые материалы теряют до 40 % разрывной нагрузки при достижении суммарной дозы облучения 2–5 $Дж/см^2$. Установлена корреляция между ростом карбонильного индекса и появлением видимых поверхностных дефектов, фиксируемых методом SEM. Важно отметить, что UVC-воздействие реализуется не в изолированных условиях, а в комплексе с факторами окружающей среды. Влажность воздуха провоцирует образование гидроксильных радикалов *(•OH)*, ускоряющих окислительные процессы в структуре хлопка и вискозы. Повышение температуры ускоряет диффузию кислорода внутрь волокна, переводя поверхностную деградацию в объёмную. Жёсткий ультрафиолет ($\lambda < 240$ нм) способствует образованию озона из кислорода воздуха – мощнейшего окислителя,

воздействующего на двойные связи в полимерах параллельно с фотолизом. Кроме того, остаточные количества замасливателей или активных красителей на волокнах выступают в роли фотосенсибилизаторов, притягивая энергию кванта к слабым узлам молекулярной цепи.

Заключение

UVC-излучение вызывает прямой фотолиз химических связей в волокнах $E_{ph} > E_{bond}$. Процесс переходит в радикально-цепную реакцию фотоокисления, что приводит к необратимой деструкции макромолекул. Эффективным методом ранней диагностики является ИК-спектроскопия: рост карбонильного индекса и изменение индекса желтизны позволяют зафиксировать деградацию ещё до критической потери прочности. Наиболее чувствительными к UVC являются полипропилен и полиамиды; для изделий, требующих частой стерилизации, рекомендуется использование полиэфирных волокон или специализированных стабилизирующих составов. Комплексная оценка (структурная + механическая) необходима для разработки регламентов безопасной эксплуатации средств индивидуальной защиты и медицинского текстиля, предотвращая их использование после достижения критической дозы облучения.

Список использованных источников

1. Кушнер, И. М. Фотоокислительная деструкция полимерных и текстильных материалов под действием УФ-излучения / И. М. Кушнер, А. С. Гаврилов // Химия и технология полимеров. – 2020. – № 4. – С. 45–53.
2. Yam, L. Y. Effect of ultraviolet radiation on textile fiber - A review / L. Y. Yam, R. H. Yang, Chi Wai Kan, J. K. C. Lam, S. P. Ng, Hong Hu, C. W. M. Yuen // Journal of Modern Textile Science and Engineering. – 2011. – Vol. 2, № 1. – P. 42–50. (дата обращения: 12.04.2026). – Текст: электронный.
3. Khan, A. A review of UV radiation protection on humans by textiles and clothing / A. Khan, A. Nazir, A. Rehman [et al.] // International Journal of Clothing Science and Technology. – 2020. – Vol. 32, № 6. – P. 869–890. – DOI: 10.1108/IJCST-10-2019-0153. (дата обращения: 10.04.2026). – Текст: электронный.
4. Saha, B. A comprehensive review of ultraviolet radiation and functionally modified textiles for UV protection / B. Saha, A. Saha, P. Das, A. Kakati, A. Banerjee, P. Chattopadhyay // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2024. – Vol. 202. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e40047. (дата обращения: 11.04.2026). – Текст: электронный.
5. Suh, D. Impact of UV-C on material degradation: a scoping literature review / D. Suh, S. Hockett Sherlock, K. C. Dukes, E. N. Perencevich, A. R. Marra // Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology. – 2025. – Vol. 5, no. 1. – e199. – DOI: 10.1017/ash.2025.10114. (дата обращения: 10.04.2026). – Текст: электронный.

УДК 579.373

О ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УРАВНЕНИЙ ГИПОТЕЗЫ КОМПЛАНАРНОСТИ В ДЕВИАТОРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ НАПРЯЖЕНИЙ

Субботин С. Л., д.т.н., проф., Алексеев А. А., к.т.н., доц, Гультяев В. И., д.т.н., проф.
Тверской государственный технический университет,
г. Тверь, Российская Федерация

Реферат. *Представлены расчетные формулы и алгоритм численного решения уравнений теории упругопластических процессов в форме гипотезы компланарности при задании процесса нагружения по напряжениям. В основе алгоритма интегрирования уравнений теории упругопластических процессов лежит метод Рунге–Кутта второго порядка с вычислением всех параметров по одношаговой вычислительной схеме «прогноз–коррекция» (метод Эйлера-Коши). Показано, что в случае постоянного значения модуля девиатора напряжений численное решение становится неопределенным.*

Ключевые слова: пластичность, траектория нагружения, теория упругопластических процессов, моделирование процесса, численное интегрирование.

В теории упругопластических процессов различают жесткое (кинематическое) нагружение по деформациям и мягкое (силовое) – по напряжениям. При жестком нагружении напряжения являются откликом на заданную траекторию деформаций. Если же принять эту траекторию напряжений за заданную, расчет должен воспроизвести исходную траекторию деформации. Такой расчет имеет свои особенности, а в некоторых случаях вообще не может быть реализован. Общее соотношение теории упругопластических процессов в форме гипотезы компланарности А. А. Ильюшина имеет вид [1]

$$\frac{d\bar{\sigma}}{ds} = N\frac{d\bar{\Theta}}{ds} + (P-N)\frac{\bar{\sigma}\cdot\dfrac{d\bar{\Theta}}{ds}}{\sigma^2}\bar{\sigma}, \tag{1}$$

где N, P – функционалы теории упругопластических процессов, $\bar{\sigma}$ – вектор напряжений, σ – его модуль, $d\bar{\Theta}/ds$ – вектор скорости деформаций, касательный к траектории деформаций; $d\bar{\sigma}/ds$ – вектор скорости напряжений. Рассмотрим случай плоских траекторий через координаты векторов напряжений S_1, S_3 и деформаций E_1, E_3. Тогда соотношение (1) в скалярной форме записывается в виде системы уравнений

$$\frac{dS_1}{ds} = N\frac{d\Theta_1}{ds} + (P-N)\frac{S_1\dfrac{d\Theta_1}{ds} + S_3\dfrac{d\Theta_3}{ds}}{\sigma^2}S_1, \quad \frac{dS_3}{ds} = N\frac{d\Theta_3}{ds} + (P-N)\frac{S_1\dfrac{d\Theta_1}{ds} + S_3\dfrac{d\Theta_3}{ds}}{\sigma^2}S_3. \tag{2}$$

Если траектория нагружения задана в пространстве напряжений, то от интегрирования по длине s траектории деформации нужно перейти к интегрированию по длине $\sum$ траектории напряжений. Замена производных приводит систему (2) к виду

$$\frac{dS_1}{d\Sigma} = \frac{d\Theta_1}{d\Sigma} + (P-N)\frac{S_1\dfrac{d\Theta_1}{d\Sigma} + S_3\dfrac{d\Theta_3}{d\Sigma}}{\sigma^2}S_1, \quad \frac{dS_3}{d\Sigma} = \frac{d\Theta_3}{d\Sigma} + (P-N)\frac{S_1\dfrac{d\Theta_1}{d\Sigma} + S_3\dfrac{d\Theta_3}{d\Sigma}}{\sigma^2}S_3. \tag{3}$$

Для заданной траектории напряжений известны величины S_1, S_3, $\sigma = \sqrt{S_1^2 + S_3^2}$, $dS_1/d\sum$, $dS_3/d\sum$, поэтому из (3) с учетом того, что $S_2^3 = \sigma^2 - S_1^2$, $S_1^2 = \sigma^2 - S_3^2$ из (5) следует система уравнений для определения Θ_1 и Θ_3

$$\begin{aligned}
\frac{d\Theta_1}{d\Sigma} &= \left[\frac{1}{N} + \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{N}\right)\frac{S_1^2}{\sigma^2}\right]\frac{dS_1}{d\Sigma} + \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{N}\right)\frac{S_1S_3}{\sigma^2}\cdot\frac{dS_3}{d\Sigma}, \\
\frac{d\Theta_3}{d\Sigma} &= \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{N}\right)\frac{S_1S_3}{\sigma^2}\cdot\frac{dS_1}{d\Sigma} + \left[\frac{1}{N} + \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{N}\right)\frac{S_3^2}{\sigma^2}\right]\frac{dS_3}{d\Sigma}.
\end{aligned} \tag{4}$$

При численном решении уравнений (4) функционалы N и P удобно представлять как функции модуля вектора деформации $\sigma = \sqrt{\Theta_1^2 + \Theta_3^2}$ и угла сближения ϑ_1, для которого

$$\cos\vartheta_1 = \frac{\bar{\sigma}}{\sigma}\cdot\frac{d\bar{\Theta}}{ds} = \frac{S_1\dfrac{d\Theta_1}{ds} + S_3\dfrac{d\Theta_3}{ds}}{\sigma} = \frac{S_1\dfrac{d\Theta_1}{d\Sigma} + S_3\dfrac{d\Theta_3}{d\Sigma}}{\sigma\cdot\dfrac{ds}{d\Sigma}}, \tag{5}$$

где

$$\frac{ds}{d\Sigma}=\left|\frac{d\bar{\Im}}{d\Sigma}\right|=\left|\frac{d\bar{\Im}}{ds}\right|\frac{ds}{d\Sigma}=\sqrt{\left(\frac{d\Im_1}{d\Sigma}\right)^2+\left(\frac{d\Im_3}{d\Sigma}\right)^2}\,. \tag{6}$$

При этом, для заданной траектории напряжений координаты вектора деформаций и длина дуги

$$\Im_1=\int_0^{\Sigma}\frac{d\Im_1}{d\Sigma}d\Sigma,\quad \Im_3=\int_0^{\Sigma}\frac{d\Im_3}{d\Sigma}d\Sigma,\quad s=\int_0^{\Sigma}\frac{ds}{d\Sigma}d\Sigma. \tag{7}$$

Производные $d\Im_1/d\Sigma$, $d\Im_3/d\Sigma$, $ds/d\Sigma$ определяются по формулам (4) и (6).

Формула для функционала P, которая следует из скалярного умножения (1) на вектор напряжений, а также формула для производной от модуля вектора напряжений по длине дуги траектории деформаций примут вид [2]

$$P=\frac{\bar{\sigma}\cdot\frac{d\bar{\sigma}}{ds}}{\bar{\sigma}\cdot\frac{d\bar{\Im}}{ds}}=\frac{S_1\frac{dS_1}{d\Sigma}+S_3\frac{dS_3}{d\Sigma}}{S_1\frac{d\Im_1}{d\Sigma}+S_3\frac{d\Im_3}{d\Sigma}},\qquad \frac{d\sigma}{ds}=P\cos\vartheta_1=\frac{S_1\frac{dS_1}{d\Sigma}+S_3\frac{dS_3}{d\Sigma}}{\sigma\frac{ds}{d\Sigma}}. \tag{8}$$

Для функционала N используется выражение [1]

$$N=\left(\kappa_1-\frac{d\vartheta_1}{ds}\right)\frac{\sigma}{\sin\vartheta_1}=\left(\kappa_1-\frac{d\vartheta_1}{d\Sigma}\cdot\frac{d\Sigma}{ds}\right)\frac{\sigma}{\sin\vartheta_1}, \tag{9}$$

где κ_1 – кривизна плоской траектории деформации.

Полученные выше формулы связывают функционалы N, P и выражаемые через них величины $d\sigma/ds$, $ds/d\Sigma$, ϑ_1. Существенно, что формулы (8), (9) нельзя использовать в расчетном алгоритме ввиду возникновения обратной связи, приводящей к расходимости процесса вычислений. Вместо них должны быть заданы подходящие аппроксимации функционалов пластичности N и P так, чтобы они соответствовали заданной траектории нагружения и экспериментальному отклику в виде траектории деформаций. Возможные варианты аппроксимаций приведены в [1].

При расчете процесса нагружения по уравнениям (4) вычисления выполняются по следующему алгоритму [2].

1. Задаются начальные значения

$$\Sigma^{(0)},\ \Im_1^{(0)},\ \Im_3^{(0)},\ S_1^{(0)},\ S_3^{(0)},\ \sigma^{(0)}=\sqrt{\left(S_1^{(0)}\right)^2+\left(S_3^{(0)}\right)^2},\ \frac{dS_1^{(0)}}{d\Sigma},\ \frac{dS_3^{(0)}}{d\Sigma},$$

причем должно выполняться условие

$$\left|\frac{d\bar{\sigma}}{d\Sigma}\right|=\sqrt{\left(\frac{dS_1^{(0)}}{d\Sigma}\right)^2+\left(\frac{dS_3^{(0)}}{d\Sigma}\right)^2}=1\,.$$

Так же задаются функционалы N и P по формулам, принятым в рассматриваемом варианте теории упругопластических процессов. По этим заданным значениям с учетом также заданного значения $s^{(0)}$ по формулам (4), (6) и (8) определяются

$$\frac{d\Im_1^{(0)}}{d\Sigma},\ \frac{d\Im_3^{(0)}}{d\Sigma},\ \frac{ds^{(0)}}{d\Sigma}=\sqrt{\left(\frac{d\Im_1^{(0)}}{d\Sigma}\right)^2+\left(\frac{d\Im_3^{(0)}}{d\Sigma}\right)^2},\ \frac{d\sigma}{ds}=\frac{S_1^{(0)}\frac{dS_1^{(0)}}{d\Sigma}+S_3^{(0)}\frac{dS_3^{(0)}}{d\Sigma}}{\sigma^{(0)}\frac{ds^{(0)}}{d\Sigma}}.$$

2. Для каждого шага $\Delta\sum$ по длине траектории нагружения задаются $dS_1^{(i)} / d\sum$ и $dS_3^{(i)} / d\sum$, и вычисляются прогнозируемые значения по методу Эйлера-Коши напряжений, деформаций и их производных по длине траектории. Величины функционалов N и P вычисляются по заданным формулам.

3. Для этого же шага вычисляются корректируемые значения по методу Эйлера-Коши, а также величины N и P.

4. Для учета в расчете скорректированного в пункте 3 значения $cos\vartheta_1$ выполняется повторная коррекция по формулам предыдущей коррекции пункта 3.

5. Для подготовки к следующему шагу выполняется переобозначение найденных для данного шага величин в начальные значения для следующего шага, то есть

$$S_1^{(i-1)} = S_1^{(i)},\ S_3^{(i-1)} = S_3^{(i)},\ Э_1^{(i-1)} = Э_1^{(i)},\ Э_3^{(i-1)} = Э_3^{(i)},\ \sum^{(i-1)} = \sum_1^{(i)},\ s^{(i-1)} = s^{(i)}.$$

6. Выводятся на экран компьютера (на печать, в файл) найденные для данного шага величины $\sum^{(i)}$, $S_1^{(i)}$, $S_3^{(i)}$, $\sigma^{(i)}$, $s^{(i)}$, $Э_1^{(i)}$,$Э_3^{(i)}$, $cos\vartheta_1$, N, P, $d\sigma / ds$.

7. Для следующего шага расчет повторяется с пункта 2. Расчет заканчивается при достижении конечного значения длины траектории нагружения $\sum$.

Рассмотрим некоторые особенности данного решения. В общем случае простого нагружения, то есть когда величины S_1 и S_3 изменяются пропорционально одному параметру, тогда косинус угла сближения по (5) $cos\vartheta_1 = 1$, а значит угол $\vartheta_1 = 0$.

При простом (пропорциональном) нагружении для площади текучести $\sigma = const$ и $ds \neq 0$, поэтому $d\sigma / ds = 0$, причем $cos\vartheta_1 = 1$, следовательно из (8) следует, что $P = 0$. В этом случае в системе (4) величина $1 / P = \infty$. В результате производные деформаций становятся неопределенными. Такая же неопределенность имеет место и для траектории напряжений в виде центральной окружности, для которой $\sigma = const$.

Полученные результаты показывают, что хотя расчетные формулы теории упругопластических процессов в прямой форме (жесткое нагружение) и обратной (мягкое нагружение) теоретически равнозначны, практическое решение требует достаточно точно задавать траектории нагружения.

Список использованных источников

1. Зубчанинов, В. Г. Механика процессов пластических сред / В. Г. Зубчанинов. – М.: Физматлит, 2010. – 352 с.
2. Subbotin, S., Alekseev, A. Numerical Solution of the Equations of A.A. Ilyushin's Coplanarity Hypothesis for a Loading Process in the Deviatoric Stress Space // Mechanics of Solids. 2025. – Vol 60, – P. 6660–6666. – DOI: 10.1134/S0025654425605518.

УДК 579.373

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНАЛОВ ТЕОРИИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПЛОСКИХ ТРАЕКТОРИЯХ ДЕФОРМАЦИИ

Алексеев А. А., к.т.н., доц, Субботин С. Л., д.т.н., проф., Гультяев В. И., д.т.н., проф., Булгаков А. Н., асп.
Тверской государственный технический университет,
г. Тверь, Российская Федерация

Реферат. *Представлена методика практической идентификации функционалов теории упругопластических процессов по экспериментальным данным для плоских траекторий деформирования. Приведены результаты обработки экспериментальных данных и вычисления функционалов пластичности на примере сложного нагружения по гладкой траектории в пространстве деформаций, состоящей из восьми последовательных полуокружностей*.

Ключевые слова: пластичность, траектория деформации, теория упругопластических процессов, экспериментальные данные, функционалы пластичности.

В практических расчетах для плоских траекторий удобно применять определяющее соотношение теории упругопластических процессов, которое имеет вид гипотезы компланарности А. А. Ильюшина [1, 2]

$$\frac{d\bar{\sigma}}{ds} = N\frac{d\bar{\Im}}{ds} + (P-N)\frac{\bar{\sigma}\cdot\dfrac{d\bar{\Im}}{ds}}{\sigma^2}\cdot\bar{\sigma}\,, \tag{1}$$

где N, P – функционалы пластичности. В работе учтено представление векторов напряжений, деформации и их производных по длине траектории деформации, принимаемой плоской, в следующем виде:

$$\bar{\sigma} = S_1\hat{e}_1 + S_3\hat{e}_3, \quad \bar{\Im} = \Im_1\hat{e}_1 + \Im_3\hat{e}_3, \quad \frac{d\bar{\sigma}}{ds} = \frac{dS_1}{ds}\hat{e}_1 + \frac{dS_3}{ds}\hat{e}_3, \quad \frac{d\bar{\Im}}{ds} = \frac{d\Im_1}{ds}\hat{e}_1 + \frac{d\Im_3}{ds}\hat{e}_3, \tag{2}$$

где $\hat{e}_1$ и $\hat{e}_3$ – единичные векторы (орты), направленные по осям 1 и 3. Для определения функционала N получено следующее выражение [3]:

$$N = \frac{S_1\dfrac{dS_3}{ds} - S_3\dfrac{dS_1}{ds}}{S_1\dfrac{d\Im_3}{ds} - S_3\dfrac{d\Im_1}{ds}}. \tag{3}$$

Формулы вычисления функционала P, а также производной от модуля вектора напряжений по длине дуги траектории деформации $d\sigma/ds$ имеют следующий вид [3]:

$$P = \frac{\bar{\sigma}\cdot\dfrac{d\bar{\sigma}}{ds}}{\bar{\sigma}\cdot\dfrac{d\bar{\Im}}{ds}} = \frac{S_1\cdot\dfrac{dS_1}{ds} + S_3\cdot\dfrac{dS_3}{ds}}{S_1\cdot\dfrac{d\Im_1}{ds} + S_3\cdot\dfrac{d\Im_3}{ds}}, \quad \frac{d\sigma}{ds} = \frac{S_1\dfrac{dS_1}{ds} + S_3\dfrac{dS_3}{ds}}{\sigma}. \tag{4}$$

Для тригонометрической функции угла сближения (угла между вектором напряжений и касательной к траектории деформации) получена формула

$$\cos\vartheta_1 = \frac{\bar{\sigma}\cdot\frac{d\bar{\Theta}}{ds}}{\sigma} = \frac{S_1\frac{d\Theta_1}{ds} + S_3\frac{d\Theta_3}{ds}}{\sigma}. \quad (5)$$

а сопоставление формул (4) и (5) дает соотношение $d\sigma / ds = P\cos\vartheta_1$.

Программы физических экспериментов по сложному упругопластическому деформированию тонкостенных цилиндрических образцов, проводимые на испытательном комплексе СН-ЭВН, задаются для плоских траекторий через декартовы проекции Θ_1 и Θ_3 вектора деформации. Малые приращения координат вектора деформации от задаваемой в эксперименте траектории деформации, вызванные случайными причинами, приводят к тому, что заданная длина участка траектории деформации Δs_n меньше суммы длин расстояний между соседними экспериментальными точками, то есть $\Delta s_n < \sum_{i=0}^{n}\sqrt{\Delta\Theta_{1_{i+1}}^2 + \Delta\Theta_{3_{i+1}}^2}$, где $\Delta\Theta_{1_{i+1}} = \Theta_{1_{i+1}} - \Theta_{1_i}$, $\Delta\Theta_{3_{i+1}} = \Theta_{3_{i+1}} - \Theta_{3_i}$, *(i = 0, 1, 2..., n)*. Ввиду случайности отклонений, для сглаживания экспериментальной траектории деформации каждую экспериментальную точку можно спроектировать на теоретическую траекторию и вычислить длину участка траектории до текущей точки m по формуле

$$\Delta s_m = \sum_{j=0}^{m}\sqrt{\Delta\Theta_{1_{j+1}}^2 + \Delta\Theta_{3_{j+1}}^2}\cdot\frac{\Delta s_n}{\sum_{i=0}^{n}\sqrt{\Delta\Theta_{1_{i+1}}^2 + \Delta\Theta_{3_{i+1}}^2}}.$$

Далее по величине Δs_m находятся сглаженные значения компонент Θ_{1m} и Θ_{3m} для этой точки как функции s_m в соответствии с уравнением данного участка траектории, а также их производные. Для вычисления значений N, $d\sigma / ds$, $\cos\vartheta_1$ по экспериментальным данным необходимы значения координат вектора напряжений S_1 и S_3 и их производные по длине дуги траектории деформаций. Для этого экспериментальные значения удобно привести к равноотстоящим точкам. Точки с постоянным шагом по длине траектории деформаций s можно получить по экспериментальным точкам линейной интерполяцией

$$S_{1_k} = S_{1_m} + \frac{S_{1_{m+1}} - S_{1_m}}{s_{m+1} - s_m}(s_k - s_m), \quad S_{3_k} = S_{3_m} + \frac{S_{3_{m+1}} - S_{3_m}}{s_{m+1} - s_m}(s_k - s_m),$$

где S_{1_m}, $S_{1_{m+1}}$, S_{3_m}, $S_{3_{m+1}}$ – значения S_1 и S_3 в экспериментальных точках с длиной траектории деформаций s_m и s_{m+1} соответственно; s_k – длина траектории деформаций в точке k, наиболее близкой к точкам m и $m + 1$. Для полученных равноотстоящих точек можно выполнить сглаживание величин S_{1k} и S_{3k} для уменьшения влияния случайных отклонений.

Для вычисления выровненных значений $\tilde{S}_{1_k}$ *(k = 0, 1, 2, 3,..., n - 1, n)* сглаженных многочленом третьей степени (кубической параболой) по пяти точкам можно использовать формулы [4], полученные по методу наименьших квадратов. Производные по регулярным равноотстоящим точкам можно вычислять по формулам численного дифференцирования на середину. Для начала участка траектории деформаций или после точки разрыва применяются формулы дифференцирования вперед, а для конца участка траектории деформаций или перед точкой разрыва применяются формулы дифференцирования назад.

На рисунках 1–3 представлены результаты обработки по описанной выше методике двухмерного эксперимента на сложное нагружение (осевой силой и крутящим моментом) тонкостенного трубчатого образца из стали 45. Представленная на рисунке 1 параметрически заданная траектория деформации соответствует программе эксперимента [5], выполненного на испытательном комплексе СН-ЭВМ, и представляет собой в пространстве деформаций

плоскую гладкую кривую, состоящую из восьми последовательных полуокружностей радиуса 0,0025. Для этого трубчатый образец подвергался комбинированному растяжению по координате $Э1$ от нуля до конечного значения $Э*1 = 0,\ 04$ и знакопеременному кручению по $Э3$ от нуля до $Э*3 = \pm 0,\ 0025$. Расчетная длина дуги траектории деформирования составляет $s = 0{,}0628$. На рисунке 2 показана диаграмма зависимости функционала $d\sigma / ds$ от s, а на рисунке 3 – функционала N от s, которые были определены по приведенной выше методике с шагом для равноотстоящих точек .

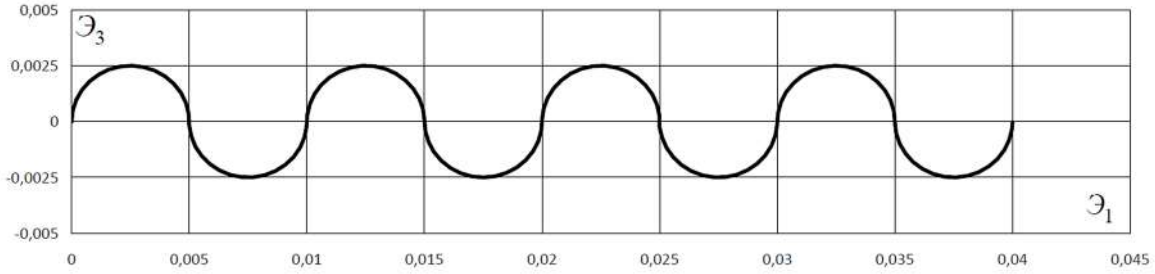


Рисунок 1 – Траектория деформации

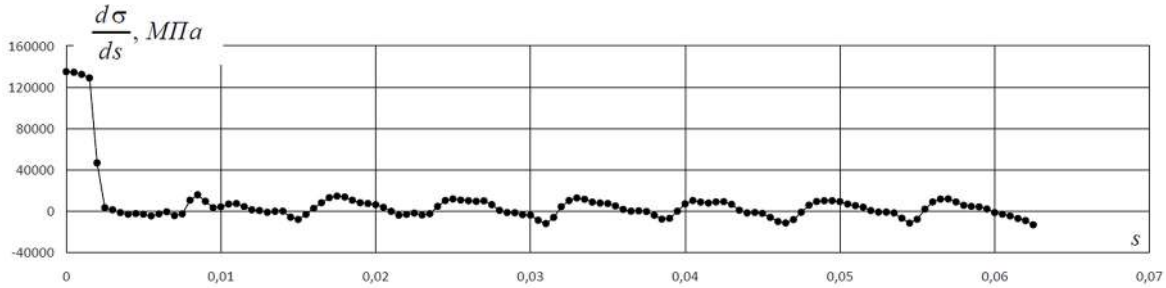


Рисунок 2 – График зависимости функционала $d\sigma / ds$ от длины дуги s

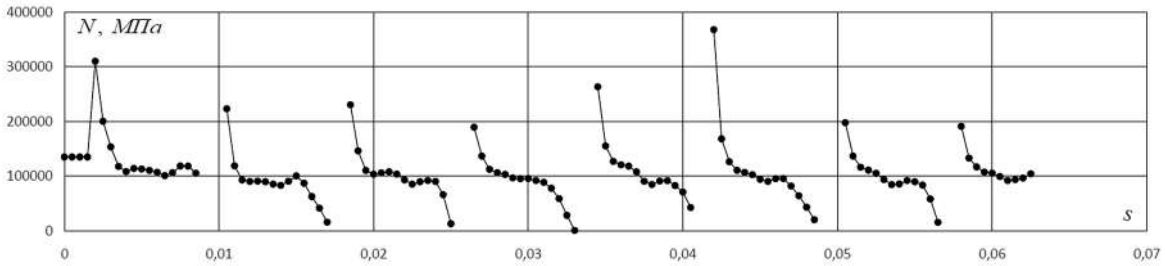


Рисунок 3 – График зависимости функционала N от длины дуги s

Анализируя полученные графики на рисунках 2 и 3 можно заметить в пластической области явную повторяемость значений уже начиная со второй окружности траектории деформирования. Также при значениях угла ϑ_1 близких к нулю, значение $N \to \infty$, поэтому на графике присутствуют разрывы. Представленная методика идентификации функционалов для плоских траекторий деформации может быть использована для обработки экспериментальных данных и построения аппроксимаций функционалов пластичности.

Список использованных источников

1. Ильюшин, А. А. Пластичность. Основы общей математической теории / А. А. Ильюшин. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 273 с.
2. Зубчанинов, В. Г. Механика процессов пластических сред / В. Г. Зубчанинов. – М.: Физматлит, 2010. – 352 с.

3. Subbotin, S., Alekseev, A., Gultyaev, V. Technique of Determining Plasticity Functionals for a Plane Strain Trajectory Based on Experimental Data // Mechanics of Solids. 2025. Vol. 60, – P. 6667–6678. – DOI: 10.1134/S002565442560552X.
4. Корн, Г., Корн, Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
5. Гультяев, В. И., Зубчанинов, В. Г., Алексеев, А. А., Саврасов, И. А. Экспериментальное исследование стали 45 по некоторой гладкой криволинейной траектории деформирования // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2021. – № 3 (49). – С. 33–41.

УДК 579.373

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ ПО ПЛОСКИМ ТРАЕКТОРИЯМ С УЧАСТКАМИ ПОСТОЯННОЙ КРИВИЗНЫ

Алексеева Е. Г., к.т.н., доц.
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
г. Москва, Российская Федерация

Реферат. *Рассмотрена задача сложного деформирования материала сталь 45 по плоской трехзвенной траектории, включающей прямолинейные и криволинейные участки постоянной кривизны. Для ее решения использованы общая и линеаризованная математические модели пластического деформирования материалов В. Г. Зубчанинова при сложном нагружении. Верификация моделей выполнена путем сопоставления теоретических расчетов с экспериментальными данными, полученными на испытательном комплексе СН-ЭВМ.*

Ключевые слова: пластичность, траектория деформирования, экспериментальные данные, моделирование процесса, теория упругопластических процессов.

В работе использованы определяющие соотношения математической модели теории упругопластических процессов [1], которые имеют вид

$$\frac{dS_k}{d\tau} = M_1 \frac{d\Theta_k}{d\tau} + \dot{s} M \frac{S_k}{\sigma}, \quad \frac{d\vartheta_1}{d\tau} = -\dot{s}\left(\frac{M_1}{\sigma}\sin\vartheta_1 + \kappa_1\right). \tag{1}$$

Здесь S_k, Θ_k – координаты векторов напряжений и деформаций в пятимерных девиаторных пространствах А. А. Ильюшина, σ – модуль вектора напряжений; κ_1 – кривизна траектории деформаций; s – длина дуги траектории деформирования; ϑ_1 – угол между вектором напряжений и касательной к траектории, называемый углом сближения; τ – обобщенный параметр прослеживания процесса;

Для функционалов процесса упругопластического деформирования в общей математической модели теории процессов используются аппроксимации [1, 2]

$$\sigma = \Phi(s) + A f_0^p \Omega(s), \quad \frac{d\sigma}{ds} = \frac{d\Phi}{ds} + A f_0^p \Omega'(s),$$
$$M_1 = 2G_p + \left(2G - 2G_p^0\right) f^q e^{-\gamma \Delta s}, \quad M = \frac{d\sigma}{ds} - M_1 \cos\vartheta_1. \tag{2}$$

где $\Delta s = s - s_0$; $2G$ − удвоенный модуль сдвига; $2G_p$ − удвоенный пластический модуль;

$$f = \frac{1-\cos\vartheta_1}{2} \tag{3}$$

− функция сложности процесса, $\Omega(s)$ − функция, описывающая «нырок» напряжений,

$$\sigma = \Phi(s) = \begin{cases} \dfrac{2G}{\alpha}\left(1-e^{-\alpha s}\right), \text{ при } 0 \le s \le s_*^{\mathrm{T}}, \\ \sigma^{\mathrm{T}} + 2G_*(s-s_*^{\mathrm{T}}) + \sigma_*\left(1-e^{-\beta(s-s_*^{\mathrm{T}})}\right), \text{ при } s > s_*^{\mathrm{T}}, \end{cases} \tag{4}$$

− универсальная функция упрочнения, используемая для аппроксимации диаграмм прослеживания процессов и диаграмм деформирования при простом нагружении; $\sigma^T = \sqrt{2/3}\ \sigma_T$; σ_T − предел текучести при растяжении, $S_*^T = Э^T$ − соответствующая ему деформация; A, p, q, γ, β, α, G_*, σ_* − параметры, определяемые из базовых экспериментов. Индекс «нолик» относится к величинам в точке излома траектории или изменения ее кривизны.

Задача определения напряжений по заданной траектории деформирования сведена к задаче Коши с известными начальными условиями для каждого участка аналитически задаваемой траектории. Определяющие соотношения (1) при заданных аппроксимациях интегрируются численно методом Рунге–Кутты четвертого порядка точности.

В линеаризованной модели [1] процессов сложного пластического деформирования для плоских траекторий при активном процессе деформирования функционалы процесса определяются приближенными формулами:

$$M_1 = \sigma\left(k + \frac{1}{s}\right), \quad M = \frac{d\sigma}{ds} - M_1\cos\vartheta_1, \tag{5}$$

где $k = const$ – экспериментально определяемый параметр. Полученные результаты позволяют оценить достоверность линеаризации при сравнении с экспериментальными данными и расчетами по общей модели.

Экспериментальное исследование проведено на экспериментальном комплексе СН-ЭВМ, реализующем трехпараметрическое воздействие на образец (осевое растяжение–сжатие, кручение и внутреннее давление). В качестве образца использована тонкостенная цилиндрическая оболочка из стали 45 в состоянии поставки, имеющая в рабочей части: длину l = 110 мм, толщину h = 1 мм и диаметр срединной поверхности d = 31 мм.

Программа эксперимента при жестком нагружении представляет собой в девиаторном пространстве деформаций $Э_1$–$Э_3$ трехзвенную траекторию с прямолинейными и криволинейными участками постоянной кривизны. Согласно программе деформирования, приведенной на рисунке 1, на первом прямолинейном звене реализовывалось кручение до значения s_0 = 1,5 % , на втором звене происходил излом на 90° и реализовывалась траектория в виде окружности радиуса 1,5 %. На третьем звене после полного оборота окружности траектория плавно без излома переходила в прямую линию, параллельную оси $Э_1$.

На рисунках 2–6 приведены результаты расчетов и эксперимента по вышеизложенным математическим моделям.

В расчетах по общей математической модели, параметры аппроксимации функционалов процесса принимались: на втором звене q = 0.3, p = 3, b = 0.3, γ = 130, γ_1= 0; на третьем звене $\gamma = \gamma_1$= 110, параметры q, p, b не изменялись. В расчете по линеаризованной модели принято при α_1= 0.8, k = 370. Расчетные и экспериментальные результаты приводятся в векторном представлении напряжений и деформаций А. А. Ильюшина [1]. На рисунке 2 приведен отклик на реализованную траекторию деформирования в плоскости S_1–S_3 девиаторного пространства напряжений, на рисунке 3 приведена диаграмма σ–s.

Локальные диаграммы деформирования приведены на рисунках 4, 5, а на рисунке 6 показана диаграмма, характеризующая векторные свойства материала – диаграмма зависимости угла сближения от приращения длины дуги траектории деформирования после ее излома на втором звене. Цифрой 1 на рисунках обозначен расчет по линеаризованной модели, цифрой 2 – расчет по общей математической модели теории процессов. Экспериментальные точки отмечены кружочками.

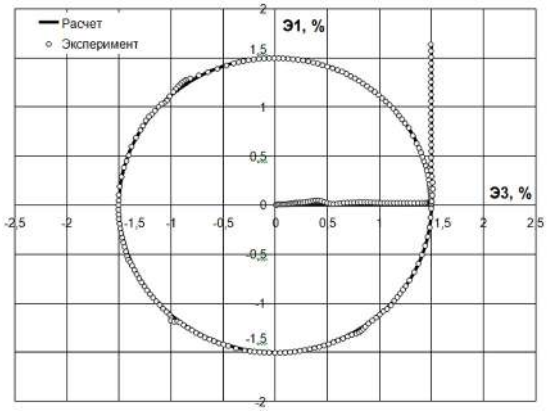


Рисунок 1 – Программа деформирования

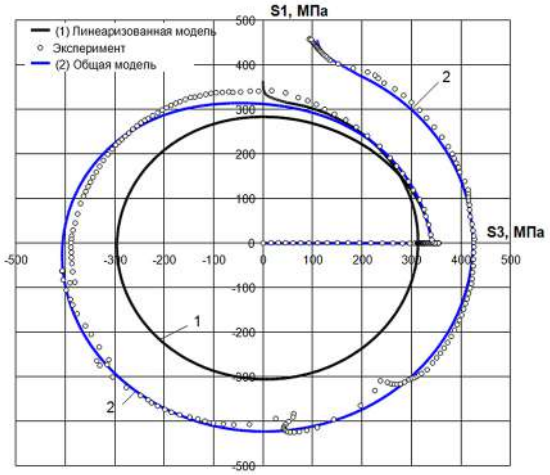


Рисунок 2 – Отклик в пространстве напряжений S_1–S_3

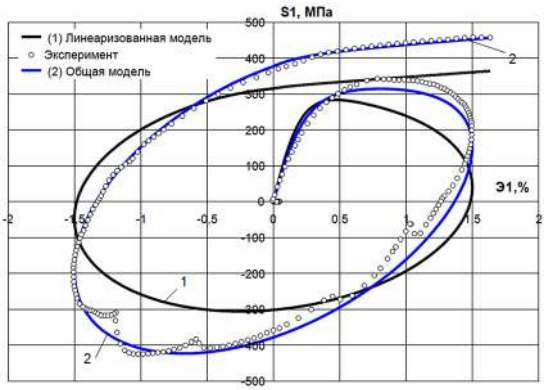


Рисунок 3 – Локальная диаграмма деформирования S_1–$Э_1$

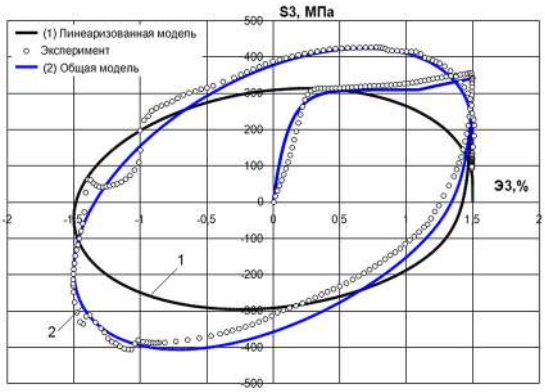


Рисунок 4 – Локальная диаграмма деформирования S_3–$Э_3$

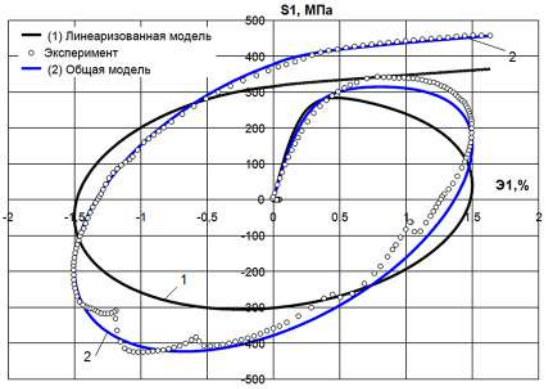


Рисунок 5 – Диаграмма прослеживания процесса деформирования σ–s

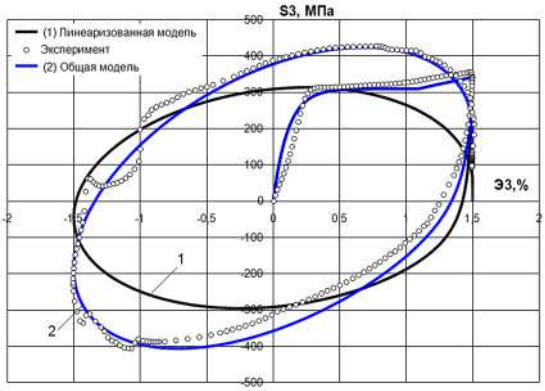


Рисунок 6 – Диаграмма ϑ_1–Δs

Анализ данных показал, что численные расчеты по общей модели достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными. Линеализованная модель, напротив, дает значительные отклонения как по скалярным, так и по векторным свойствам. Выполненное сопоставление расчетных и экспериментальных данных позволяет считать, что общая математическая модель теории процессов В. Г. Зубчанинова [1] достоверно описывает закономерности поведения материала для рассматриваемого класса траекторий.

Список использованных источников
1. Зубчанинов, В. Г. Механика процессов пластических сред / В. Г. Зубчанинов. М.: Физматлит, – 2010. – 352 с.
2. Зубчанинов, В. Г., Алексеев, А. А., Алексеева, Е. Г. Проверка постулата изотропии и численное моделирование процессов деформирования материалов на сложных гладких траекториях // Materials Physics and Mechanics. 2016. – Т. 29, – № 2. – С. 150–157.

УДК 621.7:669.1.017

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЫ ПЛАСТИЧНОСТИ И ИХ АППРОКСИМАЦИЯ ПРИ СЛОЖНОМ РЕВЕРСИВНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПО ДВУХЗВЕННЫМ ТРАЕКТОРИЯМ

Гультяев В. И., д.т.н., Субботин С. Л., д.т.н., Алексеев А. А., к.т.н., Булгаков А. Н., асс.
Тверской государственный технический университет,
г. Тверь, Российская Федерация

Реферат. *Представлено сравнение экспериментальных и теоретических функционалов пластичности при сложном реверсивном деформировании по двухзвенным траекториям. Показано, что аппроксимация по соотношениям В. Г. Зубчанинова обеспечивает достаточную точность. Доказана необходимость учёта скалярно-векторных свойств материалов и поведения функционалов при циклических и нестандартных нагрузка.*

Ключевые слова: пластичность, функционалы, сложное нагружение, реверсивное деформирование, двухзвенные траектории, аппроксимация, модули сдвига, теория квазипростых процессов.

При решении разнообразных задач теории пластичности с учетом сложного нагружения требуется построение определяющих соотношений вида [1–2]:

$$\frac{d\bar{\sigma}}{ds} = N\frac{d\bar{Э}}{ds} + (P-N)\frac{\bar{\sigma}\cdot\frac{d\bar{Э}}{ds}}{\sigma^2}\bar{\sigma}$$

где N, P – функционалы пластичности.

В данной статье рассмотрено сравнение теоретических и экспериментальных результатов по определению функционалов пластичности на примере двухзвенных ломаных с изломами 150° и -150°. Для реализации программы испытаний была выбрана плоскость $Э_1$–$Э_3$ векторного пространства деформаций (рис. 1). В данной серии испытаний было использовано 2 образца, представляющих собой тонкостенные цилиндрические оболочки из стали 45, прошедших проверку геометрических параметров (табл. 1). Излом каждой траектории осуществлялся при $Э_1 = Э_3 = 1\ \%$.

Таблица 1 – Параметры образцов

Номер образца	$D \cdot 10^3$, м	$h \cdot 10^3$, м	$R \cdot 10^3$, м
21	32,00 ± 0,01	1,00 ± 0,02	15,50 ± 0,02
23	31,98 ± 0,01	1,00 ± 0,01	15,49 ± 0,02

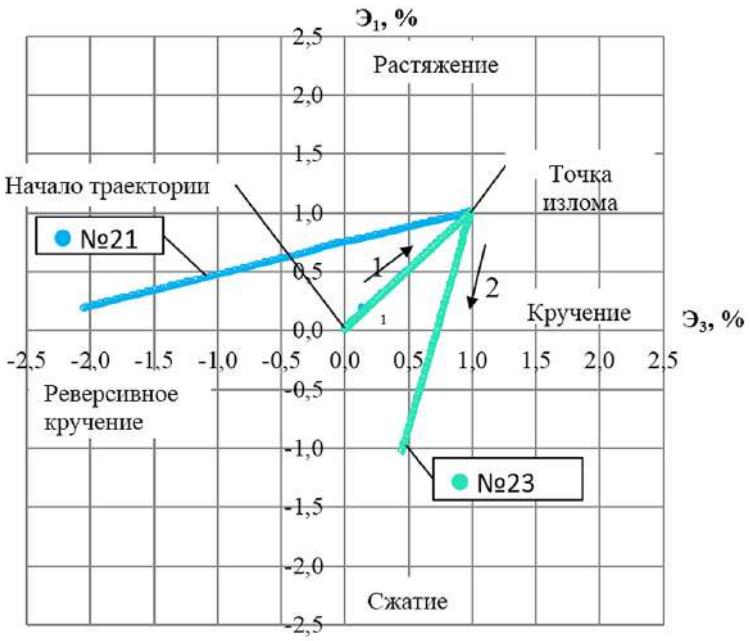


Рисунок 1 – Программа испытаний

Эксперименты были осуществлены при нормальной температуре и давлении. Напряженное состояние оболочек рассматривалось как плоское, а материал в зоне пластичности считался несжимаемым. Образцы до излома подвергались пропорциональному растяжению с кручением, после излома реверсивному кручению со сжатием.

В простейшем случае для аппроксимации функционалов могут быть использованы линии функций с разрывами при $\vartheta_1 = \pi / 2$, так что при $\vartheta_1 \le \pi / 2$ $N = 2G_p$, $P = 2G_k$, $d\sigma / ds = 2G_k$, а при $\vartheta_1 > \pi / 2$ $N = 2G$, $P = 2G$, $d\sigma / ds = 2G_k$. Однако экспериментальные исследования показывают, что функционалы изменяются непрерывно, поэтому в теории квазипростых процессов В. Г. Зубчаниновым было предложено для аппроксимации функционалов использовать выражения [1–6]:

$$N = \mathrm{M}_1 = 2G_p + \left(2G - 2G_p^0\right)\left(\frac{1 - cos\vartheta_1}{2}\right)^q$$

$$P = \frac{d\sigma}{ds}\frac{1}{cos\vartheta_1} \quad \text{или} \quad \frac{d\sigma}{ds} = Pcos\vartheta_1$$

$$\frac{d\sigma}{ds} = 2G_k - (2G + 2G_k^0)\left(\frac{1 - cos\vartheta_1}{2}\right)^p$$

где q, p – экспериментальные подбираемые параметры; $2G_p$, $2G_k$ – удвоенный пластический и касательные модули сдвига; $2G_p{}^0$, $2G_k{}^0$ – то же в точке излома траектории.

Экспериментальные значения могут быть найдены из выражений [7]:

$$N = \frac{S_1\frac{dS_3}{ds} - S_3\frac{dS_1}{ds}}{S_1\frac{d\Theta_3}{ds} - S_3\frac{d\Theta_1}{ds}} \qquad P = \frac{S_1\frac{dS_1}{ds} + S_3\frac{dS_3}{ds}}{S_1\frac{d\Theta_1}{ds} - S_3\frac{d\Theta_3}{ds}} \qquad \frac{d\sigma}{ds} = \frac{S_1\frac{dS_1}{ds} + S_3\frac{dS_3}{ds}}{\sigma}$$

где S_i, Θ_i $(i = 1, 2, 3)$ – компоненты векторов напряжений и деформаций; σ, Θ – модули векторов напряжений и деформаций; s – длина дуги траектории деформирования.

Результаты экспериментального и теоретического определения функционалов представлены на рисунках 2–4.

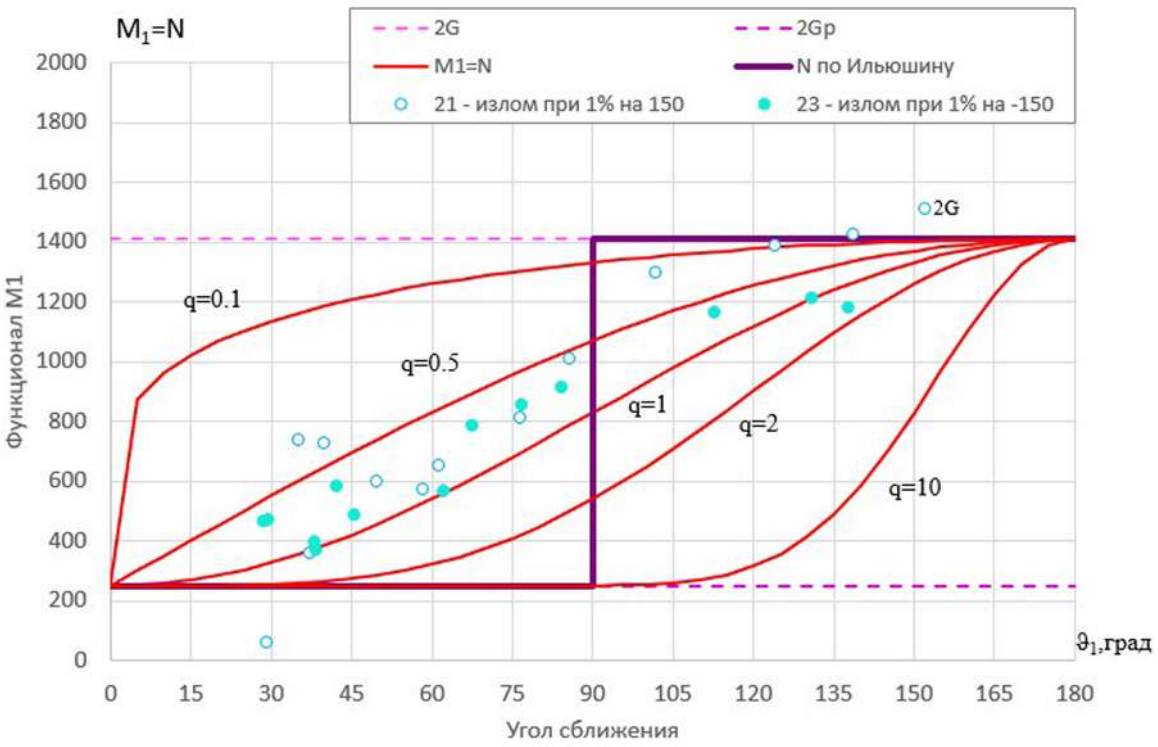


Рисунок 2 – Экспериментальные и теоретические значения функционала $M_1 = N$

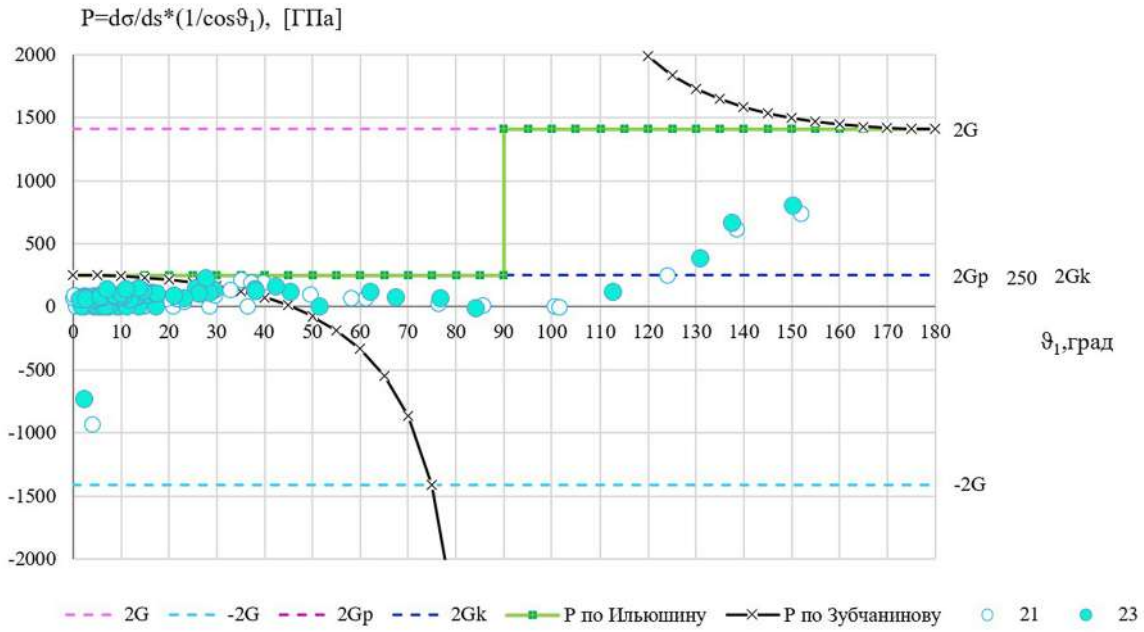


Рисунок 3 – Экспериментальные и теоретические значения функционала P

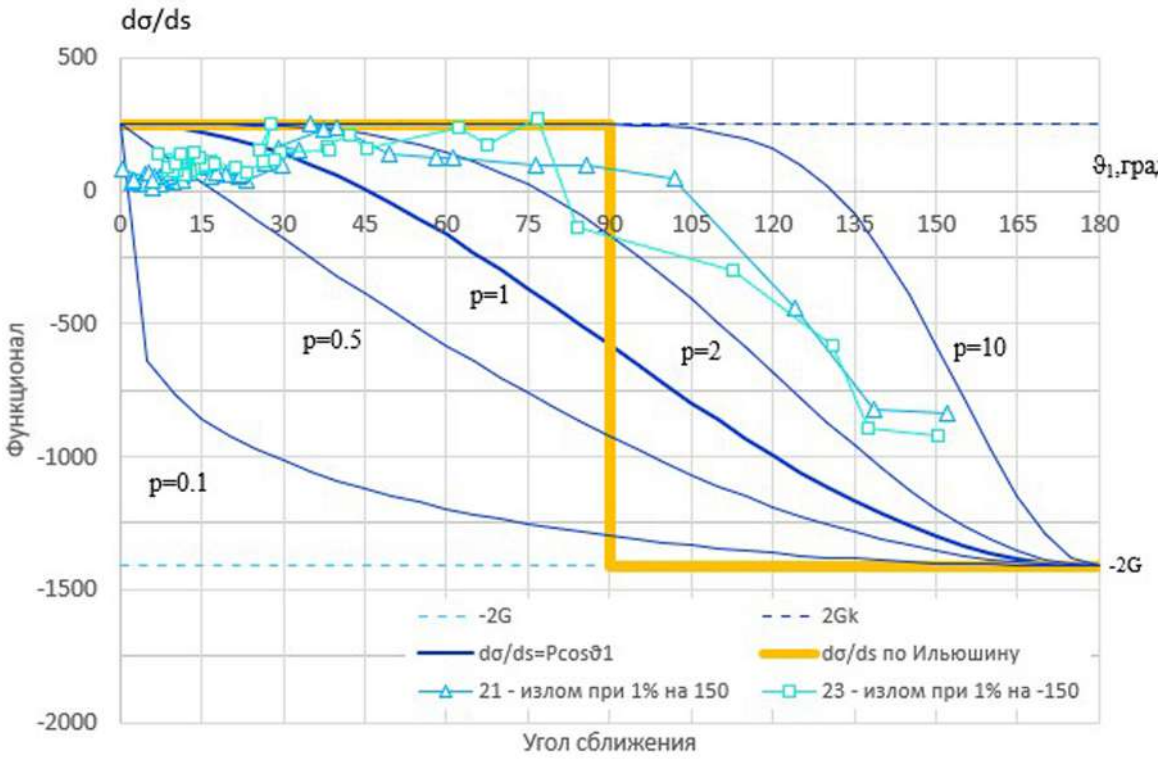


Рисунок 4 – Экспериментальные и теоретические значения функционала $d\sigma / ds$

Результаты показали, что для данных траекторий функционалы могут с достаточной степенью точности быть аппроксимированы по соотношениям В. Г. Зубчанинова. При этом задача сводится к определению значений показателей степени p и q. Кроме того, важной задачей является учет скалярных и векторных свойств конструкционных материалов [8], а также изучение поведения функционалов при циклической нагрузке и в условиях отличных от нормальных [9–10].

Список использованных источников

1. Зубчанинов, В. Г. Механика сплошных деформируемых сред / В. Г. Зубчанинов. – Тверь: ЧуДо. 2000. – 703 с.
2. Зубчанинов, В. Г. Механика процессов пластических сред / В. Г. Зубчанинов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 352 с.
3. Ильюшин, А. А. Труды Т. 1 (1935–1945) / Составители: Е. А.Ильюшина, Н. Р. Короткина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 352 с.
4. Ильюшин, А. А. Труды (1946–1966). Т. 2. Пластичность / Составители Е. А. Ильюшина, М. Р. Короткина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 480 с. – ISBN 5-9221-0364-4..
5. Зубчанинов, В. Г., Охлопков, Н. Л., Гаранников, В. В. Экспериментальная пластичность: монография. Книга 1. Процессы сложного деформирования. – Тверь: ТГТУ, 2003, – С. 172.
6. Зубчанинов, В. Г., Охлопков, Н. Л., Гаранников, В. В. Экспериментальная пластичность: монография. Книга 2. Процессы сложного деформирования. – Тверь: ТГТУ, 2004, – С. 184.
7. Субботин, С. Л. Методика вычисления функционалов теории упругопластических процессов по результатам экспериментов для плоских траекторий деформирования / С. Л. Субботин, А. А. Алексеев, В. И. Гультяев // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2025. – № 3(65). – С. 214–230. – DOI 10.37972/chgpu.2025.65.3.012.
8. Булгаков, А. Н. Длина следов запаздывания скалярных и векторных свойств конструкционных материалов при деформировании по двухзвенным траекториям в виде смещенного веера // Авиационные двигатели. – 2026. – № 1 (30). – С. 89–98.

9. Бондарь, В. С. Упругопластическое поведение и разрушение конструкций с концентраторами напряжений при циклических нагружениях / В. С. Бондарь, Д. Р. Абашев, Д. Ю. Фомин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2023. – № 4. – С. 23–33. – DOI 10.15593/perm.mech/2023.4.03.
10. Бондарь, В. С. Модифицированная теория неупругости / В. С. Бондарь, Д. Р. Абашев, В. И. Шарова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2025. – № 1. – С. 104–116. – DOI 10.15593/perm.mech/2025.1.08.

УДК 539.4, 519.233.5

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ И ТОПОЛОГИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ НА УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ЗАДАННОМ ОГРАНИЧЕНИИ ПО ВЕСУ

Хотенов К. А., студ., Алексеева Е. Г., к.т.н., доц.
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

Реферат. *Статья посвящена корреляционному анализу влияния формы и топологии расположения отверстий на уровень максимальных эквивалентных напряжений (по Мизесу) в стальной пластине при фиксированном ограничении по весу (равной площади отверстий). Методом конечных элементов выполнено моделирование пяти конфигураций: круглое отверстие, два исполнения эллиптических отверстий и два исполнения бионических отверстий. Рассмотрены два варианта расположения – последовательное и у угловой части пластины. Установлено, что эллиптическое отверстие, ориентированное вдоль вектора нагрузки, обеспечивает снижение максимальных напряжений до 43,6 % по сравнению с круглым. Доказано, что топология расположения отверстий оказывает статистически более значимое влияние на напряженное состояние, чем форма отдельных отверстий*.

Ключевые слова: концентрация напряжений, топология отверстий, форма отверстий, метод конечных элементов, оптимизация конструкции.

В авиастроении и судостроении широко используются панели и пластины с отверстиями – для крепежа, технологических проходов, снижения веса. Классическая задача о концентрации напряжений вокруг круглого отверстия (Кирш, 1898) и её решение известны [1]. Однако современные требования по минимизации массы принуждают использовать отверстия некруглой формы. Поиск оптимальной формы и расположения отверстий при заданном весе является актуальной задачей в авиационной науке. Летательный аппарат в течение цикла эксплуатации подвергается переменным нагрузкам. Именно в отверстиях напряжения могут в разы превышать средние значения по детали. Оптимальная форма отверстия позволяет распределить нагрузку так, чтобы трещины не появлялись как можно дольше. Если форма отверстия неудачна и создает высокие напряжения, конструктору приходится делать панель или деталь толще и, соответственно, тяжелее, чтобы обеспечить запас прочности. Некоторые исследования затрагивали тему влияния формы отверстий на напряженно-деформированное состояние конструкции [2–4], однако они носили фрагментарный характер и не являлись комплексными, поскольку в основном рассматривались лишь круглые отверстия, тогда как влияние других геометрических форм оставалось практически не изученным. При одинаковом ограничении по весу (то есть равной площади отверстий) форма и взаимное расположение могут существенно изменить пиковые напряжения. Цель данной работы – количественно оценить корреляцию между геометрическими параметрами отверстий, а также их расположением и уровнем максимальных напряжений.

Для численного исследования напряженно-деформированного состояния рассматривается стальная пластина размером 200×60×5 мм с площадью отверстий $S_{OTB} = 314{,}16$ мм² при одноосном растяжении. Механические характеристики материала пластины: модуль упругости I-го рода $E = 210$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}33$, предел текучести $\sigma_T = 350$ МПа. Вырезание концентратора напряжений (удаление части материала пластины) приводит к перераспределению напряжений и вызывает деформационные процессы, в результате которых происходит изменение геометрической конфигурации исходного кругового концентратора напряжений [2]. Численное экспериментальное исследование проводилось методом конечных элементов (МКЭ) в модуле Static Structural. Один торец пластины жестко зафиксирован, к противоположному приложена растягивающая нагрузка $F = 15$ кН. Размер конечного элемента – 2 мм. В ходе моделирования были получены данные о распределении напряжений для пяти конфигураций, приведенные на рисунках 1–2. Результаты расчетов сведены в таблицы 1–2.

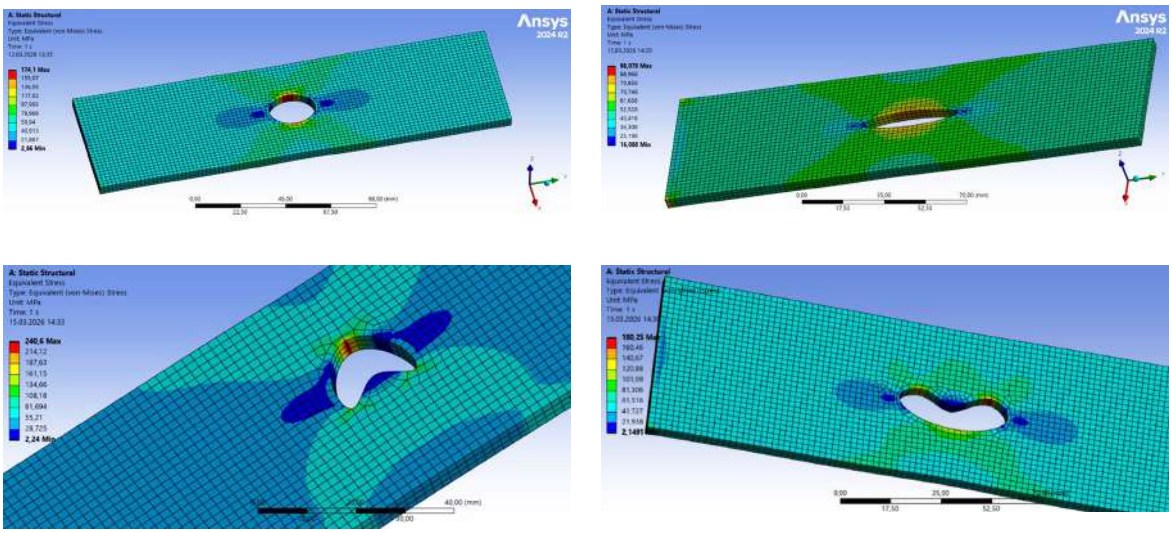


Рисунок 1 – Исследование влияния формы отверстий

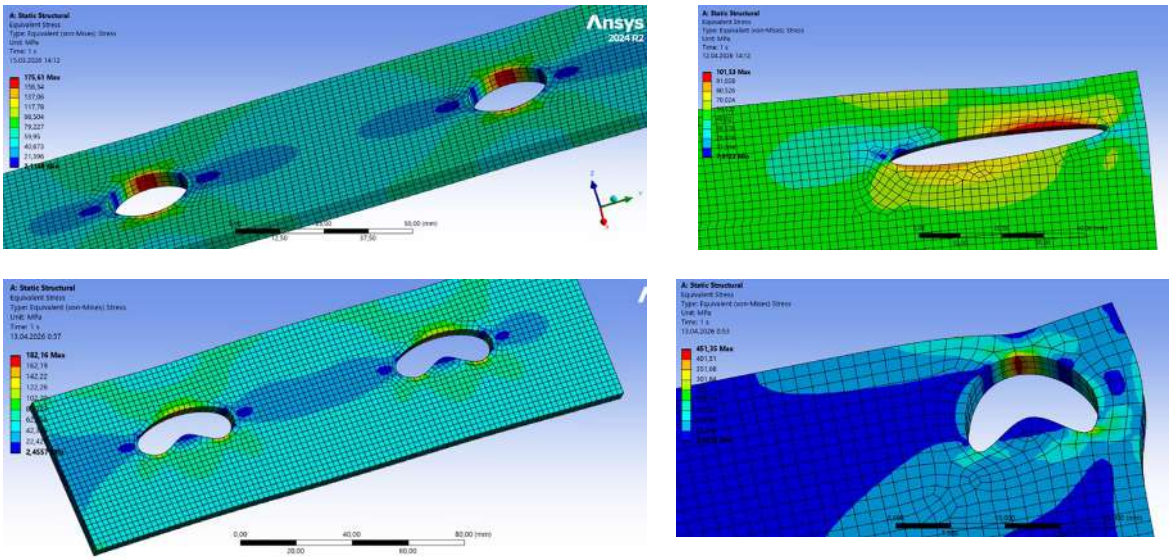


Рисунок 2 – Исследование влияния топологии расположения отверстий

Таблица 1 – Влияние формы отверстий

	Круглое отверс-тие	Эллипс		Бионическое отверстие	
		Первое исполнение	Второе исполнение	Первое исполнение	Второе исполнение
Максимальные эквивалентные напряжения (по Мизесу), МПа	174,1	98,235	98,078	180,25	240,6
Отклонение от базового (круглое отверстие)	–	– 43,5%	– 43,6 %	+ 3,5 %	+ 38,2 %

Таблица 2 – Влияние топологии расположения отверстий

	Круглое отверстие	Эллипс		Бионическое отверстие	
		Первое исполнение	Второе исполнение	Первое исполнение	Второе исполнение
	Максимальные эквивалентные напряжения (по Мизесу), МПа				
Последовательное расположение отверстий	175,61	104,08	102,55	182,16	252,28
Отверстие на угловой части пластины	303,54	101,53	112,71	265,02	451,35

Наилучшие показатели продемонстрировали эллиптические отверстия. Снижение напряжений почти в два раза (на 43,6 %). Большая ось эллипса была ориентирована вдоль линии действия нагрузки и это позволило «плавнее» обтекать препятствие силовым потоком, минимизируя коэффициент концентрации напряжений. Бионические отверстия, вопреки ожиданиям, показали худшие результаты. Исполнение 1 (180,25 МПа): напряжения на 3,5 % выше, чем у круга. Это указывает на наличие локальных зон искривления (малых радиусов скругления), которые выступают концентраторами, компенсирующими выгоду от сложной формы. Исполнение 2 (240,6 МПа): худший результат (рост на 38 %). Столь высокий показатель свидетельствует о нерациональной топологии: форма имела сужения в критических сечениях, что привело к резкому возрастанию пиковых напряжений при сохранении той же площади отверстия. Смещение к углу ожидаемо увеличивает напряжения. Для круглого отверстия рост связан с асимметрией распределения нагрузки и близостью свободной кромки. Бионическое отверстие (исп. 2) в углу пластины показало экстремальное значение 451,35 МПа. Это свидетельствует о том, что сложные топологические формы крайне чувствительны к их положению относительно границ детали.

По результатам работы были сделаны следующие выводы:

1. Для условий одноосного растяжения эллиптическое отверстие является наиболее эффективным, обеспечивая снижение максимальных напряжений на 43,6 % по сравнению с круглым отверстием при идентичном весе конструкции.
2. В результате анализа показано, что при фиксированном ограничении по весу конструкции топология расположения отверстий оказывает статистически более значимое влияние на максимальные эквивалентные напряжения (по Мизесу), чем форма отдельных отверстий.
3. При проектировании облегченных конструкций с заданным ограничением по весу следует отдавать предпочтение эллиптическим формам, ориентированным вдоль вектора нагрузки, либо проводить глубокую итерационную оптимизацию бионических контуров для исключения сингулярностей и зон высокой концентрации напряжений.

Список использованных источников
1. Геворкян, Г. А. Численное решение задачи Кирша с центральным круговым отверстием произвольного радиуса на основе МКЭ / Г. А. Геворкян // Материалы XXIII Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2023): Москва: МАИ, – 2023. – С. 195–197.
2. Валуев, К. А., Чернятин, А. С. Оценка влияния обжатия отверстий обшивки летательных аппаратов на прочность // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2015. – № 5 (41). – С. 1–9.
3. Глебов, В. Е. Влияние поверхностного пластического упрочнения на геометрические параметры круговых концентраторов напряжений в пластинах // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Физико-математические науки». – 2023, – № 3, – С. 476–490.
4. Флягин, Д. А., Чесноков, М. Е., Ватагин, А. А. Исследования напряженно-деформированного состояния металлического проката // Современные материалы, техника и технологии. – 2022. – №3 (42). – С. 15–19.

4.8 Технология машиностроения

УДК 62-229.6

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВИБРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Буткевич В. Г., к.т.н., доц. Москалёв Г. И., к.т.н., доц., Латушкин Д. Г., ст. преп., Дубаневич Д. Т., ст. преп., Князева К. И., студ.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *Предлагаемая работа посвящена изучению влияния на производительность различных факторов, определяющих устойчивую работу загрузочных устройств.*

Ключевые слова: надежность, деталь, система, скорость, вибрация, устройство.

Создание машин-автоматов и автоматических линий является наиболее эффективным и перспективным направлением в легкой промышленности. В связи с этим выбор систем автоматического питания машин штучными деталями в настоящее время привлекает внимание многих исследователей, так как без этого невозможно создание вышеуказанного технологического оборудования.

Из существующих систем автоматического питания наиболее перспективными являются вибрационные загрузочные устройства. Перспективы всемирного развития всех отраслей народного хозяйства и повышения эффективности производства обуславливают необходимость повышения производительности вибрационных загрузочных устройств.

Теоретическая формула производительности, полученная для загрузочных устройств вибрационного типа [3], имеет вид

$$Q_T = \eta K_C K_O П \cdot \frac{Z_{Л}}{L} \cdot 10^3 \ [\ шт/мин], \quad (1)$$

где η – коэффициент передачи скорости, равный, например, для случая движения с подбрасыванием $\eta = 8 \cdot 10^{-3} F^k$ [3] (F^k – частота колебаний); K_C – скоростной коэффициент, зависящий от ряда факторов; K_O – коэффициент ориентирования, $K_O = j_O \cdot j^{-1}$ (j_O – число допустимых устойчивых положений деталей на лотке данного профиля, j – число возможных

устойчивых положений деталей на лотке того же профиля); П – практическая величина оптимального амплитудного критерия, $П = П_Т \cdot K_y$ ($П_Т$ – теоретическая величина оптимального амплитудного критерия, K_y – коэффициент упругого соударения), мм; $Z_Л$ – число заходов или параллельных ручьев лотка; L – шаг между деталями в выходной части лотка, совпадающий обычно со значением максимального габарита детали в направлении движения.

Введя в формулу теоретической производительности (1) значение коэффициента общей надежности устройства $\eta_{B.C}$, получим выражение для определения фактической производительности загрузочного устройства в виде

$$Q_Ф = Q_Т \cdot \eta_{B.C} = \upsilon \eta_{B.C}\ K_O \cdot \frac{Z_Л}{L} \cdot 10^3\ [шт/мин], \qquad (2)$$

где υ – скорость вибротранспортирования детали по лотку, $\upsilon = \eta_{B.C}\, ПК_C$.

При анализе формулы (2) видно, что увеличение фактической производительности может быть достигнуто за счет увеличения значений K_O, $\eta_{B.C}$, $Z_Л$ и υ (величина L зависит от конструкций подаваемой детали).

В связи с этим наметились три основных пути повышения производительности.

1. Увеличение общей надежности за счет создания вибрационных загрузочных устройств из апробированных функциональных элементов, резервирования элементов, а также за счет выбора оптимальной величины некондиционности подаваемых деталей.

2. Повышение значения коэффициента ориентирования K_O [1] за счет перехода от пассивного ориентирования деталей к активному с использованием при ориентировании деталей сил трения, аэродинамических и гидравлических, электрических и электромагнитных полей и др.

3. Увеличение скорости вибротранспортирования путем создания негармонических колебаний лотка, колебаний лотка по произвольной эллиптической траектории с использованием раздельных приводов и комбинированного воздействия на подаваемую деталь (механика–пневматика, механика – гидравлика, механика – электромагнит и др.).

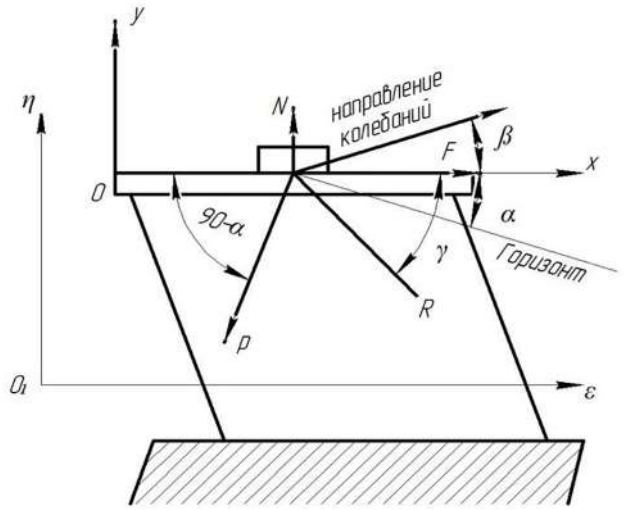


Рисунок 1 – Схема, иллюстрирующая принцип действия вибрационного лотка с комбинированным воздействием на подаваемую деталь

Не рассматривая все пути повышения производительности, остановимся подробно на увеличении скорости посредством комбинированного воздействия на транспортируемую деталь (рис. 1).

Деталь находится на плоскости, вибрирующей по закону

$$S = A\ \sin\omega t, \qquad (3)$$

где A – амплитуда колебаний плоскости; ω – частота колебаний плоскости; t – время.

Вибрирующая плоскость наклонена под углом α к горизонту. Направление колебаний составляет с вибрирующей плоскостью угол β. На деталь дополнительно действует сила R, направленная под углом γ к вибрирующей плоскости.

Введя подвижную систему координат xO_y и неподвижную $\varepsilon O_1\, \eta$, параллельную подвижным осям, составим уравнения относительного движения детали с учетом действия сил тяжести детали $P = mg$, силы сухого трения F, а также нормальной реакции N

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= mA\omega^2 \cos\beta \sin\omega t - mg \sin\alpha + R \cos\gamma + F\,, \\ m\ddot{y} &= mA\omega^2 \sin\beta \sin\omega t - mg \cos\alpha + R \sin\gamma + N\,. \end{aligned} \qquad (4)$$

Сила трения F в данном случае связана при движении детали с нормальной реакцией N соотношениями (по закону Амонтона – Кулона)

$$F = -fN \text{ при } x > 0,$$
$$F = fN \text{ при } x < 0. \quad (5)$$

где f – коэффициент трения скольжения. При этом нормальная реакция $N = N(t)$ находится из второго уравнения (4) при $y = 0$ (безотрывное движение детали).

$$N = N(t) = mg\cos\alpha + R\sin\gamma - mA\omega^2 \sin\beta \sin\omega t \quad (6)$$

Подставив выражение (6) в первое уравнение (4), получим уравнение безотрывного движения детали по вибрирующей плоскости в случае комбинированного воздействия на нее.

$$\ddot{x}_K = A\omega^2 \frac{\cos(\beta \pm \rho)}{\cos\rho} \sin\omega t - g \frac{\sin(\rho \pm \alpha)}{\cos\rho} + \frac{R}{m} \cdot \frac{\cos(\gamma \pm \rho)}{\cos\rho}. \quad (7)$$

Здесь через $\varrho = arctg\ f$ обозначен угол трения скольжения; верхние знаки соответствуют скольжению детали вперед по вибрирующей плоскости $(x > 0)$, нижние – скольжению назад $(x < 0)$.

В случае же вибротранспортирования без действия дополнительной силы уравнение безотрывного движения детали при прочих равных условиях имеет вид [2]

$$\ddot{x} = A\omega^2 \frac{\cos(\beta \pm \rho)}{\cos\rho} - g \frac{\sin(\alpha \pm \rho)}{\cos\rho}. \quad (8)$$

Проинтегрировав уравнения (7) и (8) и приняв начальные условия $t = 0$, $x_K = 0$ и $x = 0$, получим выражения для определения величины скорости вибротранспортирования:

а) для случая комбинированного воздействия

$$\dot{x}_K = A\omega \frac{\cos(\beta \pm \rho)}{\cos\rho} (1 - \cos\omega t) - g \frac{\sin(\alpha \pm \rho)}{\cos\rho} t + \frac{R}{m} \cdot \frac{\cos(\gamma \pm \rho)}{\cos\rho} t; \quad (9)$$

б) для случая некомбинированного воздействия, то есть только колебательного

$$\dot{x} = A\omega \frac{\cos(\beta \pm \rho)}{\cos\rho} \sin\omega t - g \frac{\sin(\alpha \pm \rho)}{\cos\rho} t. \quad (10)$$

Выразив уравнение (9) через (10), получим уравнение для определения скорости вибротранспортирования при комбинированном воздействии в виде

$$\dot{x}_K = \dot{x} + \frac{R}{P} g \frac{\cos(\gamma \pm \rho)}{\cos\rho} t, \quad (11)$$

где P – вес транспортируемой детали.

Анализируя полученное выражение (11), видим, что комбинированное воздействие на деталь основной («колебательной») и дополнительной сил постоянного действия открывает большие перспективы интенсификации вибротранспортирования и является одним из существенных резервов повышения производительности вибрационных загрузочных устройств.

Список использованных источников

1. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин : учебник для студентов высших технических учебных заведений / И. И. Артоболевский ; предисл. А. П. Бессонова, А. Н. Боголюбова, Н. И. Левитского. – Изд. 8-е. – Москва : ЛЕНАНД, 2019. – 639 с.

УДК 62-231.1

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И СИЛОВОЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ РУЧНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПРИВОДА ДЛЯ ПОВОРОТНО-ОПОРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Буевич О. В., маг., Ковчур А. С., к.т.н., доц., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматриваются конструктивные особенности и методы расчета горизонтального ручного привода, сопрягаемого с поворотно-опорным механизмом. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения плавности хода и минимизации люфтов в системах позиционирования тяжелого технологического оборудования при отсутствии автоматизированного электропривода. Предложено использование средств имитационного моделирования для проведения анализа конструкции горизонтального ручного привода для поворотно-опорных механизмов.*

Ключевые слова: горизонтальный ручной привод, поворотно-опорный механизм, червячная передача, кинематическая погрешность, момент сопротивления, точность позиционирования, эргономика.

В современном машиностроении, подъёмно-транспортном и горном оборудовании широкое распространение получили поворотные платформы, базирующиеся на поворотно-опорных устройствах [1]. В условиях эксплуатации, где применение мощного электропривода нецелесообразно по экономическим соображениям, либо невозможно из-за взрывопожароопасной среды, либо по иным причинам, ключевое положение занимает ручной горизонтальный привод.

Отмечают, что проектирование ручных приводов часто идет по остаточному принципу, что приводит к завышению физической нагрузки на оператора и снижению точности наводки механизма [2]. Практика показывает, что большинство отказов в работе таких систем связано не с разрушением зубьев, а с «закусыванием» червячной пары из-за неправильного учета вибрационных нагрузок в момент фиксации.

Целью данной работы является системный анализ кинематических и силовых факторов, влияющих на эффективность горизонтального ручного привода, и разработка рекомендаций по оптимизации его параметров на этапе проектирования.

Классическая конструкция горизонтального ручного привода представляет собой двухступенчатую или одноступенчатую систему. В тяжелых режимах преобладает схема рукоятка (маховик) – цилиндрическая зубчатая передача (редуктор) – червяк – зубчатый венец поворотно-опорного механизма.

Кинематическое передаточное отношение такой цепи стремится к бесконечности в момент стопорения, что обеспечивает самоторможение. Однако, как показывают эксперименты, условие самоторможения

$$\psi < \rho\psi < \rho,$$

где ψ – угол подъема витка червяка, ρ – приведенный угол трения выполняется лишь для статического состояния. В динамике пуска/останова наблюдается явление квази-самоторможения, требующее отдельного математического описания.

Основной проблемой кинематики является наличие мертвого хода (люфта), который складывается из зазоров в зацеплении червяк – венец, зазоров в шпоночных или шлицевых соединениях вала червяка, упругих деформаций элементов привода при приложении нагрузки.

Также ключевым параметром работоспособности является усилие Fp, прикладываемое оператором к рукоятке. Согласно требованиям ГОСТ 12.2.032–78, оптимальное усилие для ручного управления не должно превышать 100–150 Н для периодической работы [3].

Суммарный момент сопротивления на выходном валу поворотно-опорного механизма Твых может быть представлен как

$$Твых = Tmp.on + Твет.нагр + Тин,$$

где $Tmp.on$ – момент трения в опорах качения поворотного круга, $Твет.нагр$ – момент от внешних нагрузок (вес платформы, ветровая нагрузка), $Тин$ – инерционная составляющая (массовый момент).

Момент на маховике $Твх$ определяется через общий КПД $\eta_{общ}$ и передаточное отношение $i_{общ}$

$$Твх = Твых / (iобщ \cdot \eta общ).$$

Основные потери $\eta_{общ}$ приходятся на червячную передачу. Вопреки устоявшемуся мнению, для горизонтальных приводов с верхним расположением червяка коэффициент трения f не является константой. В ходе предварительных исследований было выявлено, что при скоростях скольжения менее 0,1 м/с, что характерно для ручной подачи, коэффициент трения резко возрастает до значений f = 0,12–0,15 из-за перехода к граничной смазке. Это вносит существенную поправку в расчеты КПД по классическим формулам [4].

Анализ эксплуатационных режимов показывает противоречие между требованием высокого передаточного отношения для снижения физического усилия и требованием быстродействия/точности. С точки зрения эргономики, горизонтальный привод требует от оператора значительных амплитудных движений.

Особый интерес представляет феномен «психологической обратной связи». Оператор, работающий с неотбалансированным механизмом, прикладывает усилие, превышающее расчетное на 30–40 %, пытаясь преодолеть «залипание» червячной пары, вызванное вибрациями от соседних агрегатов. Это приводит к усталостному разрушению рукояток и деформации валов.

Для устранения этого эффекта предлагается вводить в конструкцию горизонтального привода предохранительные фрикционные муфты, настроенные на усилие, не превышающее 200 Н на радиусе маховика 300–400 мм. Однако, как показывает анализ источников, эта рекомендация часто игнорируется на стадии проектирования.

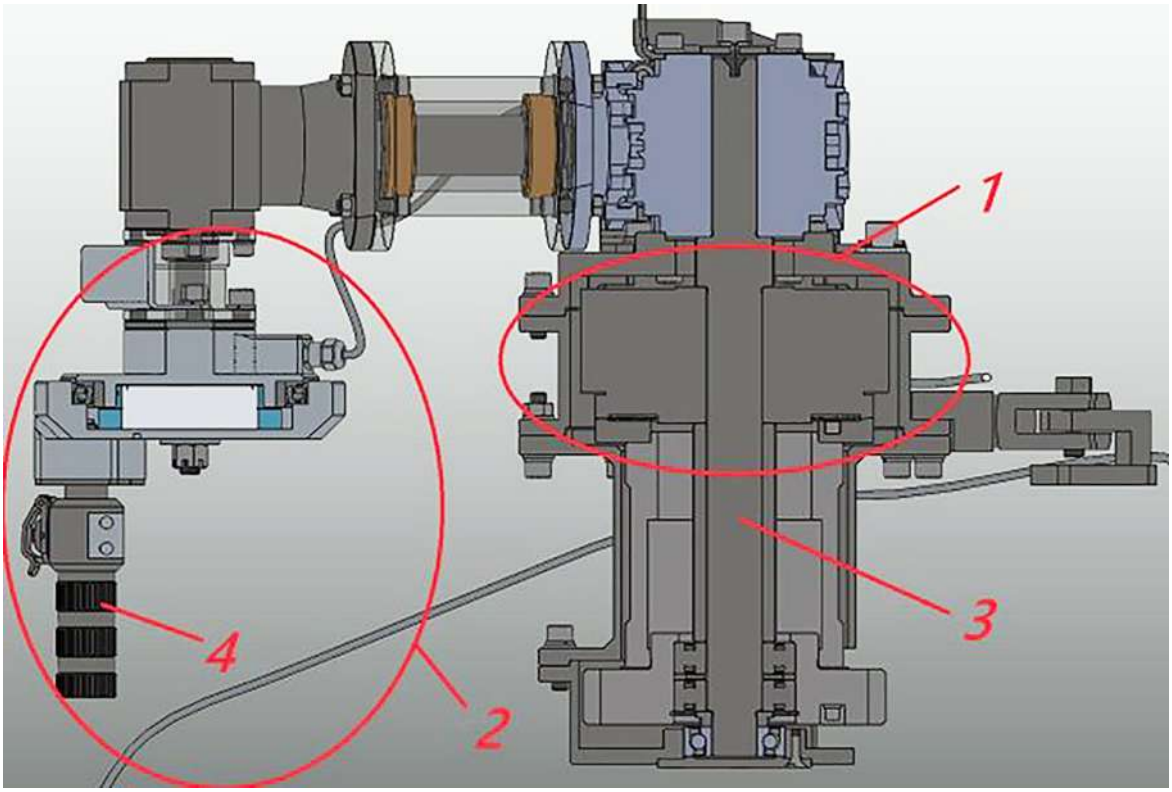
К исследуемому механизму (рис. 1) прикладывается нагрузка в 10 кН с целью устранения зазора в зубчатом зацеплении. Исходя из этого требуется провести анализ нагруженного вала с целью выявления слабых мест и подбора сортамента материала для его изготовления.

При воздействии на механизм путём закручивания гайки по второму закону Ньютона на ведущий вал будет действовать равная реактивная сила с обратно-направленным вектором.

Исходя из этого предлагается для проведения кинематического и силового анализа конструкции горизонтального ручного привода поворотно-опорного механизма использовать имитационное моделирование на базе твёрдотельной модели механизма с помощью МКЭ средствами соответствующего программного обеспечения. По результатам исследования можно определить наиболее нагруженные зоны приводного вала, а также зоны максимального смещения под действием приложенной силы.

Заключение

Проведенный предварительный анализ конструкции горизонтального ручного привода для поворотно-опорного механизма позволяет сформулировать следующие выводы. Ключевым ограничением надежности и точности является не силовая способность зацепления, а совокупность люфтов и нестабильность коэффициента трения в червячной паре при малых скоростях. Существующие методики расчета КПД требуют адаптации с учетом низкоскоростных режимов работы и реальных условий смазывания, характерных для ручного управления. Перспективным направлением модернизации является внедрение в конструкцию привода тарированных предохранительных устройств и компенсаторов выбора зазора (разрезные червяки), что позволит повысить точность позиционирования при сохранении приемлемого уровня физической нагрузки на оператора.



1 – электромагнитная муфта; 2 – привод ручного управления; 3 – вал; 4 – ручка

Рисунок 1 – Поворотно-опорный механизм в разрезе

Список использованных источников

1. Решетов, Д. Н. Детали машин : учебник для машиностроительных вузов / Д. Н. Решетов. – 4 е изд. – М.: Машиностроение, 2018. – 656 с.
2. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. / В. И. Анурьев – 9 е изд. – М.: Машиностроение, 2021. – Т. 2. – 928 с.
3. ГОСТ 12.2.032–78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования : государственный комитета по стандартизации Республики Беларусь : издание официальное : введен в действие постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 17 декабря 1992 г. № 3 : введён впервые : дата введения 1979-01-01. – М.: Издательство стандартов, 2019. – 9 с.
4. Дроздов, Ю. Н. Трение и износ в экстремальных условиях : справочник / Ю. Н. Дроздов, В. Г. Павлов, В. Н. Пучков. – М.: Машиностроение, 2020. – 280 с.

УДК 628.511

АНАЛИЗ АСПИРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Копачев П. Ю., маг., Махаринский Ю. Е., доц.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь.

Реферат. *В статье рассмотрено влияние конструкции устройств для пылегазоочистки на эффективность ее работы. Проведены имитационные испытания.*

Ключевые слова: устройства для пылеочистки, имитационное моделирование, аспирация, испытание экспериментального стенда.

Аспирационные установки являются важнейшим компонентом систем очистки воздуха от пыли и других загрязняющих частиц. Их эффективность напрямую зависит от конструктивных особенностей бункера и улитки, которые определяют распределение скоростей и давлений внутри системы. В данном исследовании проведён детальный анализ работы аспирационной установки с различными конфигурациями бункеров (цилиндрический, конический, обратной конусности) и типами улиток (с неполным и полным вырезом).

На кафедре «Технология машиностроения» разработано устройство для удаления стружки и пыли из рабочей зоны оборудования [1], которое показало свою эффективность при использовании на ленточном шлифовальном станке.

Для определения влияния конструктивных особенностей компонентов устройства проведено CFD-моделирование потоков воздуха в зоне инерционного пылеотделителя. Это позволило визуализировать поведение воздушных потоков, выявить зоны турбулентности, определить картину распределения скорости и давления. Моделирование проводилось в специализированном ПО (SolidWorks Flow Simulation).

В экспериментах рассматривались три типа формы бункера и три варианта конструкции улитки. Визуализация скоростей воздушных потоков и разряжений показаны на рисунке 1.

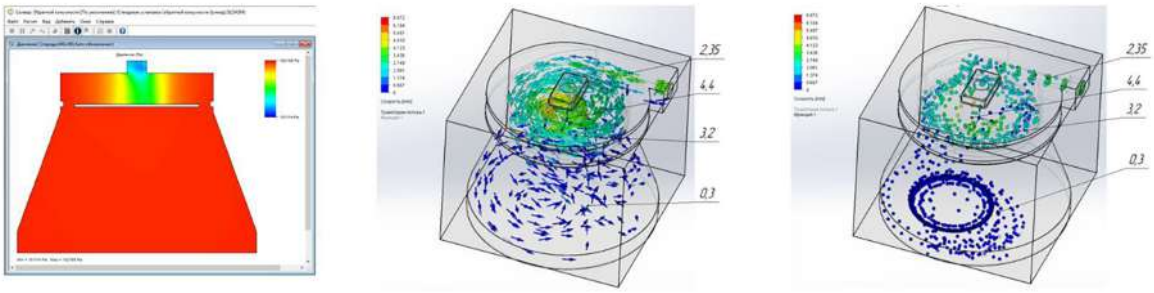


Рисунок 1 – Визуализация воздушных потоков в установке

Расшифровка экспериментальных данных показаны на рисунках 2–4:

– ***Цилиндрический бункер***

Улитка с неполным вырезом (-01): умеренное разряжение и равномерное распределение скоростей, но с локальными зонами турбулентности.

Улитка с полным вырезом: более стабильное давление, однако наблюдается увеличение турбулентности в центральной части бункера.

– ***Конический бункер***

Снижение разряжения на 15–20 % по сравнению с цилиндрической конфигурацией.

Улитка с полным вырезом улучшает равномерность распределения скоростей, но требует оптимизации для минимизации потерь давления.

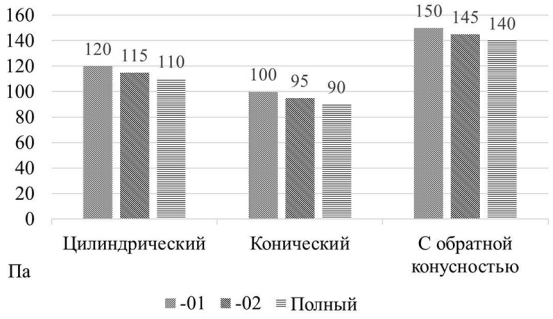


Рисунок 2 – Сравнение разряжения в бункерах

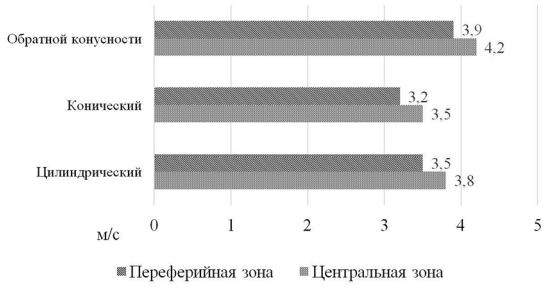


Рисунок 3 – Распределение скоростей в бункерах

– ***Бункер обратной конусности***

Наилучшие показатели разряжения (на 20–25 % выше, чем у цилиндрического бункера).

Улитка с полным вырезом обеспечивает стабильное распределение давлений и минимальные потери энергии.

Эффективность улавливания пыли повысилась благодаря оптимизации заборного устройства и увеличению стабильной производительности. Система теперь эффективно улавливает наиболее опасную фракцию частиц размером менее 5 мкм.

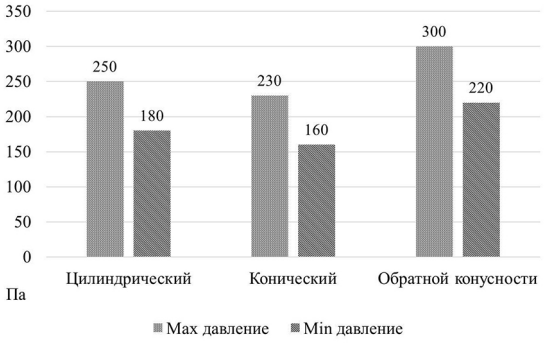


Рисунок 4 – Распределение давлений в бункерах

Рост производительности достигнут за счет снижения аэродинамического сопротивления системы и правильного подбора вентилятора.

Снижение сопротивления является прямым следствием оптимизации воздуховодов и заборного устройства.

Снижение энергопотребления достигнуто за счет комплексных мер: снижения сопротивления сети, выбора вентилятора с высоким КПД и оптимизации рабочей точки.

В результате проведенного исследования получены следующие ключевые научные и практические результаты:

1. Разработана комплексная методика анализа и оптимизации малогабаритных аспирационных систем, включающая последовательное применение:
   – экспериментального анализа дисперсного состава пыли;
   – математического моделирования аэродинамического сопротивления;
   – CFD-моделирования потоков воздуха;
   – технико-экономического обоснования решений.
2. Предложена оптимизированная конструкция системы аспирации, показавшая значительное улучшение технико-экономических показателей:
   – повышение эффективности улавливания пыли на 16,71 % (с 85 % до 99,2 %);
   – увеличение производительности на 10,81 % (с 370 до 410 м³/ч);
   – снижение аэродинамического сопротивления на 27,45 % (с 255 до 185 Па).

Список использованных источников

1. Копачев, П. Ю. Установки для удаления стружки и пыли из рабочей зоны оборудования / П. Ю. Копачев, Д. Ю. Биндорович, Ю. Е. Махаринский // Материалы докладов 57-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов в двух томах. Т. 2. – Витебск: УО «ВГТУ», 2022. – С. 413–416.

УДК 677.023.77

ОСОБЕННОСТИ ТРЁХМЕРНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МЕТАЛЛОПРОФИЛЯ

Щенникова К. В., студ., Климентьев А. Л., ст. преп., Котович А. В., асс.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. В статье рассмотрены особенности трёхмерного геометрического моделирования конструкций из металлопрофиля средствами систем автоматизированного проектирования. Применение трёхмерного геометрического моделирования в целом и оптимальных подходов к моделированию металлоконструкций в частности позволяет существенно сократить сроки проектирования изделий и повысить качество проектирования.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, трёхмерная модель, цифровизация, автоматизация проектирования, система проектирования, САПР, конструкция из металлопрофиля.

Трёхмерное геометрическое моделирование является ключевым этапом современного цифрового проектирования изделий вообще и конструкций из металлопрофиля в частности. Применение трёхмерных моделей позволяет получить полноту информации о геометрии, задать физические свойства материалов деталей конструкции из встроенной библиотеки ещё на этапе проектирования. Также данный способ в проектировании позволяет выполнить виртуальную сборку и анализ конструкции, что позволяет снизить риск ошибок в реальном производстве.

Построение трёхмерной модели металлоконструкций в различных системах автоматизированного проектирования (САПР), таких как КОМПАС 3D, Autodesk Inventor и Solid Works, имеют общие принципы и схожий прикладной инструментарий. Рассмотрим подход к геометрическому моделированию металлоконструкций на примере САПР Autodesk Inventor. Ниже будут изложены способы создания металлоконструкций в порядке увеличения эффективности проектирования.

Один из самых простых подходов к моделированию пространственных металлоконструкций основан на создании каждого металлопрофиля по отдельности, используя базовые инструменты САПР, и их последующая сборка. Собственно метод моделирования заключается в построении каждого профиля на основе 2D-эскиза сечения профиля и использования выдавливания его на определенную длину (рис. 1).

Стоит отметить, что все видоизменения профиля, например, при редактировании геометрии профиля для врезки или стыка с другим элементом, также происходят в самой детали. Сборка конструкции происходит путем добавления всех профилей в файл сборки и наложения на них зависимостей взаимного расположения.

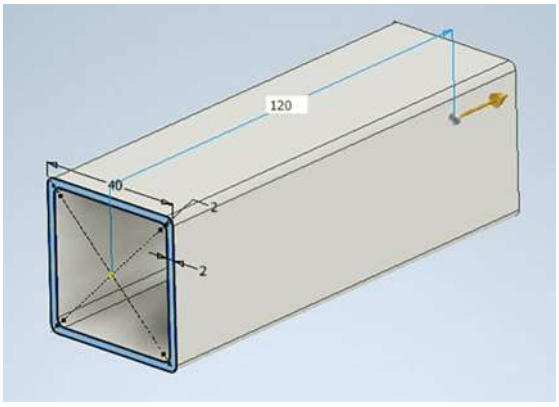


Рисунок 1 – Построение металлопрофиля с помощью инструмента «Выдавливание»

Данный метод увеличивает общее время проектирования, требует постоянной сверки геометрических размеров со стандартами на профиль и между отдельными деталями. Недостатком данного метода также является трудоёмкость изменения размеров в процессе проектирования, так как необходимо редактировать файл детали каждого профиля и изменять значения размеров, что значительно усложняет задачу проектирования.

Следующий метод предполагает использование инструмента «Вставить профиль» из библиотек САПР. Инструмент «Вставить профиль» работает следующим образом – необходимо построить эскиз

направляющей линии, которая отражает длину готового профиля, и по данной линии вставить выбранный типоразмер профиля (рис. 2), при этом есть возможность вращать и смещать профиль относительно направляющей.

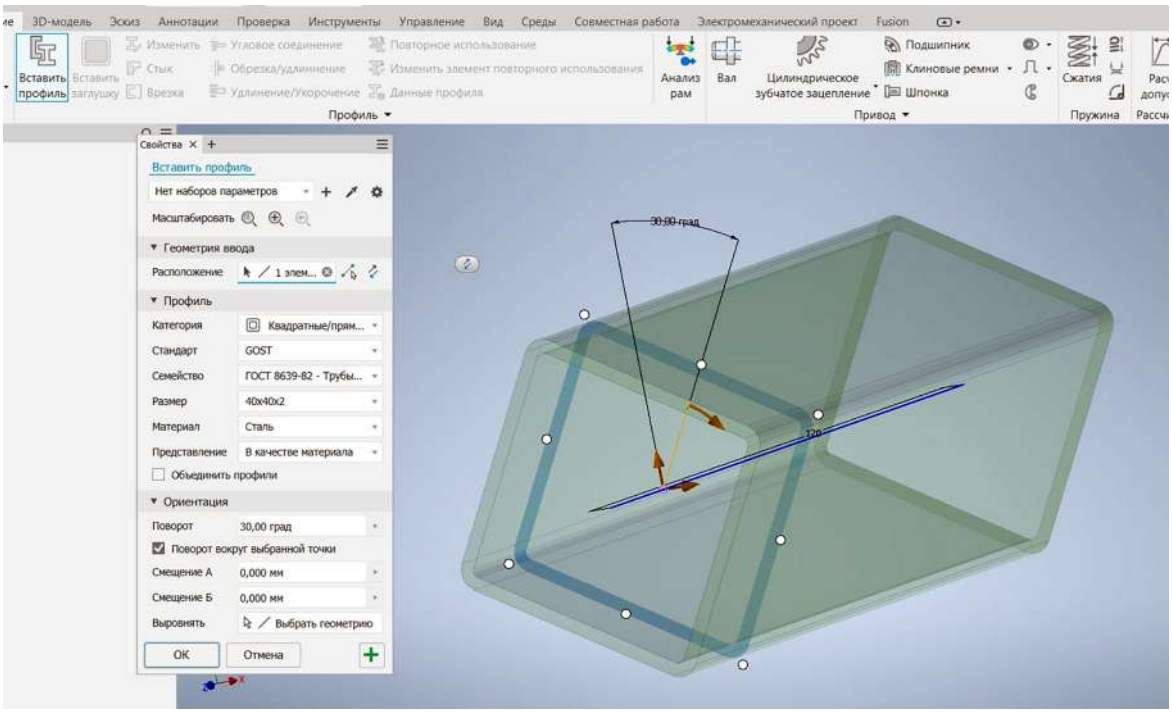


Рисунок 2 – Использование инструмента «Вставить профиль»

Использование библиотек стандартных элементов подразумевает добавление каждого профиля, используя собственные библиотеки САПР. При этом методика подразумевает выбор необходимого профиля из библиотеки стандартных профилей, выбор размеров сечения профиля и длины профиля.

Данный метод экономит время на создании самого профиля, но в остальном также малоэффективен, так как сборка предполагает добавление каждого профиля, что увеличивает общее время проектирования.

Последний метод проектирования металлоконструкций посредством 3D-эскиза является самым актуальным на данный момент среди опытных конструкторов. Особенность заключается в возможности полного редактирования металлоконструкции при помощи 3D-эскиза каркаса металлоконструкции и инструментов сборки. Разберём подробнее данный метод.

Разрабатывается 3D-эскиз всей металлоконструкции в направляющих линиях, отражающих длину и расположение каждого участка профиля (рис.3).

Далее данный эскиз добавляется в сборку и на каждую его линию накладывается профиль при помощи команды «Вставить профиль» (можно как один, так и несколько, если их сортамент совпадает), затем применяются инструменты вкладки «Профиль» сборки, которые позволяют редактировать профили относительно друг друга, например, при создании стыков профилей, их врезки, удлинение или укорочение до выбранной поверхности (рис. 4).

В случае редактирования направляющих линий профиля, необходимо изменить только 3D-эскиз (важно полностью его параметризировать, во избежание некорректности внесения правок), все остальные зависимости автоматически изменятся.

Таким образом, данный способ является самым эффективным с точки зрения проектирования, так как позволяет работать над всеми профилями одновременно и редактировать их, не переходя в деталь каждого профиля, что значительно сокращает возможность ошибки в размерах и взаимном положении нескольких профилей.

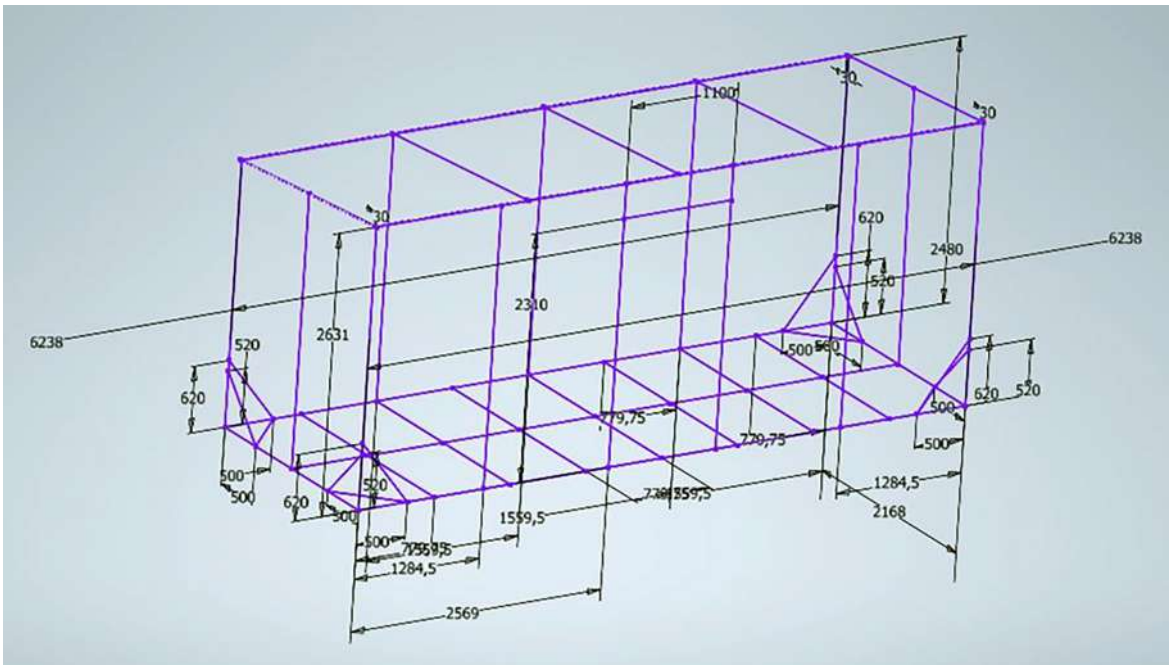


Рисунок 3 – 3D-эскиз каркаса металлоконструкции

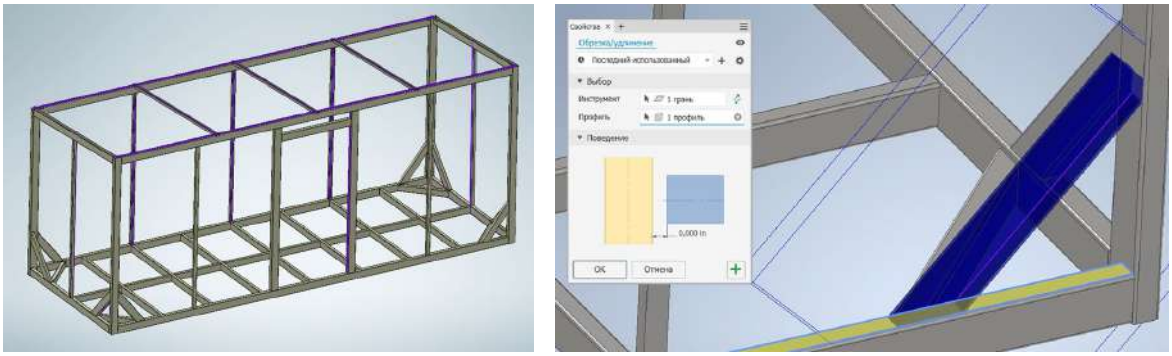


Рисунок 4 – Создание металлоконструкции на основе 3D-эскиза
и использование инструмента «Обрезка/удлинение»

Все выше рассмотренные способы применимы в реальном проектировании в зависимости от поставленных задач. Однако, стоит стремиться к повышению культуры проектирования: применять современные методы проектирования, которые позволяют значительно ускорить работу инженера-конструктора, обеспечить выполнения необходимых инженерных расчетов, избежать ошибок в процессе проектирования и предупредить возможный брак на производстве.

УДК 621.791:621.774:004.94:629.113

КОКПИТ ДЛЯ АВТОСИМУЛЯТОРА

Залесский С. В., студ., Окунев Р. В., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматривается конструкция кокпита для автосимулятора, позиционируемого не как игровое устройство, а как профессиональный тренажер. Описан процесс проектирования пространственной металлоконструкции с интегрированными узлами регулировок педального узла, рулевой колонки и сиденья. Представлена методология перехода от трёхмерной модели к действующему прототипу.*

Ключевые слова: кокпит, автосимулятор, тренажер, металлоконструкция, педальный узел, эргономика, 3D-моделирование, регулировки, прототип.

Современная индустрия компьютерных симуляторов (iRacing, Assetto Corsa Competizione, rFactor 2) достигла уровня физической достоверности, при котором погрешность моделирования поведения автомобиля составляет менее 2–3 % от реальных показателей. Закономерным следствием развития программного обеспечения стало появление специализированного периферийного оборудования – кокпитов (рис. 1).



Рисунок 1 – Кокпит фирмы Trak Racer [1]

Кокпит (от англ. cockpit – кабина пилота) перестал быть просто «креслом с подставкой под руль». С применением технологий Direct Drive (прямой привод на руле, крутящий момент до 30 Н·м, время отклика менее 5 мс) и нагрузочных датчиков (load cell) в педалях (измеряющих усилие на тормозе до 200 кг с дискретностью 12 бит), данный комплекс превратился в полноценный инженерный симулятор. Фактически, современные кокпиты используются профессиональными пилотами Formula 1 (Макс Ферстаппен тренируется на кокпите Sim-Lab, Ландо Норрис – на Fanatec), гонщиками серии NASCAR (Уильям Байрон участвует в виртуальных этапах) и чемпионами по дрифту (Крис Форсберг) для подготовки к реальным заездам. Команды F1, такие как Mercedes-AMG Petronas и Red Bull Racing, имеют собственные симуляционные центры на базе кокпитов высокой точности. Это позволяет отрабатывать мышечную память, траектории, перекладки руля, управление тормозным балансом и реакции на потерю сцепления без риска разрушения реальной техники, затрат на топливо, резину и логистику [2].

При разработке собственной версии кокпита основной задачей являлось обеспечение максимального диапазона регулировок. Тело пилота имеет индивидуальные антропометрические параметры (длина бедра, голени, рост, ширина плеч), которые критически влияют на управляемость. 3D-модель кокпита показана на рисунке 2.

В первую очередь обеспечена жесткость каркаса, так как при работе Direct Drive (пиковые моменты до 30 Н·м) любая деформация съедает обратную связь. Для этого конструкция рассчитана на крутильную жесткость не более 0,2 мм на 100 Н·м. Дополнительно установлены

антивибрационные ножки, резинометаллические опоры с полиуретановыми прокладками, которые гасят частоты выше 30 Гц. Благодаря этому весь отклик от руля и педалей идет в руки и корпус пилота, а не уходит в пол.

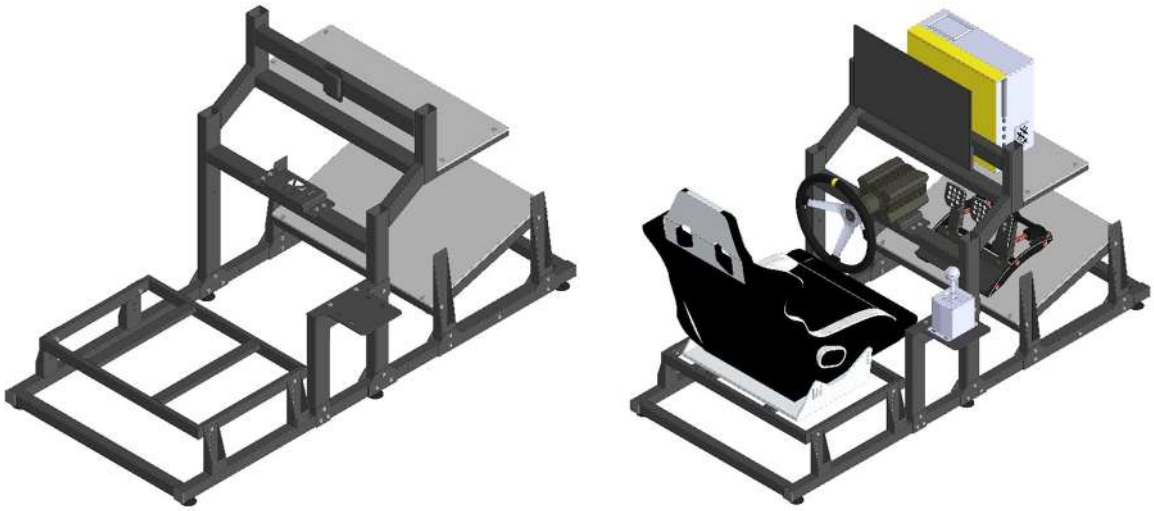


Рисунок 2 – 3D-модель кокпита

За счет регулировок педального узла (угол 15–55°, вылет 180 мм), рулевой колонки (угол от -10° до +20°, вылет 130 мм) и сиденья (ход 200 мм) мы можем получить три варианта анатомической посадки. Первый – посадка как в городском автомобиле: почти вертикально, колени согнуты под 110°, подходит для длительных тренировок без усталости. Второй – посадка GT3: полулежа, педали приподняты, руки согнуты под 90°, это универсальный спортивный вариант для большинства гоночных серий. Третий – посадка, приближенная к Формуле 1: сильный наклон спинки 45–60°, педали на уровне таза, руль у подбородка, позволяет максимально снизить центр тяжести пилота и имитировать реальное положение в монопосте. Перенастройка между режимами занимает не более 4 минут [3].



Рисунок 3 – Промежуточный этап сборки кокпита

Выбор материала для каркаса остановлен на стальной профильной трубе сечений 60×40, 40×20, 30×30 и 40×40 со сварными и болтовыми соединениями. Алюминиевый профиль (например, 40×40) легче в сборке, но его модуль упругости 70 ГПа почти втрое ниже стального (200 ГПа). Это дает проигрыш в жесткости в 2,5–3 раза при удорожании на 40–60 %, поэтому для нашей конструкции с высокими нагрузками сталь является верным решением.

В рамках работы была изготовлена не только трёхмерная модель в САПР, но и реальный физический прототип (рис. 3).

Прототип прошел тестирование в реальных условиях с участием

нескольких пилотов разного роста и веса. Проверена работоспособность всех регулировок, измерена фактическая жесткость каркаса под нагрузкой, а также оценена виброизоляция. Тесты подтвердили соответствие заявленным параметрам: люфты отсутствуют, переключение между посадками занимает заявленное время, отклик от руля передается без потерь.

Список используемых источников

1. Dudarev Motorsport: интернет-магазин. – URL: https://dudarevmotorsport.ru/catalog/trak (дата обращения: 19.05.2026). – Текст: электронный.
2. Связь симрейсинга и автоспорта: блог Dudarev Motorsport. – URL: https://dudarevmotorsport.ru/blog/kak-popast-v-avtosport/ (дата обращения: 15.05.2026). – Текст: электронный.
3. VIRPIL Controls.BY: [сайт]. – URL: https://virpil-controls.by/about_us (дата обращения: 19.05.2026). – Текст : электронный.

УДК 621.7:004.925.8

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТА ОБШИВКИ СО ВСТРОЕННЫМ МОДУЛЕМ ИНДИКАЦИИ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Мастыков Н. А., студ., Голубев А. Н., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

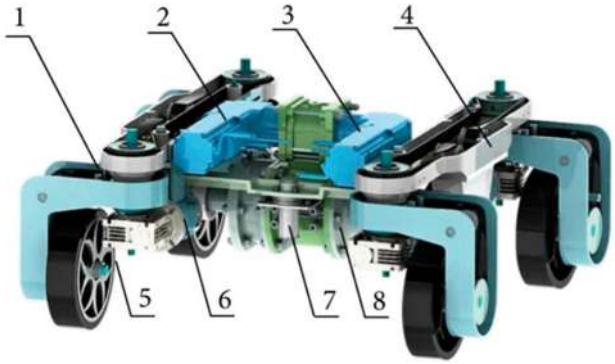
Реферат. *Рассмотрены конструктивные особенности и технологические стадии работы автономных мобильных роботов (AMR) со встроенными функциональными узлами. Проанализированы требования, предъявляемые к элементам обшивки и модулям индикации, приведены варианты их конструктивных решений, обоснована эффективность применения аддитивных технологий для их изготовления.*

Ключевые слова: мобильная робототехника, аддитивное производство, FDM-печать, световая индикация, элемент обшивки, трехмерное моделирование, светорассеивание.

В условиях реализации концепции «Индустрии 4.0» ключевым вектором модернизации внутрицеховой логистики является внедрение автономных мобильных роботов классов AMR (Autonomous Mobile Robots) и LMR (Latent Mobile Robots) [1]. В отличие от традиционных автоматических транспортных средств (AGV), перемещающихся по фиксированным напольным трекам, современные AMR-системы самостоятельно выстраивают маршруты в динамической среде в непосредственной близости от персонала. Это накладывает жесткие требования к проектированию таких элементов их экстерьера, как защитные панели обшивки и встроенные системы световой индикации. Для обоснования их конструктивно-технологических параметров необходим анализ компоновки платформ и физики их взаимодействия с грузом по логистической схеме Goods-to-Person («товар к человеку») [2].

Конструктивное исполнение роботов типа LMR подчинено необходимости минимизации высоты корпуса для обеспечения заезда под грузовые конструкции при максимальной устойчивости системы. Ходовая часть большинства платформ базируется на дифференциальной схеме, когда два независимых ведущих мотор-колеса располагаются соосно на центральной оси базы, а четыре пассивных поворотных ролика – по углам рамы [3]. Такая конфигурация обеспечивает нулевой радиус разворота на месте, что критически важно в стесненных условиях межстеллажных проходов.

Внутреннее пространство робота жестко зонировано. Тяжелые аккумуляторные батареи (LiFePO4) и блоки силовой электроники размещаются по периметру рамы, смещая центр масс незагруженного робота вниз. Центральная зона, совпадающая с вертикальной осью симметрии, отводится под главный исполнительный механизм – силовой подъемный актуатор (винтовой или ножничный тип) грузоподъемностью от 500 до 1500 кг.



1 – качающаяся нога, 2 – главный мотор,
3 – вспомогательный мотор, 4 – поворотный рычаг,
5 – колесо, 6 – рулевой двигатель,
7 – балансирное коромысло,
8 – система двойного дифференциала мощности

Рисунок 1 – Принципиальная структурно-компоновочная схема мобильного робота

В зависимости от целевого класса грузоподъемности робота, в конструкции актуатора применяются винтовые передачи (шарико-винтовые пары с электроприводом), компактные ножничные подъемные механизмы или короткоходные гидравлические цилиндры с миниатюрной насосной станцией. Шток актуатора жестко соединен с массивной металлической опорной платформой («пятаком»), которая выведена на верхнюю плоскость корпуса робота через технологический вырез в обшивке.

На рисунке 1 представлена принципиальная структурно-компоновочная схема базовой платформы складского робота подкатного типа, иллюстрирующая разделение контуров управления, питания и механического привода.

Технологический процесс выполнения транспортной задачи складским роботом носит циклический характер. На начальной стадии робот, используя алгоритмы SLAM и оптические датчики, позиционируется и заезжает под основание мобильного стеллажа (рис. 2). Шток центрального актуатора в этот момент находится в крайнем нижнем положении, обеспечивая технологический зазор в пределах 15–30 мм. После остановки робота под центром тяжести стеллажа актуатор выдвигает опорный «пятак» вверх. Платформа упирается в раму стеллажа и приподнимает его над уровнем пола на высоту 50–100 мм, полностью отрывая опорные ножки от земли. Вес груза через шток актуатора распределяется на центральную ось рамы и ведущие колеса [2].



Рисунок 2 – Схема захвата мобильного стеллажа

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что вся полезная нагрузка воспринимается опорной платформой, штоком, силовой рамой и ведущими колесами, а внешняя защитная обшивка складского робота и встроенные в нее модули световой индикации (фары) полностью разгружены от статического веса перевозимого груза. Исходя из этого, к разрабатываемой обшивке и модулям индикации предъявляются специфические защитно-демпфирующие и эргономические требования. Задача обшивки, изготавливаемой комбинированием листового металла и полимерных элементов (FDM-печать), – выступать в роли защитного кожуха, гасящего энергию случайных ударов ножек стеллажей при неточном заезде платформы. При этом габариты фар должны быть полностью утоплены внутрь проектных пазов обшивки и не выступать за ее внешние обводы во избежание их срезания элементами стеллажа.

На рисунке 3 показана 3D-модель конструктивного решения элемента обшивки с интегрированным модулем световой индикации.

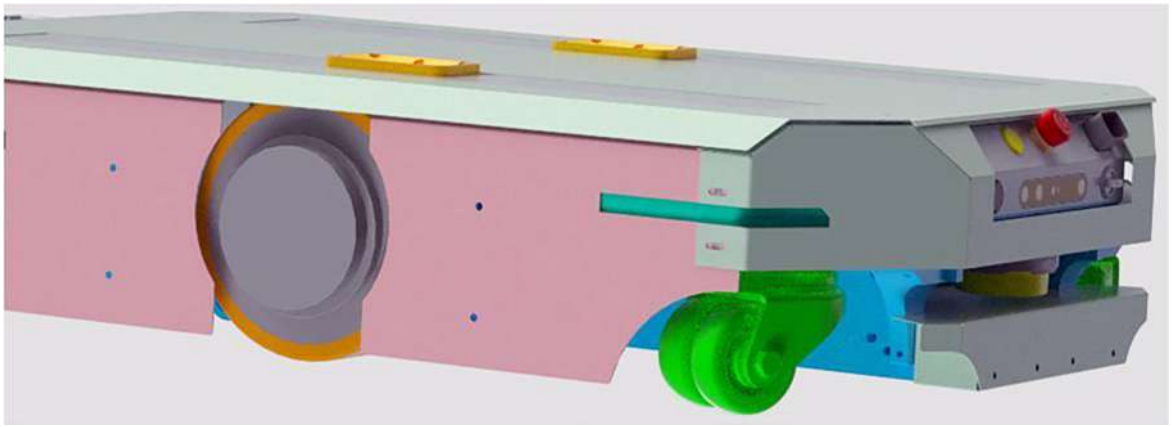


Рисунок 3 – Общий вид обшивки с внедренной фарой

Поскольку складские роботы выпускаются мелкосерийными партиями, производство сложного корпуса фары целесообразно выполнять методами 3D-печати (рис. 4). Применение светопропускающих полимеров со специальной структурой внутреннего заполнения позволяет эффективно рассеивать точечное излучение RGB-диодов, превращая его в мягкий, равномерный световой поток, отлично видимый персоналу под любыми углами обзора, что повышает безопасность эксплуатации робота на предприятии.

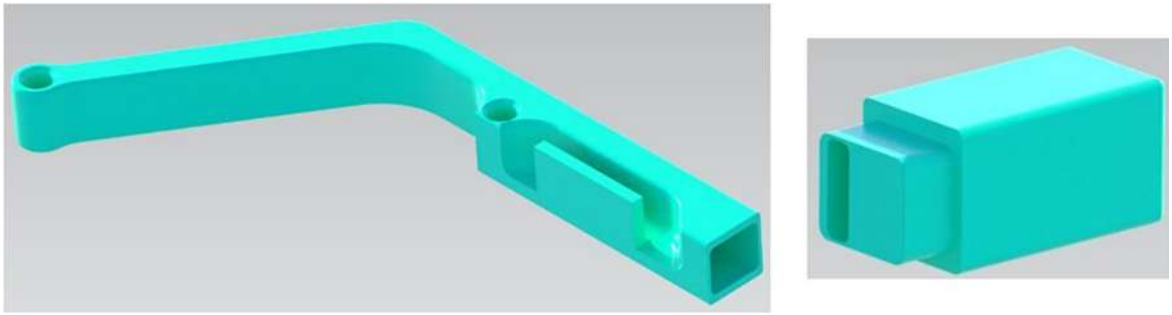


Рисунок 4 – Вариант конструктивного исполнения корпуса и заглушки фары

Таким образом, проведенный анализ компоновочных решений и особенностей работы роботов классов AMR и LMR показывает, что внешняя обшивка является критически важным функциональным узлом робота, обеспечивающим его живучесть и безопасность. Проектирование элементов обшивки со встроенными модулями индикации на основе аддитивных технологий

позволяет надежно защитить робота от эксплуатационных рисков и адаптировать визуальный интерфейс оборудования под требования стандартов охраны труда.

Список использованных источников

1. Разница между роботами LMR и AMR в складских системах. – Текст : электронный // Компания инноваций и технологий : [сайт]. – URL: https://www.kiit.ru/o-kompanii/faq/avtomatizirovannye-sklady/ (дата обращения: 19.05.2026).
2. Проектирование и автоматизация гибких производственных систем: учебное пособие / под ред. А. С. Прохорова. – Минск: БНТУ, 2022. – 186 с.
3. AGV и AMR роботы: устройство, классификация и принципы навигации складской робототехники. – Текст : электронный // Яндекс Роботикс : [сайт]. – URL: https://robotics.yandex.ru/blogs/agv-roboti (дата обращения: 19.05.2026).

УДК 678.057, 004.415.2

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТОВ И ГЕНЕРАЦИИ 3D-МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЭКСТРУДЕРА

Мостовщиков А. А., студ., Голубев А. Н., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрено прикладное приложение, направленное на автоматизацию проектно-конструкторских работ. Приложение выполняет расчет производительности экструдера с учетом геометрических характеристик шнека и формующей головки и генерирует 3D-модель трехзонного шнека для переработки полимеров. Разработка может быть использована в практике проектирования экструзионного оборудования и в учебном процессе.*

Ключевые слова: экструзия полимеров, шнек, формующая головка, прикладное приложение, КОМПАС-3D, Python.

Экструзия является одним из наиболее распространённых методов непрерывной переработки термопластов, с её помощью производят плёнки, листы, трубы, кабельную изоляцию и профильные изделия. Важнейшим параметром технологического процесса является производительность экструдера, которая зависит от геометрии шнека, реологических свойств расплава и конструкции формующей головки [1, 2]. На основании расчетов оптимальных геометрических характеристик выполняют проектирование экструдера и разработку конструкторской документации.

Статья посвящена разработке прикладного приложения, позволяющего автоматизировать расчёт производительности экструзионного шнека и построение его 3D-модели с требуемыми геометрическими характеристиками. Программа реализована на языке Python с современным графическим интерфейсом.

Приложение выполняет расчет производительности экструдера с учетом геометрических характеристик шнека и формующей головки, а также в автоматизированном режиме строит 3D-модель трехзонного шнека для переработки полимеров. Рабочая часть шнека состоит из зоны загрузки, зоны сжатия и зоны дозирования (рис. 1). В текущей версии поддерживается расчет для двух типов экструзионного профиля: круглого и плоского сечений.

Расчеты используют известные зависимости теории экструзии полимеров, изложенной в [1, 2], и основаны на определении эффективной вязкости полимера для заданной скорости сдвига, нахождении геометрических констант шнека и формующей головки и определении производительности экструдера методом рабочей точки с учетом потоков в материальном

цилиндре и потока через формующую головку. Рассмотрим основные расчетные зависимости.

Скорость сдвига в канале шнека в зоне дозирования определяется по формуле:

$$\dot{\gamma} = \pi \cdot D \cdot n / (60 \cdot h_2), \ [c^{-1}] \quad (1)$$

где D – диаметр шнека (мм), n – частота вращения (об/мин), h_2 – глубина канала в зоне дозирования (мм).

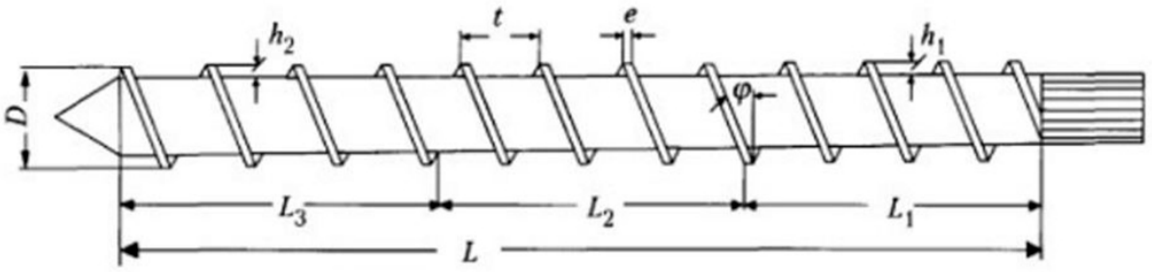


Рисунок 1 – Устройство трехзонного шнека экструдера (пояснения в тексте)

Вязкость при заданной скорости сдвига определяется логарифмической интерполяцией по двум известным табличным точкам:

$$\lg \eta = (\lg \dot{\gamma} - 2) \cdot (\lg \eta_{1000} - \lg \eta_{100}) + \lg \eta_{100}, \quad (2)$$

где η_{100} и η_{1000} – вязкости полимера (Па·с) при скоростях сдвига 100 $с^{-1}$ и 1000 $с^{-1}$ соответственно, а текущая скорость сдвига берется по (1). Зависимость вязкости от скорости сдвига в логарифмических координатах близка к линейной (проявление «аномалии вязкости» расплава полимера).

Далее, по заданным геометрическим параметрам зоны дозирования шнека определяют константы шнека α, β, γ:

$$\alpha = ½ \cdot \pi \cdot m \cdot D \cdot h_2 \cdot (t/m - e) \cdot \cos^2\varphi,$$

$$\beta = m \cdot h_2^3 \cdot (t/m - e) \cdot \cos\varphi \cdot \sin\varphi / (12 \cdot L_3), \quad (3)$$

$$\gamma = \pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3 \cdot \operatorname{tg}\varphi / (10 \cdot e \cdot L_3),$$

где m – число заходов, t – шаг витка (см), e – ширина гребня, $e = 0{,}08D$ (см), $\varphi = arctg(t / \pi D)$ – угол подъёма винтовой линии, $\delta = 0{,}003D$ (зазор по шнеку в материальном цилиндре, см), L_3 – длина зоны дозирования (см).

Константу формующей головки определяют по следующим формулам, соответственно, для прямоугольной щелевой и круглой головок:

$$k = b \cdot w^3 / (12 \cdot l), \ k = \pi \cdot r^4 / (8 \cdot l), \quad (4)$$

где b – ширина щели (см), w – толщина щели (см), r – радиус канала (см), l – длина канала (см).

Объёмная производительность Q ($см^3/с$) находится из условия равенства потоков, проходящих через шнек и формующую головку:

$$Q = (\alpha \cdot k / (k + \beta + \gamma)) \cdot n, \quad (5)$$

где n – частота вращения шнека в об/с, а константы шнека и головки определяются по формулам (3)–(4). Рабочее давление в формующей головке (Па)

$$\Delta P = Q \cdot \eta / k. \quad (6)$$

Массовая производительность экструдера (кг/ч):

$$Qм = Q \cdot \rho \cdot 10^{-6} \cdot 3600, \quad (7)$$

где ρ – плотность расплава полимера (кг/м³).

По исходным данным, которые вводит пользователь, приложение выполняет расчет производительности по рассмотренной выше методике и визуализацию рабочей точки экструдера в виде пересечения графиков потоков материала в материальном цилиндре и формующей головке (рис. 2). По введенным данным приложение может сгенерировать 3D-модель шнека в форматах КОМПАС-3D, OpenSCAD и OBJ.

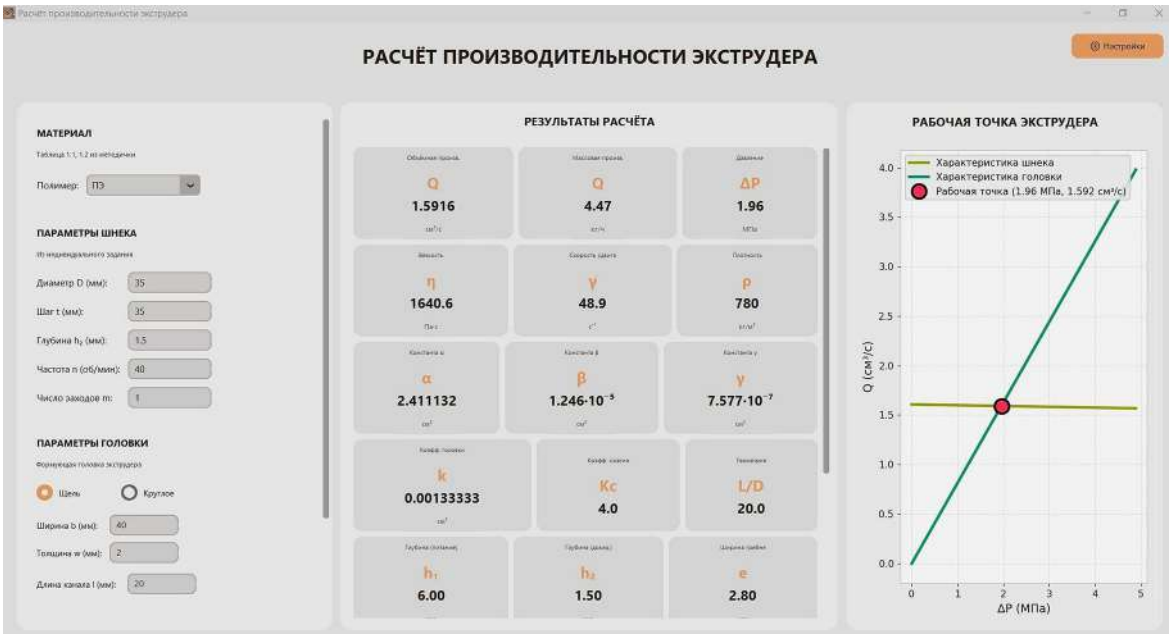


Рисунок 2 – Скриншот главного окна приложения с графиком рабочей точки экструдера

Графический интерфейс приложения разработан на современном фреймворке CustomTkinter [3], данная библиотека является надстройкой над стандартным модулем tkinter среды Python и не требует сторонних зависимостей уровня операционной системы.

Параметры шнека и головки представлены в виде датаклассов Python, что обеспечивает удобную типизацию и автоматическую генерацию конструктора.

Автоматическое построение трёхмерной модели шнека средствами КОМПАС-3D реализовано в отдельном модуле приложения с помощью стандартного COM-интерфейса (API5) [4], позволяющего программно создавать документ, эскизы и операции формообразования. Вал шнека строится операцией вращения (профиль рисуется в плоскости XOZ, затем вращается на 360° вокруг оси Z). Витки шнека создаются кинематической операцией (профиль витка выдавливается вдоль цилиндрической спирали с заданным диаметром и шагом).

Применение разработанной прикладной САПР может способствовать снижению трудоемкости при разработке и изготовлении шнековых экструдеров. Приложение используется в учебном процессе в курсах «Процессы производства изделий из полимерных материалов» и «Основы программирования инженерных систем». В планах расширение базы материалов и поддержка расчетов и моделирования формующих головок различных типов.

Список использованных источников

1. Ким, В. С. Теория и практика экструзии полимеров / В. С. Ким. – Москва: Химия, КолосС, 2005. – 568 с.
2. Завгородний, В. К. Оборудование предприятий по переработке пластмасс /

В. К. Завгородний, Э. Л. Калинчев, Е. Г. Махаринский. – Ленинград: Химия, 1972. – 464 с.
3. CustomTkinter – современный GUI-фреймворк для Python. – Текст : электронный // GitHub.com : [сайт]. – URL: https://github.com/TomSchimansky/CustomTkinter (дата обращения: 16.04.2026).
4. Справочная система SDK КОМПАС-3D. – Текст : электронный // КОМПАС-3D v24 : [сайт]. – URL: https://help.ascon.ru/KOMPAS_SDK/24/ru-RU/ (дата обращения: 16.04.2026).

УДК: 621.22(075.8)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УМЕНЬШЕНИЯ УТЕЧЕК В АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ НАСОСАХ

Кривенков В. В., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

Реферат. *В работе произведен анализ причин возникновения утечек в аксиально-поршневом насосе, пути движения утечек жидкости, влияние утечек на подачу, а так же рассмотрены способы их уменьшения и, как следствие, возможности повышения объемного КПД и производительности гидромашины.*

Ключевые слова: утечки рабочей жидкости, объемные потери, КПД объёмного насоса, аксиально-поршневой насос, блок цилиндров, торцевой распределитель.

Аксиально-поршневые гидромашины отличаются оптимальными весогабаритными характеристиками среди всех типов гидромашин. Благодаря высокой эффективности, способности работать при высоких давлениях и частотах вращения, низкой инерционности и простоте эксплуатации они получили широкое распространение в гидросистемах промышленного оборудования, строительной техники и авиации [1].

Эксплуатация аксиально-поршневых гидромашин предполагает использование жидкостей с различными смазывающими свойствами. При этом существует обратная зависимость между вязкостью жидкости и величиной утечек: чем вязкость ниже, тем утечки в парах трения значительнее. Для борьбы с утечками, в зависимости от конструктивных особенностей (тип пары трения и зазор), применяются уплотнения контактного или бесконтактного типа. В зависимости от формы уплотняющей поверхности различают радиальную и осевую щель, образованную поверхностью вала втулки [2, 3].

Утечки оказывают негативное влияние на объёмный КПД аксиально-поршневого насоса что обусловлено сжимаемостью рабочей жидкости и её утечки через зазоры. Анализ утечек в аксиально-поршневых машинах предполагает следующие основные каналы потерь (рис. 1):

– радиальный зазор между плунжерами и расточками блока цилиндров;
– торцевой зазор в паре распределитель – блок цилиндров.

Эти зазоры являются универсальными для всех конструкций и формируют основные пути перетекания рабочей жидкости из зоны высокого давления в зону низкого давления, что непосредственно определяет величину объемного КПД гидромашины. Суммарный расход через эти каналы прямо влияет на производительность и эффективность работы всей гидравлической системы. Также утечки могут происходить при перетекании из полости всасывания в полость нагнетания.

Наиболее значимые потери (до 70–80 %) возникают в торцевом зазоре между блоком цилиндров и распределительным диском.

Для их снижения применяются следующие меры. Во-первых, оптимизируется шлицевое соединение вала – увеличение длины шлица снижает угол крена блока цилиндров под нагрузкой, что предотвращает неравномерное увеличение зазора. Во-вторых, используются гидростатические опоры, которые создают поджимающее усилие, автоматически

пропорциональное рабочему давлению, тем самым компенсируя износ и поддерживая оптимальную толщину масляной пленки. Третий этап – применение износостойких пар трения, например, латунного диска на блоке, работающего со стальным распределителем.

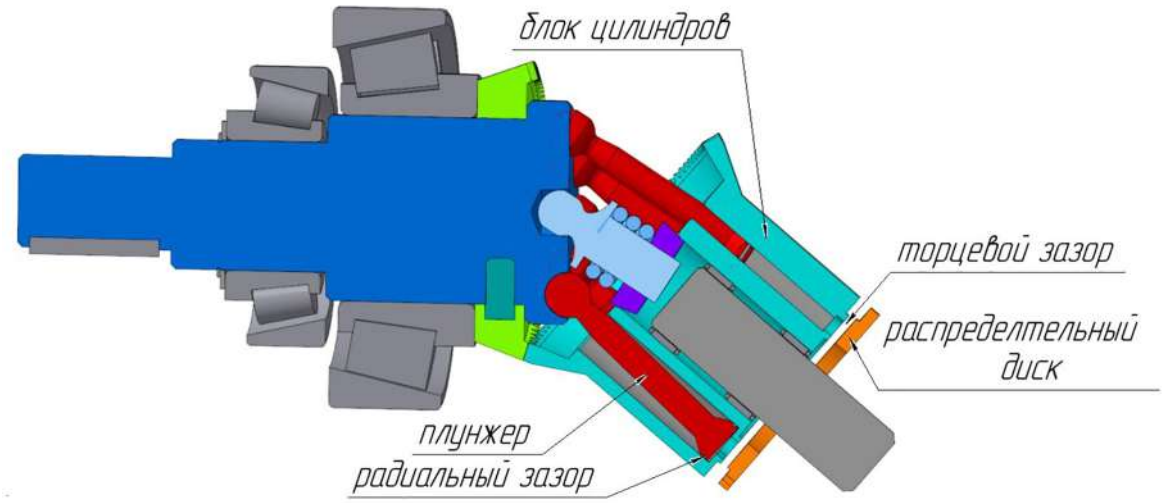


Рисунок 1 – Зазор между торцевым диском и блоком цилиндров

На рисунке 2 представлена конструктивная схема зазоров, которая используется для расчета расхода утечки между торцевым распределителем и блоком цилиндров. Потери мощности в данной паре трения складываются из потерь мощности на трение и потерь, связанных с утечками [3].



Рисунок 2 – Расход утечки в зазоре между торцевым распределителем и блоком цилиндров

Для гарантии надежной и долговечной работы торцевой системы распределения ее проектированию необходимо уделять первостепенное внимание. Критически важными условиями являются применение для взаимодействующих деталей материалов, образующих антифрикционную пару, а также обеспечение высокого качества обработки их поверхностей, которое характеризуется твердостью, малой шероховатостью и минимальными отклонениями от заданной геометрической формы.

Что касается радиального зазора в поршневой группе, то здесь ключевыми являются методы, снижающие силу трения и износ. Модификация конструкции поршневого механизма позволяет расширить рабочий диапазон машины. Использование гидростатических опор на самих поршнях создает стабильную жидкостную пленку, которая центрирует поршень в гильзе, уменьшая износ и утечки.

Влияние температуры рабочей жидкости на утечки в аксиально-поршневых гидромашинах играет важную роль и проявляется через несколько физических механизмов. Основной фактор – зависимость вязкости жидкости от температуры: при нагреве от 40 °С до 80 °С вязкость минерального масла может снизиться на 60–80 %, что согласно законам гидродинамики ламинарного течения в щелях приводит к пропорциональному росту утечек через все зазоры. Особенно чувствителен к этому торцевой зазор между блоком цилиндров и распределительной плитой, где даже незначительное изменение вязкости существенно влияет на баланс сил в масляной пленке.

Для проектируемого аксиально-поршневого насоса F12–150 с рабочим объемом 150 см^3, давлением 42 МПа и частотой вращения 1700 об/мин при работе на минеральных маслах

типа HLP с вязкостью от 15 до 30 сСт определены геометрические размеры основных деталей конструкции, что позволяет определить:

– оптимальную величину зазора между распределителем и блоком цилиндров:

$$h_{ОПТ} = \sqrt[4]{\frac{A_т}{3 \cdot A_y}\left(\frac{\mu \cdot \omega}{p}\right)^2}$$

где p – рабочее давление гидромашины; μ – динамическая вязкость жидкости; ω – угловая скорость; A_T – площадь контакта по торцевому зазору; A_y – площадь зазора между торцевым распределителем и блоком цилиндров;

$$A_T = \frac{\pi}{2} \cdot ((R_2^4 - R_1^4) + (R_4^4 - R_3^4)),$$

$$A_У = \frac{\pi}{6} \cdot \left(\frac{1}{ln\frac{R_2}{R_1}} + \frac{1}{ln\frac{R_4}{R_3}}\right),$$

– расход утечки в зазоре между торцевым распределителем и блоком цилиндров:

$$Q_{РАСПР} = \frac{\pi \cdot h_{ОПТ}}{\mu} \cdot A_У,$$

– расход утечки в зазоре между плунжерами и блоком цилиндров (радиальный зазор):

$$Q_{ПЛУНЖ} = \frac{\pi \cdot d_П \cdot h_o^3 \cdot p \cdot z}{12 \cdot \mu \cdot l \cdot 2} \ (1 + 1{,}5 \cdot \varepsilon^2),$$

где dn – диаметр плунжера; h_0 – радиальный зазор; z – количество плунжеров; l – осреднённая за половину оборота длина пути утечек вдоль поверхности поршня; ε – безразмерный эксцентриситет (оси цилиндра и поршня параллельны, но смещены относительно друг друга);

– суммарный расход утечек:

$$Q_У = Q_{РАСПР} + Q_{ПЛУНЖ},$$

– объёмный КПД с учетом утечек (отношение фактической подачи к теоретической):

$$\eta_0 = Q_Ф / Q_T.$$

При проектировании определена геометрия торцевого распределителя аксиально-поршневого насоса с наклонным блоком типа F12–150 и определен объемный КПД, который составил 97,2 %, что достаточно точно коррелирует с объемным КПД насоса, указанным в технических характеристиках насоса 97,5 %. Таким образом установлено, что основной способ увеличения объемного КПД аксиально-поршневых гидромашин на этапе проектирования – это уменьшение зазоров по условиям сохранения жидкостного трения и поддержания оптимальной вязкости жидкости рабочей жидкости.

Список использованных источников

1. Андреевец, Ю. А. Объемные гидро- и пневмомашины : пособие по одноименному курсу для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной и заочной форм обучения / Ю. А. Андреевец. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 97 с.
2. Шашков, В. С. Оптимизация величины зазора в паре трения «блок цилиндров – плунжер» / В. С. Шашков, Ю. А. Андреевец // Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : в 2 т. / Витебский государственный технологический университет. – Витебск, 2024. – Т. 2. – С. 403–405.

3. Мухин, А. А. Коэффициент подачи аксиально-плунжерного насоса // Гидравлика. 2018. № 5. – URL: https://hydrojournal.ru/item/78-koeffitsient-podachi-aksialno-plunzhernogo-nasosa. (дата обращения: 05.03.2026). – Текст : электронный.

УДК 621.22(075.8)

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ОКОН ПИТАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УЗЛА АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО НАСОСА

Дубинский В. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

Реферат. *Статья посвящена определению оптимальных геометрических размеров окон питания в блоке цилиндров аксиально-поршневого насоса типа 313 для снижения сопротивления потоку, предотвращения кавитации и обеспечения надежной работы гидромашины.*

Ключевые слова: кавитация, скорость жидкости, окна питания, блок цилиндров, распределительный диск, утечки, КПД, сопротивление потоку.

Аксиально-поршневые гидромашины являются одним из наиболее распространенных типов объемных гидромашин, которые широко применяются в гидросистемах технологических и мобильных машин. Одним из основных узлов в конструкции аксиально-поршневого насоса является узел распределения жидкости, который влияет на сроки эксплуатации и надежность работы гидромашины. Оптимизация размеров окон питания распределительного узла позволяет уменьшить влияние негативных факторов на работу аксиально-поршневого насоса.

Движение жидкости через окна в донышке цилиндров имеет пульсирующий характер: за каждый оборот вала поток в окнах блока дважды изменяет свое направление. Кроме того, поток жидкости перемещается в отверстии, которое, в свою очередь, движется вместе с блоком по окружности. Следовательно, сопротивление потоку жидкости в таких условиях значительно превышает сопротивление в неподвижных каналах и традиционных местных сопротивлениях [1].

Опыт показывает, что коэффициент сопротивления ζ этих окон повышается с увеличением частоты вращения в квадратичной зависимости. Для насосов распространенных размеров и частот вращения 2000–4000 об/мин значение ζ находится в пределах 2,6–3,5. Для рассматриваемого насоса типа 313 с частотой вращения 1200 об/мин можно ожидать значений коэффициента сопротивления, близких к нижней границе указанного диапазона [1, 2].

При всасывании в рабочую камеру и прохождении жидкости через окна питания в блоке цилиндров значительно возрастает скорость движения рабочей среды. Следствием этого является локальное падение давления, что может привести к возникновению кавитации и, как результат, к эрозионному разрушению рабочих поверхностей. Поэтому размер окон в донышке цилиндров выбирают исходя из жестких гидравлических ограничений. Наибольшая скорость рабочей жидкости при полностью открытых нагнетательных окнах для нерегулируемых насосов не должна превышать 7,5–8 м/с. Площадь всасывающего окна выбирают такой, чтобы скорость рабочей жидкости в нем не превышала 2,2–2,5 средней скорости поршня. Практически для самовсасывающих насосов скорость жидкости во всасывающих каналах распределителя не должна превышать 2–3 м/с [3].

В аксиально-поршневом насосе типа 313 с рабочим объемом 160 см³/об и частотой вращения 1200 об/мин при проектировании были выбраны круглые окна в блоке цилиндров в соответствии с аналогом (рис. 1). Геометрические размеры блока цилиндров (рис. 2) определены следующим образом: диаметр расположения окон питания $D_{рас}$ = 48 мм, диаметр самих отверстий d_0 = 15 мм. Данные параметры обеспечивают оптимальное движение жидкости и служат базой для дальнейшего гидравлического анализа.

Для насоса типа 313 с заданными геометрическими параметрами (d_0 = 15 мм,

$D_{рас}$ = 48 мм) и рабочей частотой вращения 1200 об/мин расчетные скорости жидкости находятся в допустимых пределах, что подтверждает корректность выбранных проектных решений. Однако для оптимизации работы или при модернизации насоса важно учитывать взаимосвязь геометрических и гидравлических параметров.

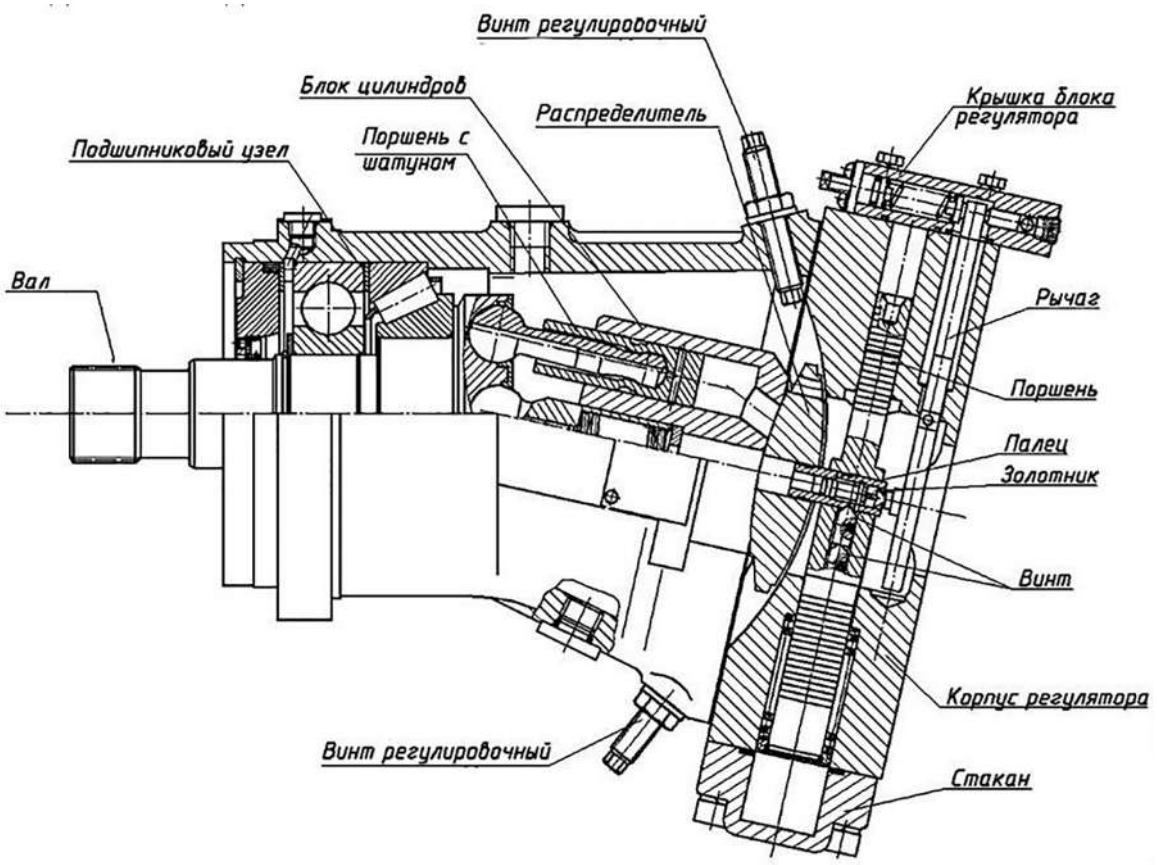


Рисунок 1 – Устройство аксиально-поршневой регулируемый насос типа 313

Для уменьшения скорости потока необходимо увеличивать площадь проходного сечения окна. Однако это приводит к уменьшению площади контакта (непрозрачной части днища) блока цилиндров с торцевым распределителем (рис. 1). Сокращение опорной поверхности снижает усилие гидростатического прижима блока цилиндров к распределительному диску, что может вызвать раскрытие торцевого стыка. В свою очередь, это ведет к росту утечек рабочей жидкости и падению объемного КПД насоса.

Для снижения данного негативного фактора окна питания могут выполняться не в виде простых круглых отверстий (как в базовой конструкции насоса 313) (рис. 2), а иметь удлиненную изогнутую форму. Ширина таких окон принимается равной ширине окон в распределительном диске, а длина сопоставима с диаметром цилиндра. Кривизна окна повторяет кривизну окон в распределительном диске, что обеспечивает плавное изменение

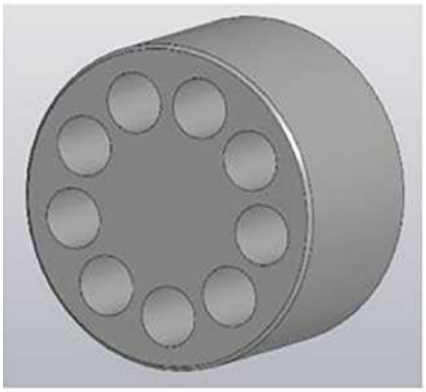


Рисунок 2 – 3D-модель блока цилиндров с питающими окнами аксиально-поршневого регулируемого насоса типа 313

гидравлического сопротивления по углу поворота ротора. Часто также допускают соотношение превышения ширины питательного окна над диаметром поршня, что позволяет дополнительно увеличить проходное сечение без критического уменьшения опорной поверхности. Оптимальной считается площадь окна питания, равная 0,45–0,5 площади самого цилиндра. При этом центральный угол охвата окна превышает угол охвата окружности цилиндра на 4–6°, что обеспечивает необходимое перекрытие каналов в момент переключения с всасывания на нагнетание и снижает уровень пульсаций давления.

В общем случае скорость жидкости u_{max} в окне питания и относительная скорость поршня υ_{OTH} при условии неразрывности струи связаны уравнением неразрывности потока:

$$u_{max} \cdot S = \upsilon_{OTH} \cdot S_{ЦИЛ},$$

где S – площадь окна; $S_{ЦИЛ}$ – площадь сечения цилиндра.

Геометрия распределительного узла также играет ключевую роль в обеспечении надежности и долговечности насоса. Ширину с распределительных окон в торцевом распределителе обычно выбирают равной половине диаметра поршня d, а ширину уплотняющих поясков – по 0,125d. Однако из-за различия окружных скоростей внутреннего и наружного поясков их износ происходит неравномерно. Для компенсации этого явления и выравнивания ресурса рекомендуется принимать соотношение внутреннего и наружного поясков $b_2 / b1 = 0{,}8$.

При проектировании распределительного узла аксиально-поршневого насоса важным аспектом является выбор материала для изготовления скользящей пары «блок цилиндров – распределительный золотник». Материал должен обладать максимально возможной твердостью. Наилучшие результаты показывают детали с бронированными поверхностями, имеющими твердость HRC 1500–2400. При столь высоких значениях твердости частицы загрязнителя, неизбежно попадающие в зазор между поверхностями, размалываются, не вызывая процесса микрорезания сопряженных поверхностей. Это позволяет сохранять геометрию уплотняющего зазора на протяжении всего ресурса насоса, что особенно важно для поддержания высокого КПД в насосе типа 313 и их аналогах.

Таким образом, для насоса типа 313 (160 см³/об, 1200 об/мин) обоснованы геометрические размеры окон питания: диаметр отверстий 15 мм и диаметр их расположения 48 мм, которые обеспечивают допустимую скорость рабочей жидкости (2–3 м/с) и исключают возникновение кавитации. Для сохранения необходимого усилия прижима блока цилиндров к распределительному диску рекомендуется применять окна площадью 0,45–0,5 площади цилиндра. Соотношение ширины уплотняющих поясков 0,8 и использование бронированных поверхностей твердостью HRC 1500–2400 обеспечивают равномерный износ деталей и поддержание высокого КПД насоса в течение всего срока эксплуатации.

Список использованных источников

1. Башта, Т. М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем: учебник для вузов по специальности «Гидропневмоавтоматика и гидро-привод». – М.: Машиностроение, 1974. – 606 с.
2. Андреевец, Ю. А. Объемные гидро- и пневмомашины : пособие для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной и заочной форм обучения / Ю. А. Андреевец. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 97 с.
3. Янкович, Д. М. Моделирование проточной части нагнетательного канала аксиально-поршневого насоса при входе/выходе в рабочую камеру [Электронный ресурс] / Д. М. Янкович ; науч. рук. Ю. А. Андреевец // МИТРо 2023 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : тезисы докладов научно-технической конференции студентов и молодых ученых / Гомель, 6 декабря 2023 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 118.

УДК 621.22(075.8)

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТИ РОТОРОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Тарун П. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

Реферат. *В статье произведен анализ конструктивных вариантов валов и их особенностей, направляющих подшипников и уплотнений центробежных насосов.*

Ключевые слова: центробежный насос, вал, подшипники качения, подшипники скольжения, торцевые уплотнения, бесконтактные уплотнения.

Центробежные насосы широко применяются в системах водоснабжения, энергетике и химической промышленности. Их надёжность и ресурс в значительной степени определяются тремя взаимосвязанными узлами: валом, подшипниками и уплотнениями. От конструктивного исполнения этих элементов зависят виброустойчивость, герметичность, КПД и межремонтный период работы насоса.

Конструктивные особенности валов центробежных насосов. Вал передаёт крутящий момент от двигателя к рабочему колесу. По расположению колеса относительно опор различают консольную и межопорную схемы. При консольном расположении (рис. 1) колесо находится на конце вала, что упрощает конструкцию корпуса и подвод жидкости, но создаёт изгибающие нагрузки [1, 2, 3].

При межопорном расположении (рис. 2) колесо размещается между подшипниками, что повышает жёсткость и снижает нагрузки на опоры, однако усложняет конструкцию.

В одноступенчатых насосах общего применения чаще используется консольное расположение. В многоступенчатых насосах валы имеют значительную длину и оснащаются шпоночными пазами, поэтому применяется межопорное расположение. Ротор в сборе подвергают динамической балансировке для снижения вибраций. В погружных насосах применяют валы уменьшенного диаметра и плавающие посадки рабочих колёс, что позволяет разгрузить вал от осевых сил. Валы изготавливают из углеродистых или легированных сталей.

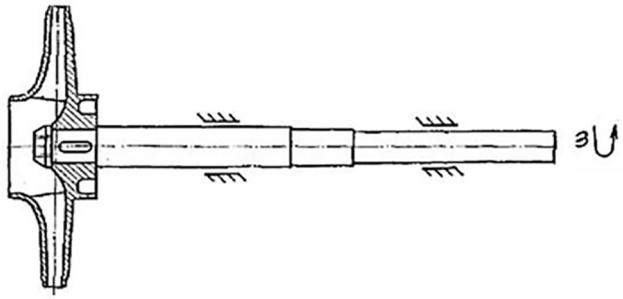


Рисунок 1 – Схема консольного расположения рабочего колеса на валу насоса

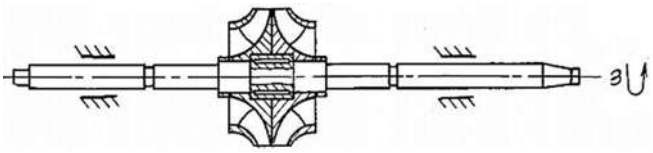


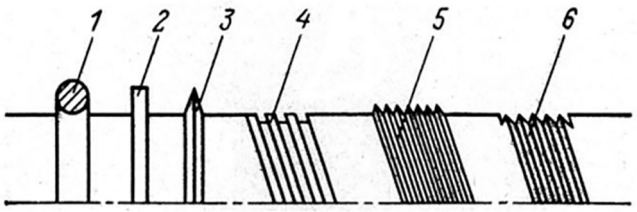
Рисунок 2 – Среднее расположение рабочего колеса на валу насоса

В зоне контакта с уплотнениями устанавливают сменные защитные втулки, предотвращающие износ основного металла.

Подшипниковые опоры. Подшипники воспринимают радиальные и осевые нагрузки, обеспечивая вращение вала с минимальными потерями на трение. В центробежных насосах применяют подшипники качения и подшипники скольжения.

Подшипники качения (шариковые, роликовые, радиально-упорные) просты в монтаже и обслуживании, используются в насосах средней мощности. Подшипники скольжения, изготавливаемые из бронз, баббита или металлокерамики, применяют в высокоскоростных и тяжелонагруженных насосах благодаря способности демпфировать вибрации.

Смазка может быть консистентной (при умеренных нагрузках) или жидкой с принудительной циркуляцией (в мощных агрегатах). Для защиты подшипников от загрязнений и утечек смазки используют маслоотражатели (рис. 3) и лабиринтные уплотнения (рис. 4). Осевые нагрузки воспринимаются радиально-упорными подшипниками; в многоступенчатых насосах дополнительно применяют гидравлические или механические разгрузочные устройства.



1 – кольцо; 2 и 3 – буртики;
4, 5, 6 – маслоотражатели активного действия в виде резьбы различного профиля

Рисунок 3 – Виды маслоотражателей



а б

Рисунок 4 – Принципиальная схема бесконтактных уплотнений:
а – щелевого вида; б – лабиринтного вида

Контактные уплотнения работают за счёт силового прижатия уплотнительных элементов. Сальниковые уплотнения представляют собой мягкую набивку, поджимаемую втулкой; они допускают регулировку, но требуют периодического обслуживания. Торцевые (механические) уплотнения состоят из пары высокоточных колец – подвижного и неподвижного. Кольца изготавливают из карбида кремния, углерод-графита или карбида вольфрама; поджатие осуществляется пружиной. Торцевые уплотнения обеспечивают практически полную герметичность и длительный срок службы.

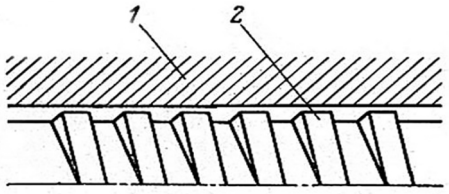
Передние уплотнения рабочих колёс, предотвращающие переток жидкости с выхода на вход, выполняют в виде сменных щелевых или лабиринтных колец (рис. 6 и 7). Это позволяет восстанавливать зазоры заменой колец без замены корпуса или рабочего колеса.

Таким образом, оптимальная работа центробежного насоса достигается комплексным выбором конструктивных решений. Среднее расположение колеса между опорами на валу устраняет недостатки консольной схемы, но консольная схема конструктивно проще. Применение радиально-упорных подшипников качения или подшипников скольжения, а также механических

Уплотнения центробежных насосов. Уплотнения предотвращают утечки рабочей жидкости и попадание загрязнений в полость насоса. Разделяют уплотнения неподвижных соединений (фланцы, крышки) и подвижных соединений (концевые уплотнения вала).

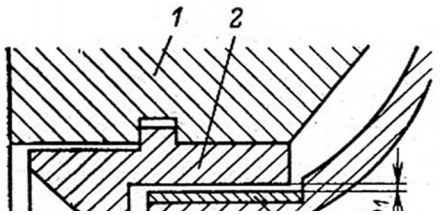
Неподвижные соединения герметизируют прокладками из резины, паронита, фторопласта или металла в зависимости от среды, давления и температуры.

Концевые уплотнения вала подразделяют на бесконтактные и контактные. Бесконтактные (щелевые, лабиринтные (рис. 4), винтоканавочные (рис. 5)) не имеют трения деталей, что обеспечивает практически неограниченный ресурс, однако не гарантируют полной герметичности. Они применяются при умеренных давлениях или в качестве вспомогательных уплотнений .



1 – корпус;
2 – винтовая нарезка на валу

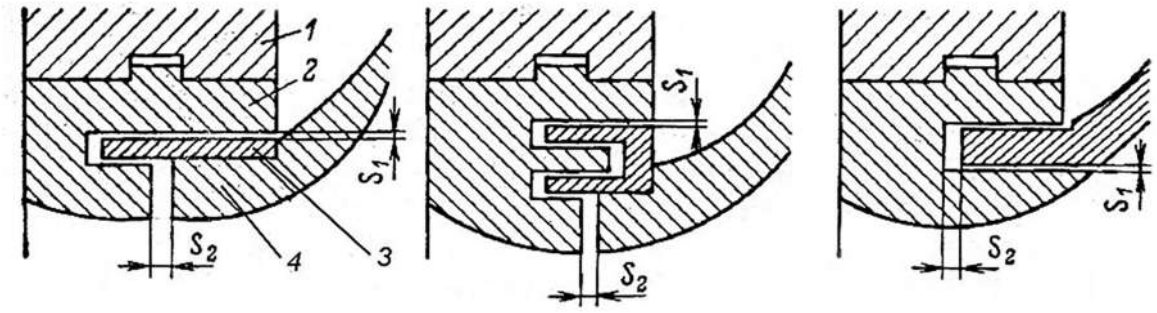
Рисунок 5 – Схема динамического бесконтактного уплотнения винтоканавочного типа



1 – корпус насоса;
2 и 3 – уплотнительные кольца;
4 – рабочее колесо

Рисунок 6 – Переднее уплотнение центробежного насоса щелевого типа

или лабиринтных уплотнений определяется требуемой мощностью, надёжностью и условиями эксплуатации агрегата.



1 – корпус насоса; 2 и 3 – уплотнительные кольца; 4 – рабочее колесо

Рисунок 7 – Переднее уплотнение центробежного насоса лабиринтного типа

Список использованных источников

1. Перевощиков, С. И. Конструкция центробежных насосов (общие сведения): учебное пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – 228 с.
2. Аникин, Ю. В. Насосы и насосные станции : учебное пособие / Ю. В. Аникин, Н. С. Царев, Л. И. Ушакова ; научный редактор В. И. Аксенов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. – 138 с.
3. Михайлов, А. К. Лопастные насосы: теория, расчет и конструирование / А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. – Москва: Машиностроение, 1977. – 287 с.

УДК 62-82(075.8)

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ МЕТОДОВ МИНИМИЗАЦИИ ШУМОВОГО ПОТОКА ГИДРОСТАНЦИИ

Астапенко И. А., студ. Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

Реферат. *В данной работе исследованы основные источники шума в гидроприводах и эффективные способы их минимизации. Рассматриваются механизмы возникновения вибраций и акустических волн, вызывающих шум в процессе работы гидропривода. Анализируются современные методы шумоподавления.*

Ключевые слова: гидропривод, шумоподавление, вибрации, обрабатывающий центр, демпфирование.

Гидроприводы являются частью обрабатывающих центров. В процессе эксплуатации они создают шумовой поток и вибрации, что негативно влияет на комфорт операторов и срок службы машин. Поэтому снижение уровня шума и вибраций в гидроприводах становится одной из актуальных задач современной промышленности. Для решения этой проблемы применяются различные методы гашения вибраций и шумоподавления [1].

Возникновения шума определяется генерацией колебаний в упругой среде. По типу источника различают механический (корпусный), гидравлический или акустический шумы. В гидроприводах шум генерируется различными источниками, передается разнообразными путями и в итоге излучается и поглощается разными поверхностями (рис. 1).

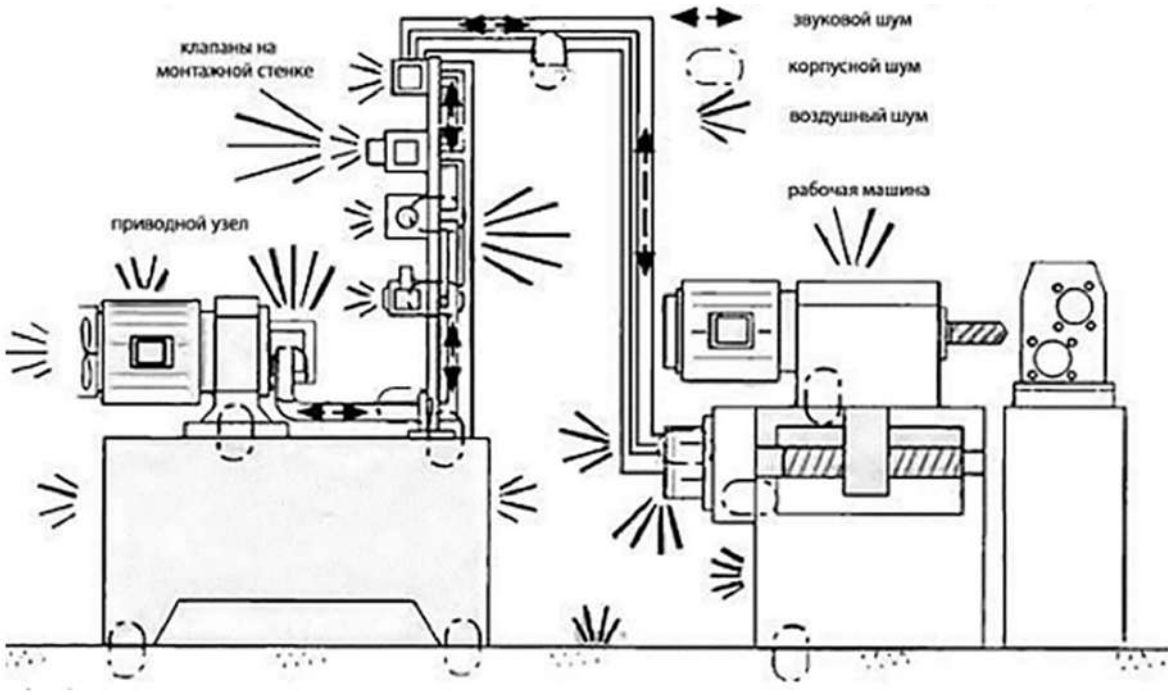


Рисунок 1 – Акустические источники в гидроприводе и системах управления

Основной вклад в спектр акустических колебаний гидромашин вносят вибрации нагруженных деталей (с учетом наличия конструктивных, технологических зазоров, а также их эволюция как следствие износа): модуль ходовой части (блок цилиндров с плунжерами), вал, узел регулирования, подшипники. Эти вибрации, как правило, являются первопричиной пульсации расхода и давления на выходе насоса. Следующими по мере вклада в генерацию акустических колебаний являются распределительные, предохранительные и дроссельные устройства гидропривода. Источником колебаний является изменение локальной скорости потока (рис. 2).

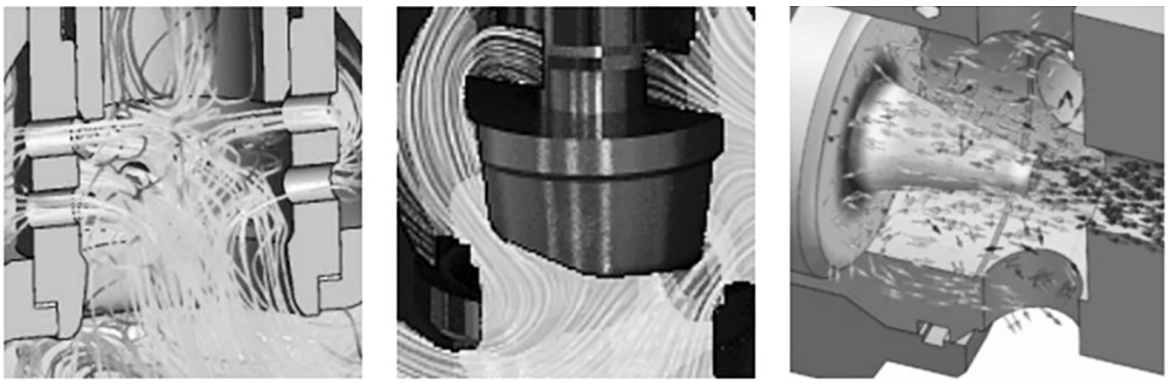


Рисунок 2 – Основные места генерации колебаний, формирующих шум

Ротационный шум генерируется циклическим повторением (как правило, вращением) воздействий элементов рабочего органа (ротора) на жидкость. Чередующиеся области уплотнения и разрежения потока рабочими элементами ротора (лопастями, лопатками, лепестками) формируют колебательный процесс, пропорциональный скорости вращения ротора и количеству лопастей.

Шум неоднородности потока можно рассматривать как частный случай ротационного. Различие заключается в степени неоднородности потока рабочего тела, поэтому силовой базис генерации вибраций носит дипольный характер. При этом возникают дополнительные силы реакции, связанные с разницей локальных скоростей потока по плоскости колеса. Шум отрывных течений генерируется пульсацией вихрей на границах обтекаемых конструктивных элементов. Вихри могут быть образованы как обтеканием твердых тел, так и движением твердых тел внутри потока.

Шум потока возникает при перемешивании отдельных струй потока с различными скоростями. Этот тип вибраций имеет квадрупольный характер. Акустическая мощность потока зависит от режима течения (дозвукового, сверхзвукового или гиперзвукового). Определяющей характеристикой режима течения является число Маха – аэродинамический параметр подобия.

Шум автоколебаний упругих элементов конструкций – это компонент вибраций механической системы в гидравлических системах: вибрации стенок, автоколебания запорной арматуры, в том числе при увеличении зазоров в подвижных соединениях или деформациях уплотняющих прокладок.

Сложение колебаний ротора насоса, вызванных пульсацией расхода и давления, с колебаниями ротора электродвигателя, являющимися следствием взаимодействия магнитных сил, образует колебания, влияющие на уровень звука и вибрацию насосной установки. Для демпфирования этих колебаний применяем соединительную муфту с упругим элементом.

Устанавливаем насос в гидробак, что уменьшает вибрацию, шум и улучшает условия всасывания насоса. Так же насосный агрегат может устанавливаться на виброизолирующие опоры. Это уменьшает передачу вибраций на корпус гидростанции. Так же стенки бака часто имеют шумопоглощающие вставки, это снимает структурный шум при работе оборудования

Основными источниками шума гидроаппаратуры являются: механические вибрации элементов управления и регулирования (расхода, давления), вызванные воздействием гидродинамических сил потока; удары, связанные с переключением распределительных золотников и срабатыванием электромагнитов; турбулентность рабочей жидкости (при высоких скоростях потока), кавитация (при наличии в жидкости незначительного количества воздуха и воды).

Шумовые характеристики проверяются при работе станка на холостом ходу и под нагрузкой в соответствии с методами установленными ГОСТ 31277 и ГОСТ 12.2.107.

Гидростанция обрабатывающего центра устанавливается в цеховом помещении, поэтому при проектировании обязательно предусматривать конструктивные меры по снижению шумности. Снижение шума гидропривода обрабатывающего центра (рис. 3) достигается применением демпфирующих материалов (сильфонное уплотнение), правильным выбором диаметра условного прохода гидроаппаратов (расход гидроаппаратов соответствует подаче насоса), резиновых уплотнений (эластичные уплотнения между деталями конструкции), звукоизоляции (гидростанция устанавливается отдельно и имеет защитный экран) и оптимизацией работы. Комплексный подход улучшает акустический комфорт, увеличивает срок службы оборудования и создает безопасные условия труда, что повышает эффективность и надежность производственного процесса.

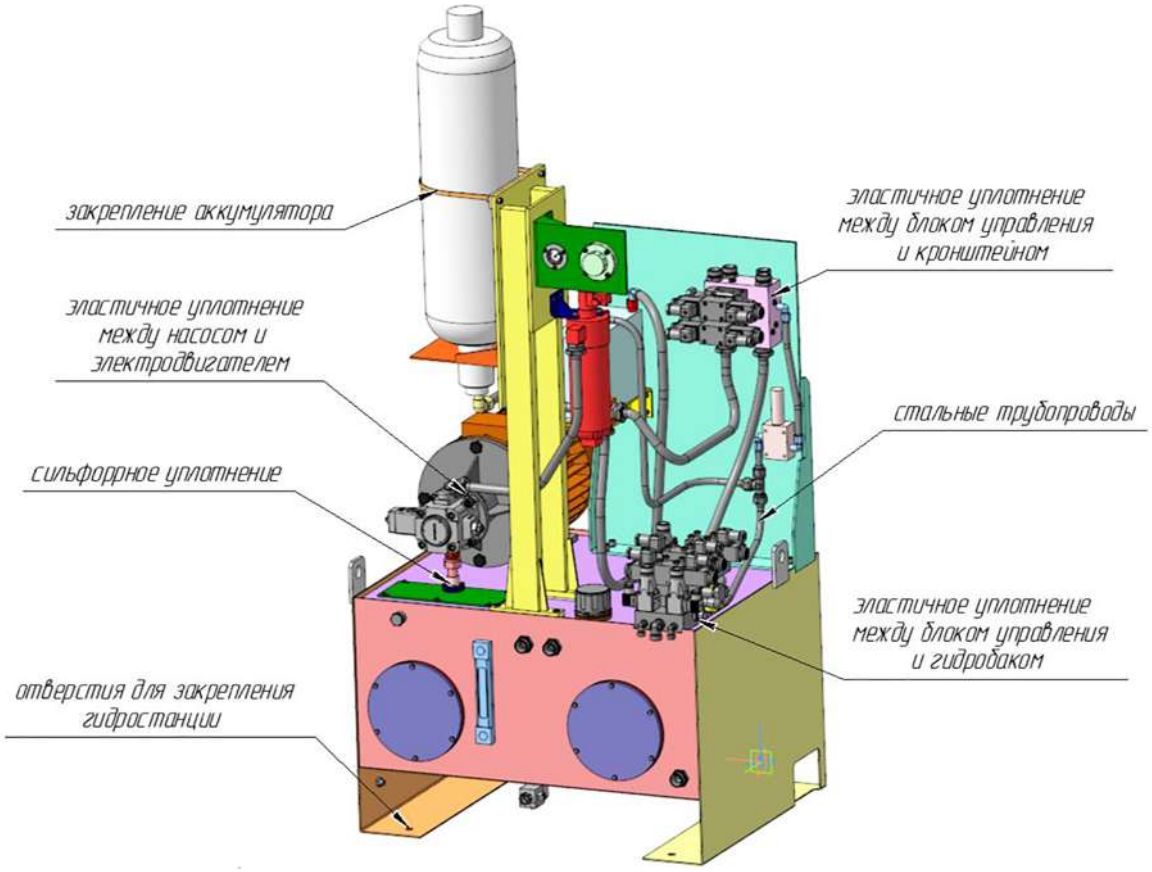


Рисунок 3– 3D-модель гидростанции обрабатывающего центра

Применяемые конструктивные меры по снижению шума, генерируемого гидросистемой, позволяют снизить шум до допустимых пределов до 80 дБА для 8-часового дня.

Список использованных источников

1. Андреевец, Ю. А. Теория и проектирование гидропневмосистем : пособие для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной формы обучения / Ю. А. Андреевец. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2019. – 285 с.

УДК 621.22(075.8)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ПОЛОЖЕНИЕ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ ПРИ ПОДБОРЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Шатон Д. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

Реферат. *В данной работе произведено исследование влияния плотности перекачиваемой рабочей среды в системе транспортировки жидкости на примере воды и нефти, определено как изменяется положение рабочей точки при пересчете характеристики центробежного насоса с воды на жидкость с другой плотностью и как это влияет на потребляемую мощность и КПД.*

Ключевые слова: плотность рабочей жидкости, гидросистемы транспортировки жидкостей, центробежный насос, рабочая точка.

Необходимость внедрения и использования энергосберегающих технологий в производственных процессах диктуется как экономическими, так экологическими факторами: дефицитом энергетических и топливных ресурсов и высокой энергоемкостью их продукции, требованиями по сокращению валового потребления условного топлива и уменьшению выброса в атмосферный воздух парниковых газов. В структуре себестоимости услуг транспортировки жидкостей (водоснабжение и нефтеперекачка) до 50–60 % стоимости приходится на долю электроэнергии, затраченной на транспортирование рабочей среды. Одним из основных направлений рационального использования энергетических ресурсов при этом является оптимизация режимов работы оборудования по виду перекачиваемой среды и обоснованный выбор насосного оборудования по максимальному КПД [1].

Рабочая характеристика центробежного насоса необходима для выбора агрегатов, подходящих для работы в гидравлической системе с заданными параметрами, включая вязкость и плотность жидкости. Однако в технической документации центробежных насосов, в том числе и для транспортировки нефти и нефтепродуктов, содержатся рабочие характеристики, полученные при перекачивании воды. Определение рабочей точки позволяет [2]:

1) узнать фактические параметры работы насоса (Q, H) в конкретной системе;
2) проверить, работает ли насос в зоне максимального КПД;
3) определить потребляемую мощность и избежать перегрузки электродвигателя;
4) спрогнозировать возможность возникновения кавитации.

Целью работы является выявление и анализ взаимосвязи между плотностью перекачиваемой жидкости и положением рабочей точки центробежного насоса, а также оценка последствий этого влияния для безопасной и эффективной эксплуатации насосного оборудования.

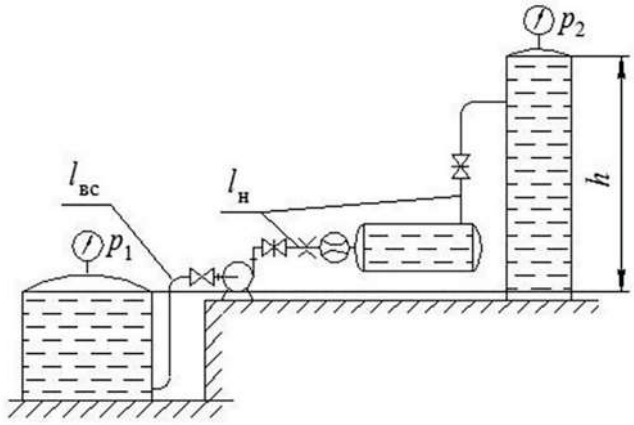


Рисунок 1 – Схема гидросистемы транспортировки жидкости

В гидросистеме (рис. 1) насос перекачивает легкую нефть с температурой t = 20 ºС из приемного резервуара в напорный на высоту h = 15 м, в количестве Q = 26 л/с. Избыточное давление в приемном резервуаре равно p_1 = 1,7 атм., а в напорном резервуаре равно p_2 = 2,8 атм. Длина всасывающей линии составляет l_{BC} = 50 м; длина нагнетательной линии l_H = 350 м. На всасывающем и нагнетательном трубопроводах имеются местные сопротивления.

При расчете трубопроводной системы определен потребный напор и выбран центробежный насос КМ100-80-160Е. Однако в технической документации данного центробежного насоса содержатся рабочие характеристики, полученные при перекачивании воды [3]. Рекомендуемый диапазон работы для насоса КМ100-80-160Е по расходу от 17 до 33 м³/ч, по напору – от 29 до 41 м. Рекомендуемый диапазон работы по плотности – от 800 до 1000 кг/м³. Пренебрежение этим может привести к работе насоса в неоптимальном или аварийном режиме.

Для того, чтобы определить расположение рабочей точки нужно совместить характеристики насоса $H = f(Q)$ и сети $H_{ПОТР} = f(Q)$ на одном графике. Точка пересечения этих характеристик и будет являться рабочей точкой насоса, проецируя её на оси координат можно определить напор насоса и его подачу при работе в данной трубопроводной системе.

В результате расчета и совмещения характеристики установки и напорной характеристики выбранного насоса определена рабочая точка $P_{ВОДА}$ при работе на воде (рис. 2 а).

Для перерасчета характеристики можно использовать формулу потребного напора:

$$H_{ПОТР} = h + \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \Delta h_{П.ВС} + \Delta h_{П.НАП},$$

где $\Delta h_{П.ВС}$ и $\Delta h_{П.НАП}$ – потери во всасывающей и напорной гидролиниях.

В результате перерасчета и совмещения характеристики установки и напорной характеристики выбранного насоса определена рабочая точка $P_{НЕФТЬ}$ при работе на нефти легкой (рис. 2 б).

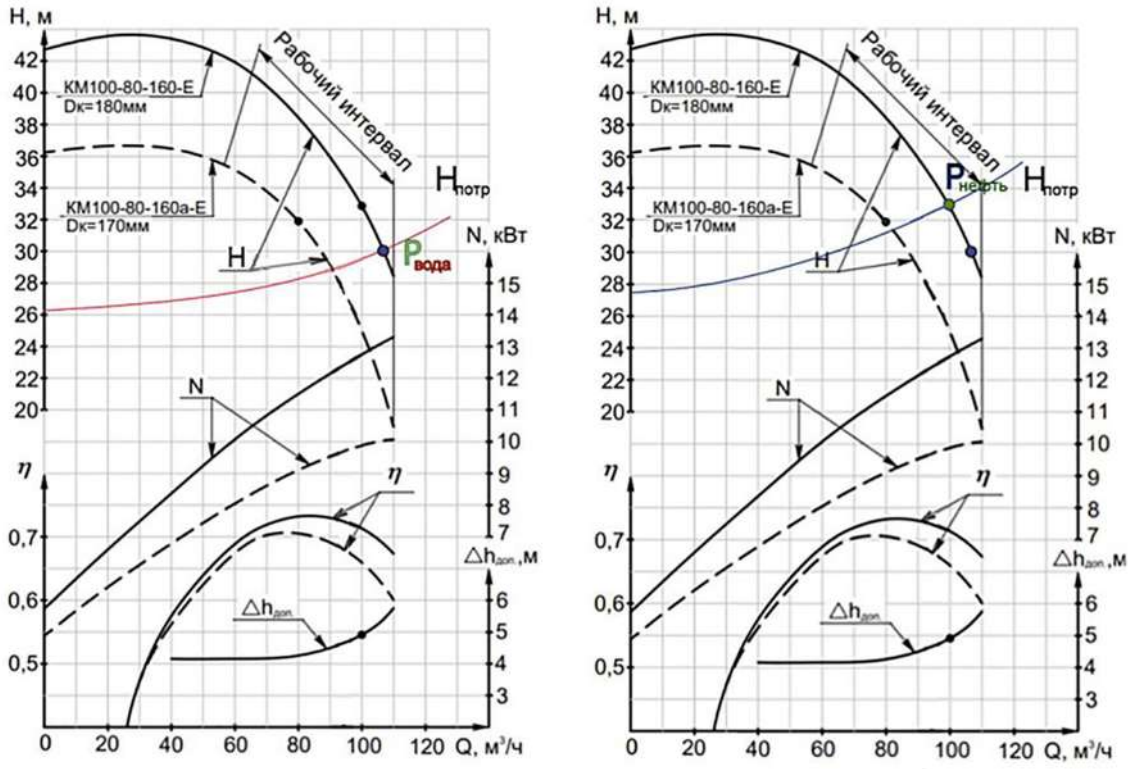


Рисунок 1 – Совмещение характеристик насоса и установки:
а – при работе на воде с плотностью 998,2 кг/м³;
б – при работе на легкой нефти с плотностью 884 кг/м³

При увеличении плотности перекачиваемой жидкости в β раз напорная характеристика центробежного насоса $Q–H$ не меняется, а потребная мощность увеличивается во столько же раз [1].

Определено, что КПД и полезная мощность насоса при работе на воде и нефти легкой при одной и той же заданной температуре не равны (табл. 1). Полезная мощность прямо

пропорциональна плотности жидкости. Это логично, чтобы сообщить одну и ту же энергию (напор) более тяжёлой (плотной) жидкости, требуется больше затрат.

Таблица 1 – Результаты расчета КПД и мощность насоса при работе на разных жидкостях

Вид жидкости	η	$N_{полезн}$, **Вт**
Нефть лёгкая	0,823	7288
Вода	0,827	7413

При использовании жидкости со слишком большой плотностью, насос будет работать с перегрузкой, которая выведет оборудование из строя гораздо быстрее. Если использовать со слишком маленькой плотностью, у насоса будет уменьшаться КПД.

При переходе на жидкость с плотностью, отличной от плотности воды, обязателен пересчёт не только мощности электродвигателя, но и ожидаемых рабочих параметров (подачи и напора) для предотвращения перегрузок, снижения эффективности и выхода оборудования из строя.

Таким образом, установлено, что при переходе на жидкость с плотностью, отличающейся от плотности воды, происходит смещение рабочей точки:

– при переходе на жидкость с большей плотностью, чем расчетная, потребный напор сети снижается, что приводит к смещению рабочей точки в зону большей подачи и мощности, создавая риск перегрузки двигателя;

– уменьшение плотности смещает точку в зону более низких КПД.

Следовательно, при работе центробежного насоса в реальных условиях на жидкостях, характеристики которых отличаются от параметров воды обязательно производить пересчет рабочих параметров насоса при изменении плотности жидкости для предотвращения аварийных режимов и обеспечения его долговечной и экономичной эксплуатации

Список использованных источников

1. Наумов, В. А. Влияние плотности жидкости, перекачиваемой пищевым центробежным насосом, на рабочую точку // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. № 5. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-plotnosti-zhidkosti-perekachivaemoy-pischevym-tsentrobezhnym-nasosom-na-rabochuyu-tochku (дата обращения: 4.03.2026). – Текст : электронный.
2. Андреевец, Ю. А. Лопастные машины и передачи: пособие для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной формы обучения / Ю. А. Андреевец – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – 166 с.
3. Руководство по эксплуатации Н49.924.000 РЭ. Электронасосы центробежные консольные моноблочные типа КМ-Е. ОАО «ГМС Насосы». – URL: https://www.hms-livgidromash.ru/upload/iblock/a34/0ip6ytil5nd304s55jh7539w0q5hjkjh/Tekhnicheskoe-opisanie-KR_2.pdf (дата обращения: 4.03.2026). – Текст : электронный.

УДК 681.523(075.8)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ГИДРОСИСТЕМЫ ПРИВОДА РОТОРА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Жуков Д. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

Реферат. *В данной работе исследованы средства диагностики зерноуборочного комбайна, выбор контрольных точек и обоснование важности контроля диагностируемых параметров.*

Ключевые слова: гидросистема, контрольные точки, диагностика, рабочие параметры, жидкость.

Современные роторные комбайны оснащены энергонасыщенными гидросистемами с электронным управлением, что делает невозможным диагностирование «на ощупь» и требует внедрения безразборных методов контроля. Выход из строя гидросистемы комбайна в период уборки приводит к значительным простоям и снижению темпов уборочной компании. Своевременная диагностика позволяет перейти от ремонта машины при выходе из строя к обслуживанию по фактическому техническому состоянию.

Объективные методы диагностики основаны на использовании измерительных приборов. Они предусматривают применение специальных приборов, стендов и другого оборудования, позволяющих количественно измерять параметры гидросистемы и машины в целом, эти параметры постепенно изменяются по мере наработки машины в связи с изнашиванием деталей.

Достоинство объективных методов – информативность, точность и достоверность измеренных параметров гидросистемы, возможность провести запись полученных результатов.

Недостатки объективных методов – необходимость наличия средств измерения (манометр, расходомер, прибор записи параметров и др.), их стоимость, трудозатраты по их установке.

В решении проблемы обеспечения надежной работы гидроприводов постоянно возрастает роль технической диагностики, контролирующей техническое состояние гидропривода в процессе эксплуатации, что позволяет использовать привод оптимальным образом, осуществлять ремонт в кратчайшие сроки [2]. При этом в основе управления техническим состоянием машины и гидросистемы лежит процессный контур (рис. 1).

Входами в этом случае являются управляющие воздействия (команды) оператора. Эти входы обусловливают выполнение определенных операций гидросистемой – процессов. Результатами процессов – выходами – являются новые состояния агрегатов и рабочих органов комбайна. Для осуществления процесса требуется установка встраиваемых средств диагностики, которые позволяют оперативно следить за техническим состояние привода.

Встроенные средства диагностики гидропривода зерноуборочного комбайна предназначены для непрерывного или периодического контроля параметров рабочей жидкости и режимов работы исполнительных органов. Они формируют информационную базу для оперативной оценки технического состояния и позволяют обосновать выбор контрольных точек (мест установки датчиков/штуцеров контроля) при технической диагностике.

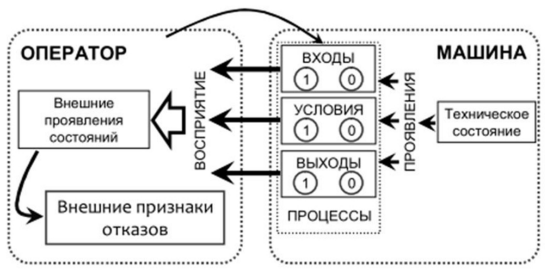


Рисунок 1 – Процессный контур контроля параметров гидросистемы и машины

В практике комбайностроения основными контролируемыми параметрами являются давление, температура, расход, перепад давления на фильтрах, уровень и состояние жидкости, а также косвенные признаки деградации – загрязнённость, кавитационные явления, утечки и снижение объёмного КПД агрегатов.

К таким средствам диагностики относятся датчики давления и сигнализаторы, которые помогают контролировать давление в

напорных магистралях насосных секций, линиях питания гидромоторов, в контуре рулевого управления, в цепях управления/пилотирования и в линии подпитки закрытых контуров. По показаниям давления выявляют: износ насосов (падение максимального давления), неисправности предохранительных и редукционных клапанов (уход уставки, зависание), утечки (внешние/внутренние), рост гидравлических сопротивлений.

Существуют следующие виды датчиков давления и сигнализаторов:

– преобразователи давления (тензорезистивные) с аналоговым выходом (0,5–4,5 В; 4–20 мА) для подключения к бортовому контроллеру;

– электроконтактные манометры или реле давления;

– датчики в пилотных линиях для контроля давления управления.

Они могут размещаться на напорном коллекторе после насоса/насосного блока, линии после предохранительного клапана (контроль уставки и стабильности), линии питания гидромотора ходовой части или молотильно-сепарирующих приводов (если применяются гидромоторы), линии подпитки и слива (косвенная оценка утечек через рост давления/расхода).

Так же используются датчики температуры рабочей жидкости, которые предназначены для контроля теплового режима как интегрального диагностического признака. Перегрев указывает на потери мощности в насосах/гидромоторах, дросселирование, внутренние утечки, загрязнение теплообменника или недостаточную подачу охлаждающего контура. Они подразделяются на следующие виды:

– датчики температуры в баке (маслостанция/гидробак);

– датчики температуры на сливной линии (тепловыделение после прохождения рабочей жидкости по системе);

– датчики на корпусах насосов/гидромоторов (локальный перегрев подшипников, кавитация).

Кроме того, в гидроприводах комбайнов также используются индикаторы засорённости фильтров, которые осуществляют контроль сопротивления фильтроэлементов при засорении и предотвращение работы на байпасе. Рост перепада давления на фильтре – ранний признак загрязнения рабочей жидкости и износа узлов трения. Они могут устанавливаться на напорном фильтре, сливном фильтре, фильтре подпитки гидростатической трансмиссии.

В гидравлических баках и сливных линиях гидросистем комбайнов повсеместно устанавливаются датчики уровня для своевременного выявления утечек, датчик наличия воды (ёмкостный/диэлектрический), датчик загрязнённости/частиц (on-line particle counter) – применяется реже, но наиболее ценен для диагностики по классам чистоты (ISO 4406).

В проектируемом гидроприводе ротора зерноуборочного комбайна КЗК-1119 гидросистема разделена на два контура (рис. 2): гидростатическая трансмиссия Н1-М1 для привода ротора молотильно-сепарирующего устройства с замкнутой циркуляцией рабочей жидкости и высоким рабочим давлением 42 МПа и разомкнутая система привода цилиндра Ц1 переключения скоростей вращения с невысоким давлением.

Параметры работы гидросистемы контролируются в режиме реального времени датчиками, передающими сигнал на бортовой компьютер, а также в системе предусмотрены диагностические точки для подключения контрольно-измерительных портативных приборов во время плановых технических осмотров и ремонта.

Таким образом, встроенные датчики обеспечивают непрерывный мониторинг наиболее значимых параметров $(p, T, \Delta p)$, а переносные комплексы – метрологически более «жёсткую» проверку на выбранных контрольных точках, включая нагрузочные испытания с регистрацией характеристик. В совокупности это позволяет не только фиксировать факт отклонения, но и локализовать дефект до уровня конкретного агрегата (насос, клапан, фильтр, гидромотор/цилиндр), что непосредственно соответствует задачам по определению контрольных точек при технической диагностике гидросистемы зерноуборочного комбайна.

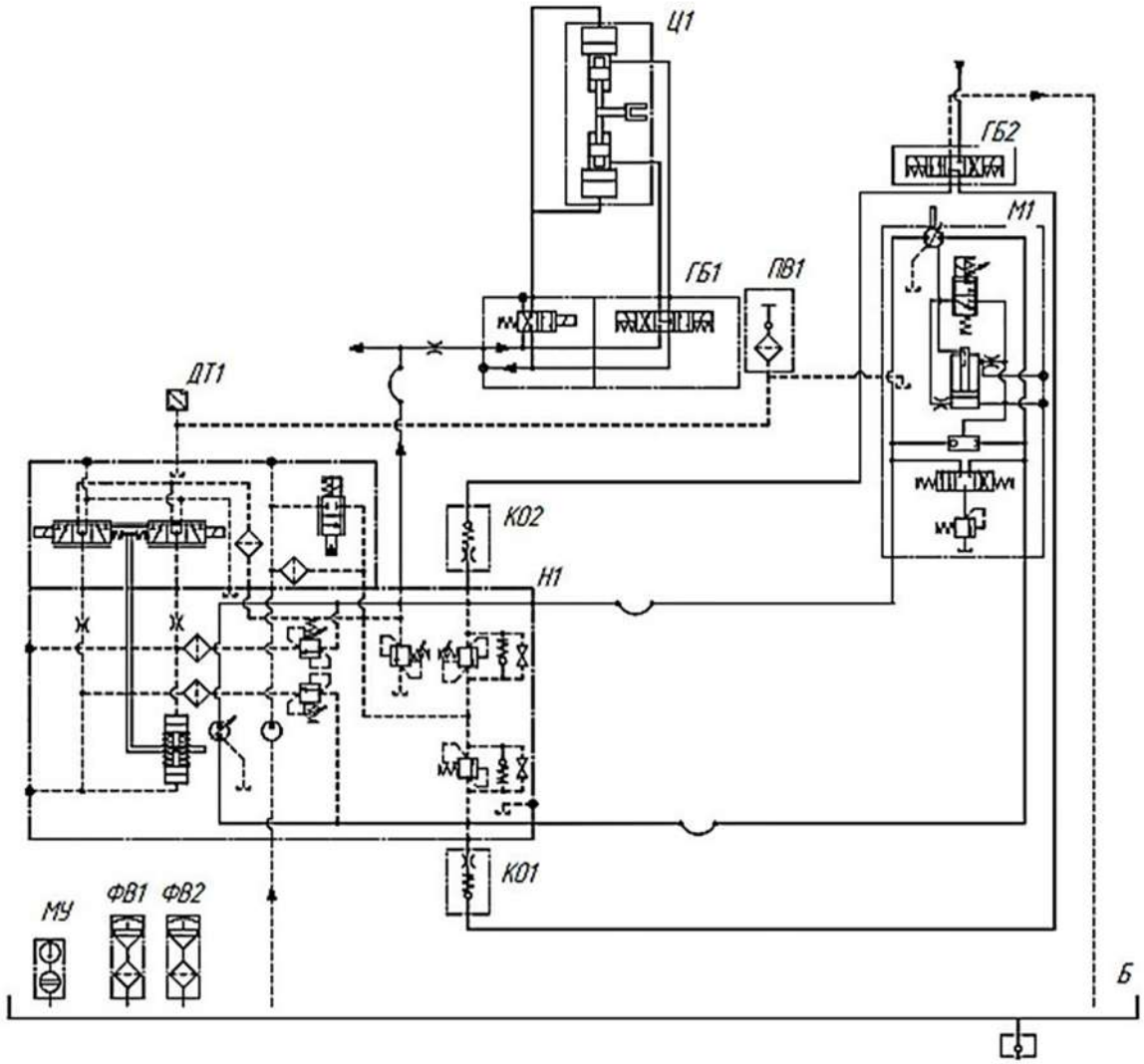


Рисунок 2 – Схема гидравлическая принципиальная гидросистемы привода ротора зерноуборочного комбайна КЗК-1119Р

Список использованных источников

1. Алексеева, Т. В. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т. В. Алексеева, В. Д. Бабанская, Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
2. Харахашян, С. М., Димитров, В. П., Хубиян, К. Л. Диагностирование зерноуборочного комбайна по внешним признакам отказов // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2010. № 3. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/diagnostirovanie-zernouborochnogo-kombayna-po-vneshnim-priznakam-otkazov (дата обращения: 08.03.2026). – Текст : электронный.
3. Стасенко, Д. Л. Техническая диагностика гидропневмосистем : лабораторный практикум для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной и заочной форм обучения / Д. Л. Стасенко, Д. М. Новиков, С. М. Матвеенкова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – 51 с.

УДК 621.22

АНАЛИЗ СИСТЕМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ОПЕРАТОРА ИСТОЧНИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Хоменок Я. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

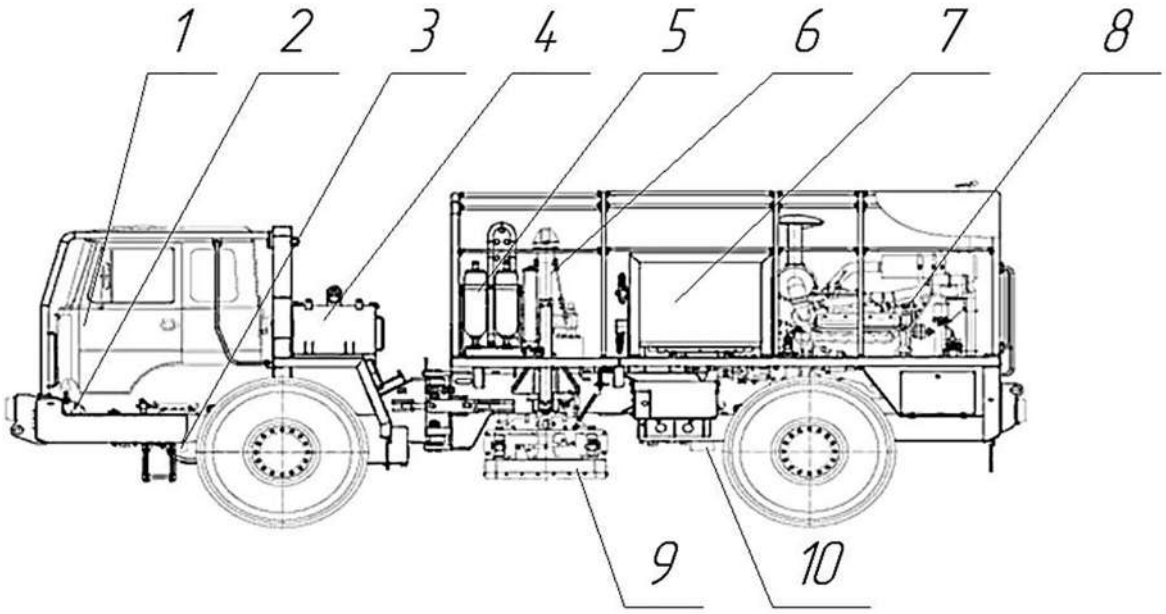
Реферат. *В данной работе произведен анализ методов, используемых в источнике сейсмических сигналов для виброизоляции человека-оператора, а также рассмотрены конструктивные особенности виброзащиты источника.*

Ключевые слова: виброзащита оператора, автоматический контроль виброизоляции, виброзащита источника сейсмических сигналов.

Виброзащита оператора источника сейсмических сигналов крайне важна, с учётом развиваемым рабочим диапазоном частот возбудителя вибрации от 2 до 250 Гц и максимальной амплитудой перемещения реактивной массы 110 мм. При работе возбудителя, вибрации могут негативно сказаться как на операторе, так и на долговечности машины. Согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [1] предельно допустимый уровень вибрации составляет 0,5 м/с^2, в то время как у источника типичное виброускорение при свипе составляет от 100 до 300 м/с^2. Поэтому в источниках предусматривают вибропоглощающие материалы, антивибрационные демпферы и другие конструктивные методы, позволяющие снизить воздействие вибрации как на человека-оператора, так и на конструкцию машины и оборудования.

Общий вид источника представлен на рисунке 1.

В кабинах источника применяются комбинированный (мастично-битумный) материал, который перенял все сильные стороны битумных и мастичных материалов. Преимущества и недостатки материалов представлены в таблице 1.



1 – транспортное средство, 2 – редуктор лебедки, 3,10 – коробки передач, 4 – бак топливный, 5 – коллектор высокого давления, 6 – возбудитель вибрации, 7 – гидробак, 8 – насосная установка, 9 – нажимная плита

Рисунок 1 – Общий вид источника сейсмических сигналов

Таблица 1 – Параметры материалов

Материалы	Преимущества	Недостатки
Мастичные	Высокая вязкость, лёгкий вес, простота монтажа, эластичность	Сравнительно меньшая жесткость
Битумные	Высокая жесткость, отличная виброизоляция в тяжелых зонах	Масса, разогрев при монтаже
Комбинированные	Перенимают вязкость мастики и жесткость битума	Высокая цена, требуют нагрева

Мастично-битумные состоят из фольги, битума, промежуточного клеевого слоя и липкой мастики.

Поскольку комбинированные материалы многослойны, они работают сразу как вибропоглотитель и виброизолятор. Таким образом, мастичный слой не дает колебаниям распространяться по кузову, переводя их энергию в тепловую, а битумный слой упрочняет металл и загоняет резонансную частоту в более низкий спектр [2].

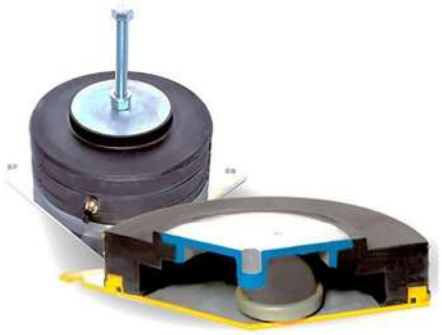


Рисунок 2 – Антивибрационные пневматические опоры

Помимо материалов, в источнике применяется метод автоматического контроля и сигнализации. Это активный метод виброизоляции оператора установки, который обеспечивается пневмоопорами (рис. 2).

Пневматические опоры – это антиколебательные устройства, оснащенные высокопроизводительными пневматическими изоляторами, которые обеспечивают [3]:

– эффективное гашение вибраций пола и оборудования примерно на 90–95 %;
– повышение точности работы оборудования;
– продление срока службы оборудования;
– снижение шума.

Опоры работают в широком диапазоне колебательных нагрузок, обеспечивая при этом надежную низкочастотную пассивную и активную вибро- и шумоизоляцию.

На рисунке 3 показана пневмосистема возбудителя вибрации источника сейсмических сигналов. В линии подвода воздуха к пневмоопорам 10 установлены датчики давления 7, которые при падении давления включают сигнальную лампочку на панели в кабине источника, и вентили 9, позволяющие проверять давление воздуха в каждой группе пневмоопор, а также при необходимости выпускать воздух из них. После накачивания пневмоопор 10 краны 6 необходимо закрыть [4].

В источнике сейсмических сигналов также предусматривается различная пассивная защита в виде:

1) виброизолированного кресла для оператора, которое оснащено пневматической системой подрессоривания с возможностью настройки под вес оператора, что позволяет гасить до 70–90 % остаточных вибраций;

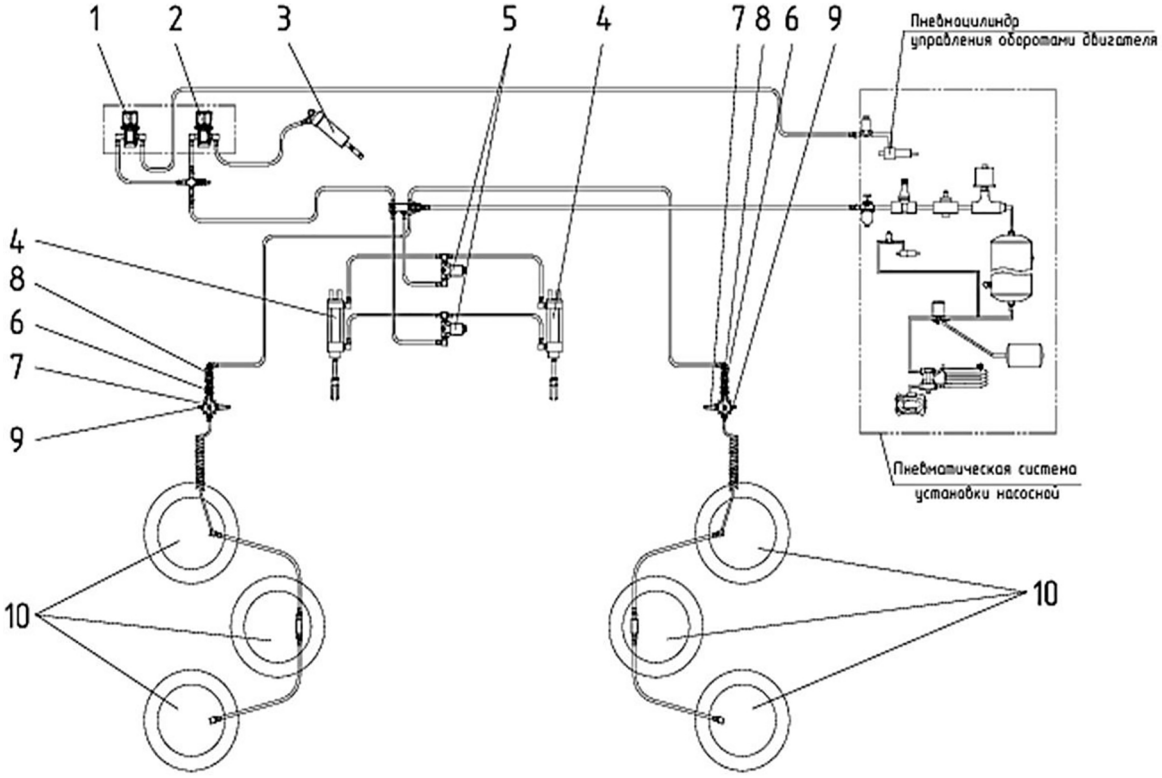
2) подрессоривание кабины обеспечивает отделение кабины от рамы машины и амортизаторами для гашения возникающих колебаний.

Такая пассивная защита направлена на разрыв жесткой связи между источником вибрации (рамой машины) и оператором.

Помимо пассивной и активной защиты, в источнике конструктивно предусмотрены методы, направленные на уменьшение «утечек» энергии в раму машины и соответственно снижений вибрации. Например, на реактивной массе, под которой понимается масса всех частей возбудителя вибрации, совершающих колебательные движения, устанавливаются тяжелые контргрузы, которые уравновешивают движение плиты. Этот же принцип применяется в массе опорной плиты, а это суммарная масса основания опорной плиты, элементов крепления возбудителя вибраций, плунжера гидроцилиндра возбудителя вибраций, половины масс

реактивных тяг, цепей и пневморессор [4].

Таким образом, благодаря этим особенностям обеспечивается значительное снижение вибрации, виброизоляция оператора, а как следствие и безопасность его здоровья и увеличение долговечности оборудования и машины.



1 – регулятор оборотами двигателя, 2 – регулятор расхода насоса,
3 – пневмоцилиндр управления расходом насоса, 4 – пневмоцилиндр управления фиксаторами,
5 – электропневмоклапан, 6 – кран, 7 – датчик давления, 8 – клапан контрольного вывода,
9 – вентиль, 10 – пневмоопора

Рисунок 3 – Пневматическая система возбудителя вибрации

Список использованных источников

1. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4294851/4294851485.htm (дата обращения: 05.01.2026). – Текст : электронный.
2. Каталог фирмы «Стандартпласт». – URL: https://stp-russia.ru/blog/vidy-vibropogloshchayushchikh-materialov-i-ikh-otlichiya/ (дата обращения: 05.01.2026). – Текст : электронный.
3. Каталог фирмы «САГА». – URL: https://vibroopora.com/blog/obzory-vibroopor/antivibratsionnye-pnevmaticheskie-opory/ (дата обращения: 05.01.2026). – Текст : электронный.
4. Каталог фирмы «Сейсмотехника». – URL: https://seismo.by (дата обращения: 05.01.2026). – Текст : электронный.

УДК 621.22(075.8)

ВЛИЯНИЕ ВИДА БЕСКОНТАКТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ НА КПД ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Кузменков С. С., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П .О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

Реферат. *В данной работе произведен анализ видов бесконтактных уплотнений, применяемых в центробежных насосах, анализ влияния геометрии бесконтактных уплотнений на коэффициент полезного действия центробежных насосов.*

Ключевые слова: бесконтактные уплотнения центробежных насосов, объемный коэффициент полезного действия, зазоры в уплотнении, утечки жидкости через зазоры.

Эффективность работы центробежных насосов, которые используются для транспортировки жидкостей по трубопроводам, характеризуется объёмным коэффициентом полезного действия (КПД).

Объёмные потери (утечки) возникают из-за наличия радиальных и осевых зазоров между рабочим колесом и корпусом центробежного насоса при перетекании жидкости из зоны повышенного давления в полость всасывания, а также из-за утечек среды через уплотнения. Увеличение объёмного КПД центробежных насосов достигается применением уплотнений и созданием повышенного гидравлического сопротивления в направлениях возможных перетоков и утечек. В центробежных насосах чаще всего применяют бесконтактные уплотнения из-за их конструктивной простоты, надежности и ремонтопригодности [1].

В бесконтактных уплотнениях гидравлическое сопротивление создается благодаря применению многократно чередующихся последовательно расположенных щелей и расширительных камер. В настоящее время для уплотнения зазоров используют щелевые, лабиринтные уплотнения и уплотнения с плавающими кольцами (рис. 1).

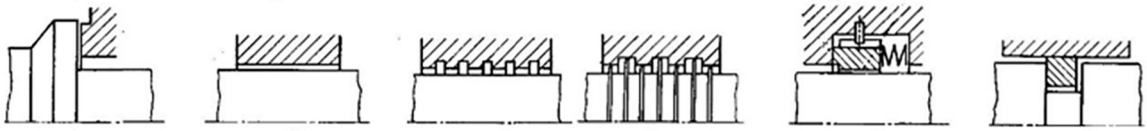


Рисунок 1 – Виды бесконтактных уплотнений:
а – с торцовой щелью; б – с радиальной гладкой щелью; в – с кольцевыми канавками;
г – лабиринтного типа; д, е – с плавающими кольцами

В щелевых и лабиринтных уплотнениях радиальный зазор δ строго определен, т. к. его минимальный размер должен исключать контакт вращающегося и неподвижного колец уплотнения (рис. 2). Величина этого зазора составляет 0,25–0,45 мм с учетом влияния на вибрационное состояние ротора. Величина радиального зазора оказывает прямое влияние на утечки, возникающие при постоянном перепаде давления уплотняющей среды. Чем выше значение радиального зазора, тем больше утечки [1].

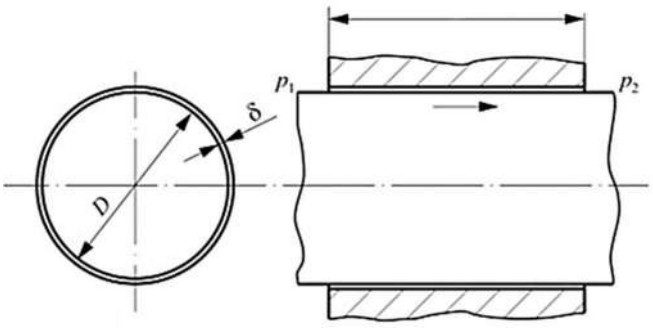


Рисунок 2 – Кольцевая щель с малым зазором δ

Наряду с силами гидростатического давления используются гидродинамические

эффекты, создаваемые специально профилированными контактными поверхностями: клиновыми участками, ступенями, гребнями, спиральными канавками, сотами, сферическими выемками (рис. 1 в и 1 г). Выходящие из профилируемых участков вихревые структуры обеспечивают повышение гидравлического сопротивления канала за счет загромождения проточной части, что является положительным фактором для повышения эффективности уплотнения радиальных зазоров в центробежных насосах. Недостатком таких конструкций является сложность профилирования поверхностей уплотнительных колец, изготовляемых из высокотвердых износостойких материалов [2].

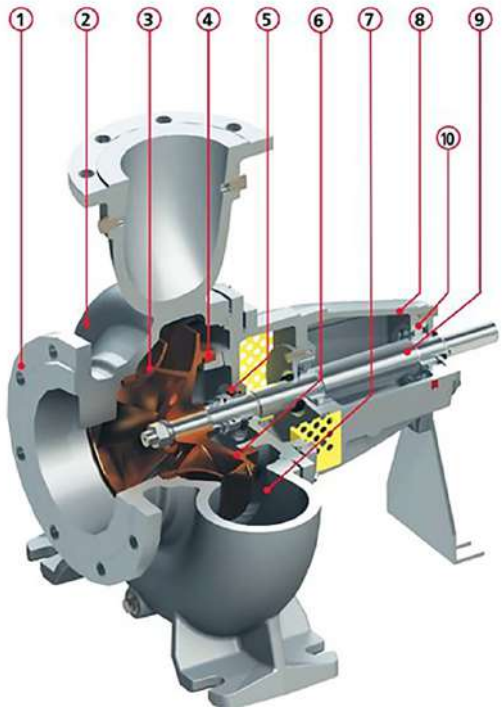
Механизм утечки через щелевые уплотнения определяется закономерностями течения жидкости через макрозазоры. Расчёт утечек через щелевые уплотнения основан на моделировании потока как серии последовательных дросселирований через отверстия с промежуточными камерами расширения. Наиболее широко применяется модель Мартина, предполагающая полное рассеивание кинетической энергии в каждой камере [3].

Основное уравнение расхода через уплотнение:

$$q_K = k_p \cdot S_З \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot H_{У.К.}},$$

где q_K – массовый расход через уплотнение; k_p – коэффициент расхода; ρ – плотность рабочей среды; $S_З = \pi \cdot D \cdot \sigma$ – площадь кольцевого зазора; $H_{У.К.}$ – напор, теряемый в уплотнении колеса.

Для проектируемой гидросистемы транспортировки технической воды с одновременным ее охлаждением и очисткой произведен выбор центробежного насоса типа Kordis KR ОАО «ГМС Ливгидромаш» KR 150-125-200 с подачей 95 л/с и напором 38 м при частоте вращения 2900 об/мин [4].

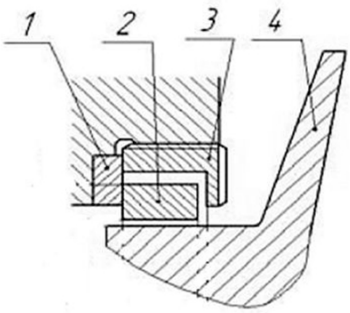


1 – фланец; 2 – корпус; 3 – рабочее колесо;
4 – щелевое уплотнение;
5 – сальниковое уплотнение вала;
6 – разгрузочные отверстия;
7 – проточная часть;
8 – корпус подшипникового узла; 9 – вал;
10 – подшипники

Рисунок 3 – Центробежный насос типа Kordis

В центробежном насосе типа KR 150-125-200 для предотвращения объемных и гидравлических потерь применяются торцовое уплотнение на валу 5 и бесконтактное уплотнение в виде плавающих колец 4 на переднем и заднем буртах центробежного колеса (рис. 3) [4].

Плавающее кольцо устанавливается в корпусе с радиальным зазором (около 1 мм) и гарантированным минимальным зазором (до 2–3 мкм) по валу и имеет торцовый контакт с корпусом уплотнения. Торцовые поверхности корпуса и втулки прецизионно притерты (рис. 4). В этом случае утечки через уплотнения возможно свести практически до нуля [2].



1 – опорное кольцо; 2 – плавающее кольцо;
3 – гайка; 4 – центробежное колесо

Рисунок 4 – Конструктивная схема бесконтактного щелевого уплотнения с плавающим кольцом

Способность плавающего кольца центрироваться относительно вращающегося вала благодаря гидродинамическим силам в кольцевой щели позволяет уменьшать радиальные зазоры и тем самым значительно снижать протечки, не опасаясь быстрого механического износа.

При проектировании рабочего колеса были произведены расчеты объёмных потерь в зависимости от вида бесконтактного уплотнения и результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика объёмных потерь центробежного насоса при работе на маловязкой жидкости (вода ρ = 998,2 кг/м^3; ν = 1,006·10-6 м^2/с)

Тип уплотнения	Коэффициент расхода, k_p	Массовый расход через уплотнение $q_к$, л/ч
Гладкая щель	0,85–0,95	0,19
Лабиринтное уплотнение	0,55–0,65	0,13
Уплотнение в виде плавающего кольца	–	утечки через уплотнение практически равны нулю

Исследование влияния утечек позволяют сделать вывод, что уплотнения плавающего типа эффективнее щелевых и лабиринтных уплотнений. В бесконтактных щелевых уплотнениях центробежных насосов, работающих на маловязких жидкостях снизить утечку так же можно за счёт уменьшения щелевого зазора и увеличения длины уплотнения [3].

Таким образом, объёмные потери внутри насоса зависят от типа уплотнительных устройств и являются основным фактором, определяющим объёмный коэффициент полезного действия. В современных насосах объёмный КПД находится в пределах η_0 = 0,96 - 0,98. Общий КПД центробежных насосов определяется большим числом конструктивных, технологических и режимных факторов.

Выбор типа уплотнения проточной полости насоса влияет не только на характеристики и эффективность, но и на работоспособность насоса. В настоящее время продолжается поиск недорогих и технологичных уплотнений, которые позволили бы увеличить ресурс центробежных насосов и обеспечить их эффективную работу.

Список использованных источников

1. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / Л. А. Кондаков [и др.]; под общ.ред. А. И.Голубева, Л. А.Кондакова. – М.: Машиностроение, 1986. – 464 с.
2. Володин, А. Ю. Влияние геометрических размеров бесконтактных уплотнений на КПД центробежных насосов / А. Ю. Володин, В. П. Назаров, Я. Б. Бочерикова // Решетневские чтения. 2014. – № 18.
3. Янкович, Д. М. Проектирование щелевых уплотнений в центробежных насосах и определение щелевых утечек / Д. М. Янкович // МИТРо 2022 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника: тезисы докладов научно-технической конференции, Гомель, 01.12.2022 г / Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2022. – 117 с.
4. Насосы центробежные консольные горизонтальные и агрегаты электронасосные на их основе серии Kordis типа KR: техническое описание. АО «ГМС Ливгидромаш». – URL: https://www.hms-livgidromash.ru/upload/iblock/a32/f8nzwb7vlqc0pjv0mo9gx1akiudf0r23/151-Katalog-KORDIS-2024.pdf (дата обращения: 05.03.2026). – Текст : электронный.

УДК 67.02

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЛИНОВИДНЫХ ДЕТАЛЕЙ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Гордеева Е. П., студ., Преображенский Е. В., к.т.н., доц.
Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), г. Москва, Российская Федерация

Реферат. *В условиях современной конкуренции машиностроительного производства задача выбора оптимального метода изготовления ответственных деталей выходит за рамки простого экономического расчета. Классический подход, при котором деталь передавалась от конструктора к узкопрофильному технологу, сегодня теряет свою актуальность. На примере производства крупногабаритной клиновидной детали «Корпус» из стали 40Х показано, что современный инженер-технолог должен обладать универсальными, кросс-дисциплинарными знаниями. Только комплексный анализ, охватывающий различные технологии машиностроения – от обработки давлением и резания до аддитивного производства – позволяет разработать высокоэффективный технологический процесс.*

Ключевые слова: технологии машиностроения, горячая объемная штамповка, SWOT-анализ, метод конечных элементов.

Мировая промышленность зависит от качества и стоимости используемых в производстве компонентов изделий. Так, в нефтегазовой отрасли для закрепления трубы применяют клиновидные детали, обеспечивающие ее плотный захват [1]. Корпус клина имеет относительно сложную геометрию, поэтому возникают препятствия в выборе способа его изготовления. В качестве материала обычно используется сталь 40Х, следовательно, для получения детали доступно выполнять операции литья, штамповки, сварки и пр. При этом от способа производства будут зависеть сразу несколько важных характеристик. Помимо себестоимости, меняется время и скорость производства, механические и эксплуатационные свойства. Для корпуса клина важно учесть условия окружающей среды (часто работы ведутся при пониженных температурах), надежность и износостойкость. Не последнюю роль играют маркетинговые исследования: от стоимости материала, коэффициента использования металла, отзывов и даже текущего соотношения спроса и предложения будут отталкиваться потенциальные покупатели, делая выбор в пользу одного из конкурирующих производств. Причем важно отметить, что современный технолог при разработке процесса получения детали должен обладать высоким уровнем компетенций, необходимым для поиска рационального решения. Взвешивания преимущества и недостатки, для объективного выбора способа производства необходимо глубоко разбираться в технологиях машиностроения, экономике и менеджменте. Тем не менее, существует достаточно простой инструмент для помощи в выборе стратегии производства – SWOT-анализ.

SWOT-анализ это часть стратегического планирования, позволяющая учесть сильные (Strengths) и слабые (Weaknesses) стороны, возможности (Opportunities) и угрозы (Threats) осуществления проекта. Благодаря ему на основе выбранных целей и выявленных факторов удается получить наиболее благоприятный метод для достижения поставленных задач [2].

Обычно к сильным сторонам относят информацию о состоянии компании и использования ресурсов, то есть наличие высококлассных специалистов, достаточных финансов, патентов на технологию и т. п. В слабостях перечисляют недостатки, например, устаревшее оборудование, нехватка места, низкая квалификация рабочих. Возможности определяются внешними условиями, тенденциями рынка, допустим, правительственными грантами на добычу полезных ископаемых. Наконец, угрозы описывают риски будущих изменений на рынке, среди них можно назвать повышение закупочных цен на материалы, появление новых конкурирующих компаний или законодательных актов, нестабильность цепочек поставок и пр. В данной работе SWOT-анализ предлагается использовать как инструмент технологического предвидения.

Для обоснования выбора технологии изготовления корпуса клина из стали 40Х применены

рекомендации по стратегическому планированию (рис. 1). Традиционно горячая объемная штамповка рассматривается как основной метод производства, как правило, обоснованный экономически и технологически при серийности свыше 1000 штук в год.



Рисунок 1 – Результаты SWOT-анализа в пользу выбора горячей объемной штамповки

Анализ сильных сторон (Strengths) подтверждает этот тезис: процесс обеспечивает высокую производительность, позволяя выпускать до 50 деталей в час. Пластическая деформация формирует направленную волокнистую структуру, которая повышает усталостную прочность изделия иногда на 20–30 % по сравнению со сварными или литыми аналогами [3]. Кроме того, минимальные припуски (2–3 мм) обеспечивают экономию стали на 20 % относительно литейного производства, а точность размеров достигает ±0,5 мм.

Однако профессиональный кругозор современного технолога проявляется в умении критически оценивать и слабые стороны (Weaknesses) внедряемой технологии. Горячая штамповка отличается высокой стоимостью оснастки и крайне низкой технологической гибкостью – малейшее изменение геометрии детали требует переделки дорогостоящих штампов. Кроме того, несмотря на высокую точность поковки, для достижения заданных параметров чертежа все равно требуется финишная обработка на станках с ЧПУ.

Именно анализ внешних угроз (Threats) и возможностей (Opportunities) наглядно демонстрирует, почему современный технолог не может ограничиваться знаниями только в одной узкой области. Развитие альтернативных методов изготовления стремительно меняет правила игры на рынке. Во-первых, появление высокопроизводительных многоосевых станков с ЧПУ и совершенствование режущего инструмента снижают порог рентабельности фрезерной обработки из сплошного проката. Технолог должен уметь грамотно рассчитать точку безубыточности: в какой момент времени дешевле выточить партию клиньев на станке, сэкономив месяцы на проектировании и изготовлении штамповой оснастки, а когда необходимо запускать полноценное кузнечно-штамповочное производство. Во-вторых, серьезную конкуренцию составляют аддитивные технологии. Современный специалист должен понимать перспективы гибридных технологий, сочетающих традиционную штамповку с 3D-печатью металлом. Подобный симбиоз знаний позволяет локально достраивать сложные элементы детали на базовой штампованной заготовке, избегая полной переработки оснастки при модернизации изделия. В-третьих, процессы цифровизации требуют от инженера глубокого понимания компьютерного моделирования процессов. Технолог должен уметь использовать системы класса CAE (для расчета температурных полей, напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов), чтобы избежать брака в виде пережога металла или неравномерного распределения свойств по сечению крупногабаритной детали (рис. 2).

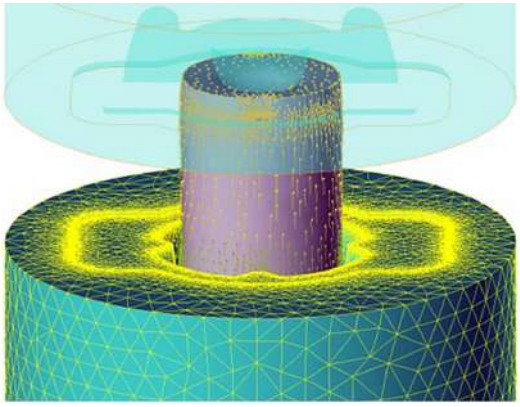


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель процесса штамповки корпуса клина в QForm

Таким образом, разработка технологического процесса для крупногабаритных клиновидных деталей доказывает, что современное машиностроение не терпит технологической изоляции. Безусловно, горячая объемная штамповка остается фундаментальным методом для серийного выпуска подобных изделий, обеспечивая высокие механические свойства и экономию материала.

Однако успешность производства сегодня зависит от того, насколько технолог владеет смежными дисциплинами. Способность интегрировать знания в области обработки давлением, высокоскоростного резания, аддитивных технологий, термообработки и компьютерного моделирования – это ключевая компетенция специалиста новой формации. Именно такое универсальное, системное мышление инженера становится главной движущей силой в развитии технологий и экономики современного общества.

Список использованных источников

1. Попов, С. А. Анализ конструкций и характеристик спайдеров станков геологоразведочного бурения / С. А. Попов, М. Н. Попова // Горное оборудование и электромеханика. 2009. – № 10. – С. 19–22. EDN KWMNGL.
2. Жевак, А. С. Оценка возможности применения 3D печати для производства деталей подвижного состава методом SWOT-анализа / А. С. Жевак, Х. Х. Курбанов, С. В. Жевак // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2025. – № 9. – С. 3–6. EDN BFXQRL.
3. Галкин, В. И. Расчет эксплуатационных свойств деталей в процессе моделирования горячей объемной штамповки / В. И. Галкин, Е. В. Преображенский, Е. Е. Маркелов, Б. Ю. Ященко //Технология легких сплавов. – 2024. – № 4. – С. 66–72. EDN QRBGFY.

UDC 658.7:004

LOGISTICS IN METALLURGY AND INDUSTRIAL TRANSPORTATION SYSTEMS: STRUCTURAL COMPONENTS, CHALLENGES AND QUALITY MANAGEMENT MECHANISMS

Konul Rasim Gasanova, Senior Lecturer
Azerbaijan Technological University, Azerbaijan, Ganja

Summary. *The metallurgy industry represents one of the most logistics-intensive sectors of heavy industry. Effective management of material flows–from raw material procurement to final product distribution–directly influences production efficiency, cost optimization, and international competitiveness. This paper analyzes the structural components of metallurgical logistics, identifies major infrastructural and operational challenges (with particular focus on Azerbaijan), and examines the role of digitalization, multimodal transportation, and quality control systems in improving logistics performance. The study also considers practical industry examples and highlights the importance of integrated quality management in ensuring sustainable industrial development.*

Keywords: metallurgical logistics, inbound logistics, outbound logistics, supply chain management, multimodal transportation, infrastructure, quality management, digitalization.

Introduction. Logistics in metallurgy is a complex system of managing large-scale material flows, beginning with the transportation of raw materials such as iron ore, coking coal, and flux, and ending with the delivery of finished metal products including billets, rebars, and rolled steel to final consumers. Due to the heavy, bulky, and often hazardous nature of these materials, metallurgical logistics must operate under strict safety, efficiency, and coordination requirements.

Unlike light industries, metallurgy requires synchronized interaction between procurement logistics, intra-production material handling, and outbound distribution networks. Any disruption in this chain can lead to production downtime, financial losses, and decreased competitiveness in international markets.

This thesis aims to:

1. Examine the core components of metallurgical logistics.
2. Identify major logistical challenges affecting the sector.
3. Analyze transportation delays and their causes.
4. Highlight the role of quality control and management systems in logistics efficiency.
5. Evaluate the current situation in Azerbaijan's logistics environment.

Inbound logistics involves the transportation and storage of raw materials necessary for metallurgical production. Iron ore, coking coal, and flux are transported primarily via railway and maritime transport due to their heavy volume and cost-efficiency advantages.

Key functions include:

– Bulk cargo transportation from mines to steel plants.
– Warehouse storage and stockpile management.
– Inventory monitoring to prevent production interruptions.

Efficient inbound logistics reduces procurement costs and ensures uninterrupted production cycles.

Intra-logistics refers to internal material handling within the enterprise. This includes:

– Movement of prepared raw materials to blast furnaces and steelmaking units.
– Transfer of semi-finished products to cooling and shaping divisions.
– Continuous inventory tracking across production stages.

Advanced inventory management systems and automation technologies are critical for maintaining workflow continuity. Technologies such as GPS tracking, RFID systems, and digital monitoring platforms increase transparency and real-time decision-making accuracy.

Outbound logistics ensures the delivery of finished goods–such as rolled steel, profiles, rebars, and slabs–to domestic and international markets.

Core activities include:

– Product packaging and loading.
– Temporary warehouse storage.
– Transportation via sea, rail, or road.
– Customs documentation and regulatory compliance.

Balanced use of transport modes significantly reduces delivery time and operational costs.

Despite its strategic importance, metallurgical logistics faces numerous challenges:

Infrastructure Deficiencies

Weak transport infrastructure–especially outdated railway systems, insufficient port capacity, and aging vehicle fleets–reduces operational efficiency. In Azerbaijan, infrastructural limitations remain one of the most significant obstacles to logistics development.

Imbalance of Transportation Modes

Excessive reliance on road transport increases costs and environmental impact. Maritime and railway transportation offer higher cargo capacity and lower cost per ton, yet they are underutilized in many cases.

Multimodal transport systems, although efficient, often suffer from coordination gaps between carriers.

Documentation and Customs Delays

Freight documentation such as the Air Waybill (AWB) and customs declarations require strict compliance. Errors or incomplete paperwork frequently cause shipment delays. Administrative procedures and bureaucratic complexity further increase transportation time.

Weather and Technical Constraints

Sea and air transport may experience disruptions due to adverse weather conditions such as storms, fog, or heavy snowfall. Technical malfunctions and traffic congestion also contribute to delays.

Technological and Human Resource Limitations

Lack of modern logistics software, automation systems, and digital supply chain integration reduces competitiveness. Additionally, shortage of trained logistics professionals limits sectoral growth.

However, the establishment of logistics faculties in Azerbaijani universities is expected to gradually resolve the кадров shortage issue.

Industrial logistics companies such as **AZ Logistika and Management Services** demonstrate the importance of fleet diversification and technological integration in transportation management.

Operating since 2009, the company provides large-scale transportation services in the oil and industrial sectors. Its operational strengths include:

– 24/7 service availability.
– GPS-based fleet monitoring.
– Specialized transport vehicles (tank trucks, semi-trailers, hook loaders, container carriers).
– Project coordination teams ensuring on-time and within-budget execution.

Such examples highlight how fleet modernization and digital tracking systems improve transparency and operational control.

To minimize transportation delays, several logistics strategies are essential:

– Containerization increases cargo safety, accelerates loading/unloading processes, and simplifies multimodal transitions.
– Selecting optimal routes based on cost, distance, and risk analysis enhances efficiency.
– Stable partnerships with global logistics providers improve reliability and access to broader transport networks.
– Accurate demand forecasting and scheduling reduce unnecessary storage and idle time.

Quality control is a fundamental component of industrial logistics. It involves:

– Monitoring operational indicators.
– Comparing performance with established standards.
– Making corrective decisions automatically where possible.

Quality management represents a comprehensive system of administrative, technical, and organizational measures aimed at ensuring compliance with regulatory standards.

However, modern quality assessment methods sometimes fail to incorporate complete data sets, potentially leading to incorrect management decisions. Therefore, integrated quality management systems combining quantitative and qualitative indicators are required.

High-quality performance across production and logistics processes ensures:

– Customer satisfaction.
– Competitive advantage.
– Sustainable industrial growth.

Conclusion. Metallurgical logistics is a strategically important subsystem of heavy industry that requires synchronized management of inbound, intra-production, and outbound processes. Efficient logistics directly influences cost reduction, production continuity, and market competitiveness.

In Azerbaijan, infrastructural limitations, technological gaps, transportation imbalance, and human resource shortages continue to hinder development. Nevertheless, digitalization, multimodal transportation integration, and professional training initiatives provide opportunities for progress.

Future improvements should focus on:

– Infrastructure modernization.
– Digital supply chain integration.
– Expansion of maritime and railway transportation.
– Development of comprehensive quality management systems.

Only through systematic reform and strategic investment can metallurgical logistics achieve higher efficiency and strengthen international competitiveness.

References

1. Christopher M. (2016). *Logistics & Supply Chain Management* (5th ed.). Pearson Education.
2. Bowersox Donald J., Closs David J., & Cooper M. Bixby (2013). *Supply Chain Logistics Management* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
3. Rushton Alan, Croucher Phil, & Baker Peter (2017). *The Handbook of Logistics and Distribution Management* (6th ed.). Kogan Page.
4. Council of Supply Chain Management Professionals (2022). *CSCMP Supply Chain Management*

Definitions and Glossary.
5. International Organization for Standardization (2015). ISO 9001:2015 – *Quality Management Systems – Requirements*.
6. United Nations Conference on Trade and Development (2021). *Review of Maritime Transport.* United Nations Publication.
7. World Bank (2023). *Logistics Performance Index (LPI) Report*.
8. World Trade Organization (2022). *Trade Facilitation and Customs Procedures Guidelines*.
9. Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (7th ed.). Pearson.
10. Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). *Introduction to Logistics Systems Management* (2nd ed.). Wiley.
11. Ballou, R. H. (2004). *Business Logistics/Supply Chain Management* (5th ed.). Pearson Prentice Hall.
12. Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management* (13th ed.). Pearson.

UDC 658.7:004

DIGITALIZATION AND MANAGEMENT OF LOGISTICS PROCESSES IN TECHNOPARKS

Mammadova G. R., PhD, Associate Professor, Mammadova X. M., assistant
Azerbaijan Technological University, Ganja city, Azerbaijan

Abstract. *This article examines the digitalization of logistics processes in technoparks and its impact on operational efficiency and management effectiveness. The study analyzes digital tools, data-driven decision-making, and process optimization models, highlighting their role in improving coordination, reducing costs, and enhancing innovative infrastructure performance.*

Keywords: digitalization, logistics management, technoparks, process optimization, decision-making support

The rapid development of digital technologies has significantly transformed modern economic systems, reshaping the organization and management of logistics processes. In the context of growing competition, globalization, and increasing requirements for efficiency, technoparks play a crucial role as centers of innovation, industrial cooperation, and technological advancement [1]. Their effective functioning largely depends on the optimization and digital management of logistics flow, including material, information, and financial streams [2].

Digitalization introduces advanced tools such as big data analytics, cloud computing, Internet of Things (IoT), artificial intelligence, and integrated information systems, which enhance transparency, coordination, and real-time control of logistics operations. For technoparks, where multiple resident companies operate within a shared infrastructure, digital logistics management ensures resource efficiency, reduces operational costs, minimizes delays, and improves decision-making quality [3]. Despite the growing interest in digital transformation, the specific features of logistics digitalization within technopark structures remain insufficiently explored. This study aims to analyze the role of digital technologies in managing logistics processes in technoparks, identify key challenges and opportunities, and proposes approaches for improving management effectiveness through digital solutions.

The relevance of the topic is determined by the rapid digital transformation of economic systems and the increasing role of technoparks as drivers of innovation and industrial development. In the context of Industry 4.0, digital technologies are becoming a key factor in improving the efficiency, transparency, and sustainability of logistics processes. Technoparks, as complex multi-actor structures integrating production, research, and service activities, require advanced logistics management systems capable of ensuring coordination, flexibility, and real-time control.

The growing volume of material and information flows, the need to reduce operational costs, and the demand for faster decision-making significantly increase the importance of digital tools in logistics management [4]. At the same time, insufficient integration of digital platforms, fragmented information systems, and limited analytical support often reduce the overall performance of technopark infrastructure.

Therefore, the study of digitalization mechanisms and their impact on the management of logistics processes in technoparks is both scientifically significant and practically relevant. It contributes to the development of modern management approaches and supports the formation of competitive, innovative-oriented economic environments [5].

The objective of this study is to examine the role of digital technologies in the management of logistics processes within technoparks and to assess their impact on operational efficiency, coordination, and decision-making effectiveness. The research aims to identify key digital tools and management mechanisms that contribute to the optimization of material, information, and financial flows.

Additionally, the study seeks to develop practical recommendations for improving logistics management systems in technoparks through the integration of digital platforms, data-driven analytics, and intelligent control technologies, thereby enhancing the overall performance and competitiveness of innovation infrastructure.

1. Theoretical foundations of digital logistics management in technoparks

Digitalization of logistics processes represents the integration of advanced information and communication technologies into the planning, organization, coordination, and control of material and information flows. In technoparks, logistics systems are characterized by structural complexity due to the presence of multiple resident companies, shared infrastructure, research centers, warehouses, and service provides [1–3].

From a management perspective, digital logistics is based on system integration, real-time data exchange, and analytical decision-making support. The transition from traditional logistics models to digital platforms enables the creation of unified information environments that synchronize supply, production, distribution, and service operations. As a result, logistics management becomes more transparent, flexible, and adaptive to market changes.

2. Digital technologies applied in technopark logistics

The implementation of digital technologies significantly enhances the efficiency of logistics operations in technoparks. The most relevant tools include:

– Enterprise Resource Planning (ERP) systems, which integrate logistics with financial and production management;

– Warehouse Management Systems (WMS) and Transportation Management Systems (TMS) for optimizing storage and transportation processes;

– Internet of Things (IoT) technologies that enable real-time monitoring of goods, equipment, and infrastructure;

– Big Data analytics and Artificial Intelligence (AI) for demand forecasting, route optimization, and risk assessment;

– Cloud platforms that ensure information accessibility and coordination among technopark residents.

These technologies create a digital ecosystem that supports automation, reduces manual operations, and minimizes errors. In technoparks, where logistics flows are interconnected, digital integration ensures better coordination among participants and improves overall infrastructure performance.

3. Optimization of logistics processes through digital solutions

Digitalization contributes to the optimization of key logistics processes, including procurement, inventory management, internal distribution, and external supply chains. The use of predictive analytics improves inventory planning and reduces excessive stock levels. Automated tracking systems shorten delivery times and enhance reliability. Furthermore, digital dashboards and analytical tools provide managers with real-time performance indicators, enabling faster and more informed decision-making. The integration of digital twins and simulation models allows technopark administrators to evaluate alternative logistics scenarios and select the most efficient solutions.

As a result, operational costs are reduced, service quality improves, and the competitiveness of technopark residents increases. The synergistic effect of digital logistics management strengthens the innovation capacity of the entire technopark ecosystem [4–5].

4. Challenges and prospects of digital transformation

Despite its advantages, the digitalization of logistics processes in technoparks faces several challenges. These include high implementation costs, cybersecurity risks, resistance to organizational change, and insufficient digital competencies among staff. Fragmented information systems and lack of standardization may also limit integration efficiency. However, the long-term benefits – such as increased transparency, process automation, strategic flexibility, and data-driven governance – outweigh these limitations. The development of unified digital platforms, investment in human capital, and adoption of integrated management frameworks will determine the success of digital transformation in technopark logistics.

Overall, digitalization acts as a strategic instrument for modernizing logistics management in technoparks, ensuring sustainable development, operational excellence, and enhanced innovation performance.

The study confirms that digitalization plays a decisive role in improving the management of logistics processes in technoparks. The integration of advanced digital technologies – such as ERP systems, IoT, big data analytics, AI, and cloud platforms – creates a unified information environment that enhances coordination, transparency, and operational control. Digital tools enable real-time monitoring of logistics flows, optimize resource allocation, and support data-driven decision-making.

The findings demonstrate that digital transformation contributes to cost reduction, increased process efficiency, improved service quality, and stronger competitiveness of technopark residents. At the same time, successful implementation requires overcoming challenges related to financial investment, cybersecurity, system integration, and staff digital competencies.

In conclusion, the digitalization of logistics management is not only a technological upgrade but also a strategic factor in strengthening the innovation infrastructure of technoparks. The development of integrated digital platforms and intelligent management models will ensure sustainable growth and long-term effectiveness of technopark ecosystems.

References

1. Гусейнов, Ю. Р., Мамедова, Г. Р., Ахмедова, М. И., Аллахвердиева, А. М., Ализаде, Ш. С., Аскеров, А. Т. Критическое отношение к технопаркам // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2023, – № 3 (411). – С. 74–80.
2. Гусейнов, Ю. Р., Ахмедова, М. И. Управление университетским технопарком: ключевые критерии успеха // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2024, – № 3(411). – С. 65–77.
3. Mammadov, J., Huseynov, Y., Ahmadova, M., Mammadova, G., Askerov, A. Developing a marketing strategy for efficient management of the information environment of the technology park // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2025, – №3 (13 (135)), – P. 26–34.
4. Trillo, J. R., Herrera-Viedma, E., Morente-Molinera, J. A., Cabrerizo, F. J. A large scale group decision making system based on sentiment analysis cluster // Information Fusion. – 2022, – № 91. – P. 633–643.
5. Orujova Gulshan, Agayev Ulduz, Genjeliyeva Gulnara, Ahmadzada Ahmad, Huseynov Yusif, Ahmadova Metanet. Modeling of the innovation construction mobile industrial robot applied in technology park // International Conference Automatics and Informatics (ICAI). Varna, Bulgaria, 2025.

УДК 621.83.06

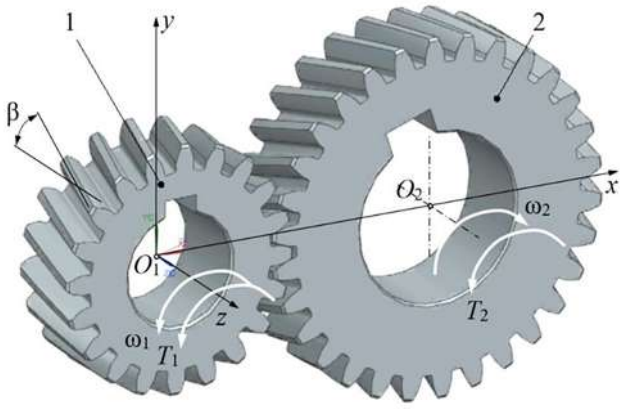
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОСОЗУБОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Коовит В. С., студ., Лустенков М. Е., д.т.н., проф.
Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

Реферат. *Создана модель косозубой цилиндрической зубчатой передачи в системе Siemens NX. В приложении Motion Simulation исследованы ее кинематические и силовые характеристики при постоянном режиме работы с учетом упруго-диссипативных свойств колес и трения в зацеплении. Разработан алгоритм компьютерного моделирования и обработки результатов для оценки среднего КПД передачи при проектировании. Установлены зависимости КПД от коэффициента трения скольжения и угла наклона зубьев.*

Ключевые слова: цилиндрическая зубчатая передача, КПД, компьютерное моделирование, угол наклона зубьев.

Целью исследований являлось определение КПД цилиндрической зубчатой передачи и оценка влияния на него динамического коэффициента трения f и угла наклона зубьев β на основе результатов компьютерного моделирования в системе Siemens NX. По разработанному ранее алгоритму [1] была создана модель косозубой цилиндрической передачи с внешним зацеплением (рис. 1). Модуль m = 2 мм, угол наклона зубьев угол β = 16°, числа зубьев ведущей шестерни z_1 = 20, ведомого колеса z_2 = 30, передаточное число, соответственно u = 1,5.



1 – ведущая шестерня; 2 – ведомое колесо

Рисунок 1 – Косозубая цилиндрическая передача

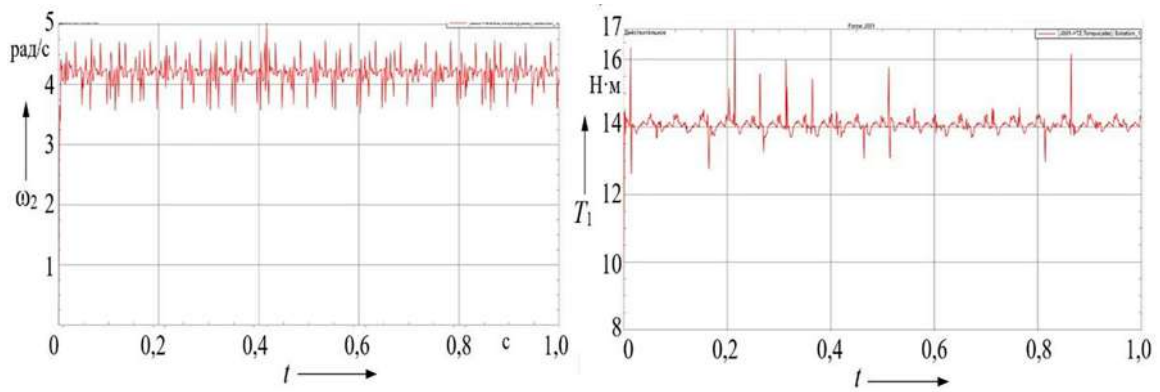
В приложении Motion Simulation в модели было установлено два вращательных шарнира: вращение ведущего колеса (шестерни) относительно стойки с драйвером вращения, обеспечивающим постоянную угловую скорость $\omega_1 = 2\pi$ рад/с, вращение ведомого колеса относительно стойки; смоделирован 3D-контакт между двумя зубчатыми колёсами со следующими параметрами: коэффициент жесткости c = 105 Н/мм, коэффициент демпфирования μ = 10 Н·с/мм, экспонента силы e = 2. Параметры кулоновского трения: статический коэффициент трения f_c = 0,51, динамический коэффициент трения (коэффициент трения скольжения) f = 0,2. Скорость скольжения – 0,1 мм/с, скорость статического трения (сдвига) 0,01 мм/с. К ведомому колесу приложен векторный момент относительно оси вращения, равный по модулю T_2 = 20 Н·м, направленный в сторону, обратную вектору угловой скорости [2]. Для проведения исследования был выбран решатель RecurDyn, время симуляции 1 с, число расчетных точек для построения графика (число решений) N = 900. Определяемыми (расчетными) характеристиками являлись угловая скорость ведомого колеса (рис. 2 а) и момент на ведущей шестерне T_1, необходимый для преодоления постоянного момента сопротивления T_2, приложенного к колесу.

Среднее теоретическое значение угловой скорости ведомого колеса, равное $\omega_{2m} = 2 \cdot \pi / u$ = 4,187 рад/с, подтверждено результатами работы программы, колебания скорости относительно ее среднего значения зависят от заданных параметров 3D-контакта и моделируемых зазоров в зацеплении. Среднее значение момента на ведущей шестерне

составило T_{1m} = 14,1 Н·м, что соответствует среднему КПД η = 0,95. КПД вычислялся согласно зависимости [3]

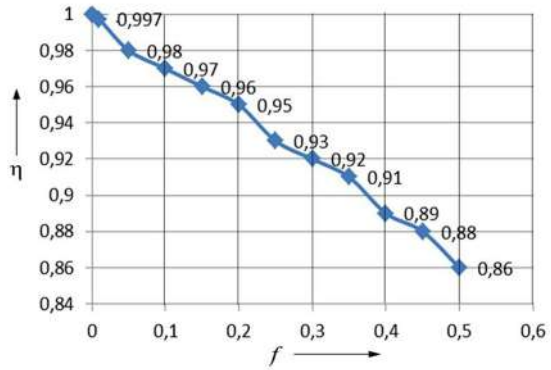
$$\eta = P_2 / P_1 = T_2 \omega_2 / T_1 \omega_1 = T_2 / T_1 u, \quad (1)$$

где P_1 и P_2 – мощности на ведущем и ведомом зубчатых колесах соответственно.

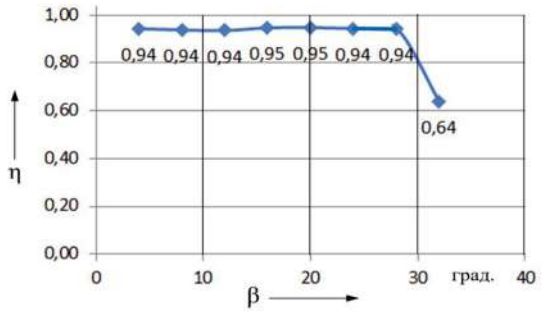


а б

Рисунок 2 – Результаты виртуальных испытаний передачи:
а – изменение угловой скорости ведомого колеса передачи;
б – изменение момента на ведущем колесе передачи



а



б

Рисунок 3 – Графики зависимости КПД:
а – от коэффициента трения скольжения f;
б – от угла наклона зубьев β (б)

Так как задачей исследования являлось определение средней величины КПД, угловая скорость ω_2 принималась постоянной (средней).

Для определения КПД передачи были выбраны два изменяемых параметра: коэффициент трения скольжения f и угол наклона зубьев β, геометрия передачи и характеристики 3D-контактов для различных вариантов моделей принимались одинаковыми.

При изменении коэффициента f в диапазоне 0,01…0,5 происходит плавное снижение КПД (рис. 3 а), его незначительная нелинейность связана, очевидно, с особенностями решателя программы. Угол β принимался постоянным и равным 16°. Далее изменялся угол наклона зубьев β в диапазоне 4…32° при постоянном f = 0,2 (рис. 3 б).

Увеличение f не только повышает требуемый момент на ведущем колесе T_1 (и снижает КПД), но и увеличивает амплитуду колебаний момента относительно среднего значения, то есть динамические нагрузки на привод. Увеличение угла β от 4° до 28° на передаваемый момент практически не влияет, однако значение угла более 28° приводит к резкому увеличению

момента на ведущем колесе, а следственно к резкому уменьшению КПД. При увеличении угла β так же увеличивается амплитуда колебаний момента. Известно, что рациональным диапазоном угла наклона зубьев является 8°…20° [4]. Меньшее значение угла использовать не целесообразно из-за незначительного увеличения нагрузочной способности по сравнению с прямозубой передачей. Большее значение угла не желательно в связи с увеличением динамических нагрузок в приводе и увеличением осевых сил, нагружающих подшипники. Установлено предельное значение угла наклона зубьев по критерию минимальных потерь мощности в зацеплении ($\beta = 28°$) для заданных значений геометрических параметров передачи и передаточного числа $u = 1{,}5$.

Разработан алгоритм компьютерного моделирования, позволяющий оценить влияние различных факторов на КПД передачи при проектировании. Средняя величина амплитуды колебаний момента T_1 может рассматриваться при сравнительном анализе различных конструкций передачи как критерий динамической нагруженности при одинаковых заданных параметрах 3D-контакта.

Список использованных источников

1. Лустенков, М. Е. Моделирование цилиндрического зубчатого колеса с эвольвентным профилем в системе Siemens NX / М. Е. Лустенков // Актуальные вопросы машиноведения: сборник научных трудов. – Минск: ГНУ ОИМ НАН Беларуси, 2023. – Вып. 12. – С. 169–172.
2. Лустенков, М. Е. Силовой анализ передач с промежуточными телами качения / М. Е. Лустенков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 10. – С. 26–31.
3. Лустенков, М. Е. Сферические роликовые передачи с двухрядным сателлитом для малогабаритных приводов: монография / М. Е. Лустенков, Е. С. Лустенкова. – Могилев, Белорус.-Рос. ун-т, 2024. – 191 с.
4. Лустенков, М. Е. Детали машин. Расчет и проектирование : учебное пособие / М. Е. Лустенков. – Минск : РИВШ, 2025. – 400 с.

4.9 Аддитивные технологии

УДК 677.023.77

АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБЗОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРЁХМЕРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА БАЗЕ ОБЛАКА ТОЧЕК

Кононок Я. Ф., студ., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены результаты обзора методов и соотвествующего программного обеспечения, используемых для создания трёхмерных геометрических моделей на базе облака точек, полученного при сканировании объектов.*

Ключевые слова: трёхмерные геометрические модели, облако точек, программное обеспечение, реверс-инжиниринг, CAD-системы, искусственный интеллект.

В современной инженерной практике интеграция физических объектов в цифровую среду проектирования стала стандартом, необходимым для ускорения подготовки производства. Реализация этого подхода базируется на использовании технологий трёхмерного сканирования,

которые позволяют бесконтактным способом фиксировать геометрию реальных изделий. Результатом такой фиксации становится формирование облака точек, которое представляет собой массив пространственных координат поверхности и выступает ключевым связующим звеном в данном процессе. Однако переход от сырого набора координат к полноценной геометрической модели всё ещё остается сложной задачей. Специфика получаемых данных, обусловленная их неструктурированностью и чувствительностью к помехам, напрямую определяет круг вычислительных трудностей, с которыми сталкиваются инженеры. Понимание этой проблематики позволяет точнее оценить современные подходы к реконструкции геометрии.

Процесс реверс-инжиниринга традиционно разделен на этап получения данных и этап реконструкции модели. Традиционные алгоритмы демонстрируют снижение эффективности при обработке массивов данных с высоким уровнем шума или низкой плотностью. Для оптимизации процесса внедряются автоматизированные методы аппроксимации и алгоритмы искусственных нейронных сетей, позволяющие распознавать конструктивные элементы с минимизацией участия оператора.

Инструментарий для обработки данных сканирования целесообразно классифицировать на две категории исходя из архитектуры решений и их интеграции в рабочий процесс. К первой категории относятся автономные параметрические комплексы, представляющие собой независимые программы с собственными математическими ядрами, рассчитанными на обработку массивов данных большого объема и формирование логики параметрического построения.

В качестве примера подобных решений можно рассмотреть Geomagic Design X, в котором реализована концепция гибридного моделирования (рис. 1). Алгоритмы программы обеспечивают извлечение геометрических примитивов и их комбинирование с поверхностями свободной формы. Передача истории построения в CAD-системы осуществляется посредством встроенного модуля LiveTransfer.

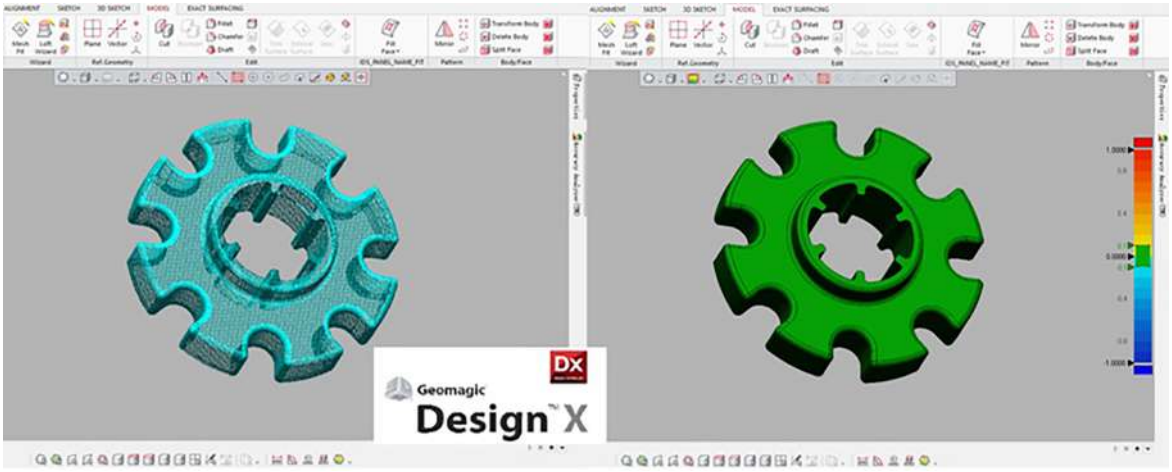


Рисунок 1 – Процесс гибридного моделирования в Geomagic Design X [1]

К числу автономных комплексов также относится Artec Studio – интегрированная среда, применяющая алгоритмы на базе искусственного интеллекта для автоматической пространственной регистрации сканов. Распознавание общих геометрических паттернов в данной среде минимизирует зависимость процесса от ручной расстановки оптических маркеров. Другим представителем категории выступает программный комплекс PolyWorks Inspector / Modeler, применяющий алгоритмы полигонального моделирования и извлечения эскизов по сечениям облака точек для последующего экспорта.

Вторую категорию программного обеспечения составляют встраиваемые модули (CAD-плагины), которые интегрируют инструменты обработки непосредственно в среды CAD-систем (SolidWorks, Inventor, КОМПАС-3D). В частности, плагин Geomagic for SolidWorks предоставляет инструменты фильтрации шума и извлекает из скана плоскости и оси вращения

в качестве базовых элементов сборки. В свою очередь, решения Quicksurface и Mesh2Surface базируются на инструментах математической оптимизации. При выделении участка точек алгоритм вычисляет аппроксимированный геометрический примитив, программно минимизируя среднеквадратичное отклонение.

Обобщенная последовательность этапов трансформации данных, включающая физическое сканирование, первичную обработку облака точек и финальное параметрическое проектирование, представлена на рисунке 2.

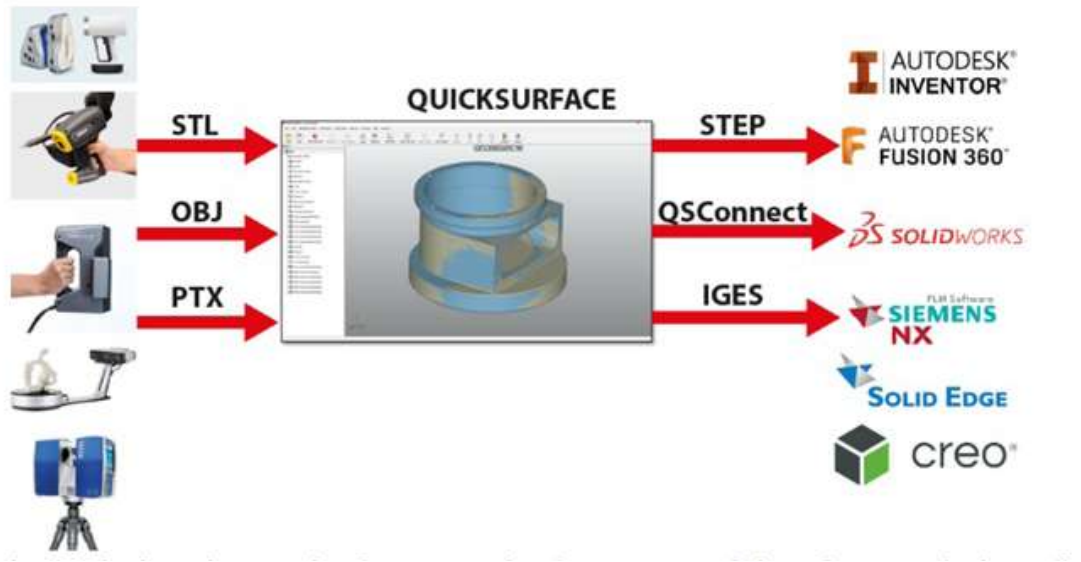


Рисунок 2 – Обобщенный алгоритм реверс-инжиниринга:
от физического объекта к параметрической CAD-модели [2]

Сравнение технологических подходов к реконструкции геометрии можно охарактеризовать следующим образом, таблица 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов реконструкции геометрии

Критерий	**Параметрический реверс (Design X)**	**Автоповерхности (Quicksurface)**	**ИИ-сегментация (Cloud/Beta)**
Результат	Редактируемая CAD-модель	Непараметрическое тело (NURBS)	Классифицированное облако
Скорость	Средняя (требует контроля)	Высокая	Очень высокая
Точность	Максимальная (метрологическая)	Зависит от плотности сетки	Зависит от обучающей выборки

Одним из напраавлений в обработке пространственных данных является использование математических моделей нейросетей. Облако точек представляет собой неупорядоченное множество точек с пространственными координатами. Нивелирование данного фактора осуществляется за счет применения специализированных архитектур нейросетей, которые позволяют выполнять анализ неструктурированных данных, семантическую сегментацию и аналитическое восстановление геометрии.

Для анализа неструктурированных данных применяются архитектуры класса PointNet и PointNet++, использующие симметричные функции (например, max pooling) для оценки геометрии независимо от исходного порядка сканирования точек. В задачах семантической сегментации обучение на объемных выборках CAD-моделей позволяет сетям классифицировать объекты. Данный процесс может быть проиллюстрирован следующей последовательностью:

алгоритм идентифицирует массивы точек как зубчатые венцы или шпоночные пазы, после чего производится замена распознанного участка на стандартизированный вырез (рис. 3).

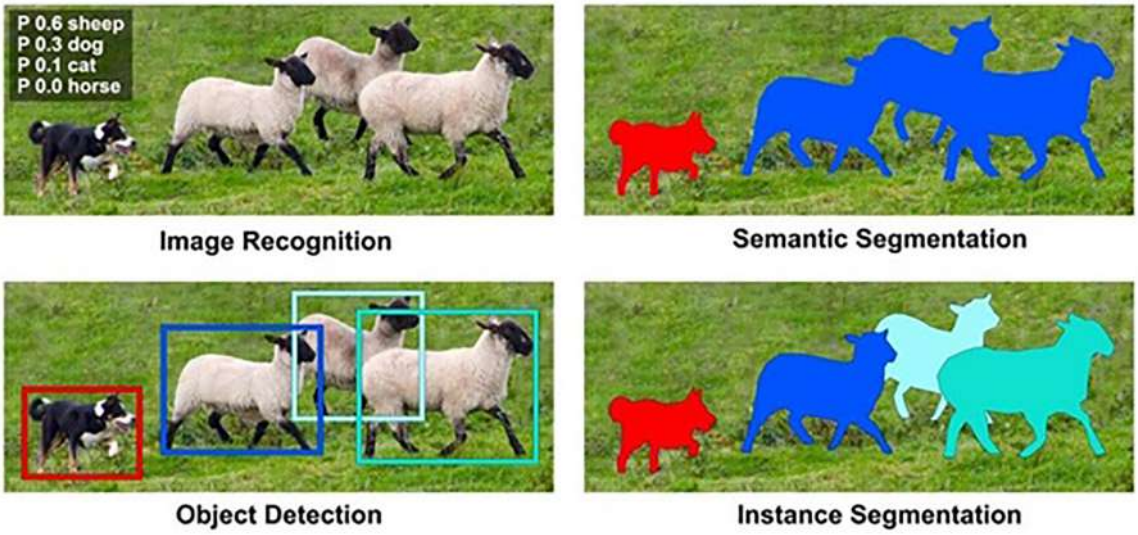


Рисунок 3 – Семантическая сегментация PointNet [3]

При аналитическом восстановлении геометрии, в случаях наличия физических слепых зон от сканирующего оборудования, искусственный интеллект анализирует глобальную геометрию и элементы симметрии, восстанавливая недостающие фрагменты. Методы генеративного проектирования позволяют генерировать геометрию на основе обучающей выборки (например, формирование модели резьбового соединения по фрагменту).

Технологические ограничения и вычислительные тренды. Развитие технологий сопровождается переносом ресурсоемких вычислений на удаленные серверы облачных сред. В области проектирования и моделирования объектов алгоритмы искусственного интеллекта преобразуют облака точек в структурированные цифровые модели. Внедрение автоматизированного моделирования способствует снижению себестоимости и сокращению временного цикла подготовки производства. Тем не менее, обязательным условием остается инженерный контроль результатов аппроксимации для участков модели, подлежащих строгому метрологическому контролю.

Проведенный аналитический обзор программных решений для реконструкции трехмерной геометрии демонстрирует устойчивую тенденцию к автоматизации процессов реверс-инжиниринга. Выбор оптимального инструментария обусловлен техническими требованиями к конечному результату. В частности, автономные параметрические комплексы целесообразно применять для обеспечения метрологической точности, в то время как интегрированные CAD-плагины эффективны для локальных задач аппроксимации.

Внедрение алгоритмов машинного обучения и специализированных нейросетевых архитектур позволяет компенсировать неструктурированность исходных пространственных данных. Алгоритмы семантической сегментации обеспечивают распознавание типовых конструктивных элементов, что сокращает временной цикл подготовки моделей. Несмотря на развитие облачных вычислений, обязательным этапом производственного цикла остается инженерная верификация сгенерированной геометрии для соблюдения заданных метрологических допусков.

Список использованных источников

1. Reverse Engineering with Geomagic Design X / TimothyKK. – URL: https://www.freelancer.com.al/u/timothykk/portfolio/reverse-engineering-with-geomagic-design-x-8876541 (дата обращения: 01.04.2026). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
2. 3D Reverse Engineering in 10 steps / Simona Vrantsalieva. – URL: https://www.quicksurface.

com/how-to-make-3d-reverse-engineering-with-quicksurface/ (дата обращения: 01.04.2026). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
3. Семантическая сегментация: самый полный гайд 2024 / evgeniatro. – URL: https://habr.com/ru/companies/data_light/articles/855336/ (дата обращения: 01.04.2026). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

УДК 621.7:004.925.8

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ С КОНФОРМНЫМИ РЕШЁТЧАТЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Драница А. П., студ., Сафронов С. Д., студ.,
Ковчур А. С., к.т.н., доц., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассмотрены преимущества изготовления изделий с конформными решётчатыми конструкциями на примере корпуса субмарины. На основе полученной трёхмерной модели выяснено, что монолитные конструкции, изготавливаемые с помощью технологий АП прочнее и дешевле в изготовлении, чем аналогичные изделия, изготовленные традиционными способами.*

Ключевые слова: конформные решётчатые конструкции, аддитивное производство, трёхмерное моделирование.

Аддитивные технологии с каждым годом всё больше проникают в производство, предлагая новые возможности для проектирования и выпуска изделий, особенно в мелкосерийном производстве, а также в быстром прототипировании на крупных производствах. Одним из преимуществ аддитивного производства является возможность использования в изделиях интегрированных структур, которые в свою очередь позволяют заменять сложные сборки с множеством деталей одним изделием, совмещающем в себе все возможности и функции деталей, используемых в традиционных методах производства.

Одним из примеров подобных структур являются конформные решётчатые конструкции, которые представляют собой силовой каркас, имитирующий форму детали и адаптирующийся к её изгибам. Главным преимуществом использования таких решётчатых конструкций является возможность существенно снизить массу изделия без потери его прочностных характеристик, что особенно важно в медицине и архитектуре, в автомобилестроении, авиастроении и других отраслях промышленности.

Идея о применении решётчатых структур в качестве опорных элементов появилась достаточно давно. Одним из наиболее знаменитых примеров использования подобных структур можно считать Эйфелеву башню, конструкция которой по сути является фермой с определённым типом ячеек по всему её объёму. Также A.G.M. Michell в своей работе, датированной 1904 годом, разработал математические методы экономии материала на основе использования в изделиях конструкций ферменного типа. Ещё одним ярким примером использования решётчатых структур можно назвать водонапорные башни, конструкцию которых разработал инженер Владимир Григорьевич Шухов, что в своё время позволило существенно снизить стоимость изготовления таких стратегически важных объектов. В настоящее время подобные работы привлекают множество исследователей и энтузиастов, которые на их основе разрабатывают свои подходы к улучшению свойств изделий, используя различные ячеистые структуры в качестве силового каркаса.

Традиционно силовой каркас, состоящий из рёбер жёсткости, расположенных друг относительно друга в виде какой-то сетки, используется в проектировании различных летательных аппаратов и субмарин, так как позволяет значительно облегчить конструкцию,

сохранив при этом её прочность при воздействии высокого давления на корпус. При традиционных методах производства таких корпусов возникает ряд сложностей, которые напрямую влияют на их прочностные характеристики. Каркас и оболочка производятся по отдельности, что в некоторых случаях не совсем целесообразно, также сам каркас собирается из отдельных элементов, из-за чего конструкция в местах крепления элементов друг к другу становится менее прочной по сравнению с монолитной деталью. В масштабах крупных летательных аппаратов и субмарин изготовление монолитных корпусов практически нереализуемо, так как на данный момент не существует принтеров, способных напечатать изделие длиной более нескольких десятков метров. Однако в производстве небольших БПЛА и удалённо пилотируемых исследовательских субмарин изготовление монолитных деталей возможно реализовать с помощью аддитивных технологий.

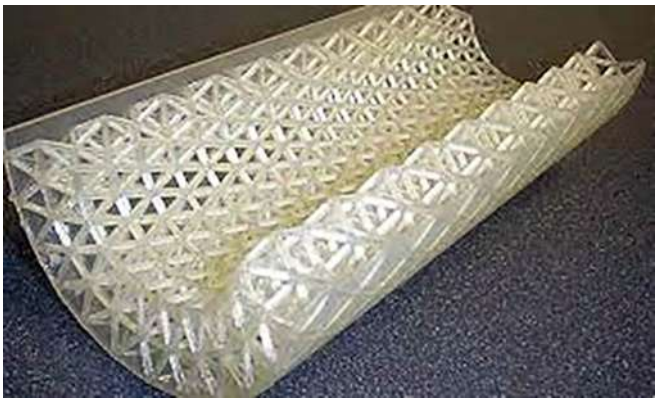


Рисунок 1 – Пример изделия с интегрированной конформной решётчатой структурой, напечатанный технологией SLA

Основным преимуществом изделий с интегрированными конформными решётчатыми структурами является возможность напечатать с помощью технологий АП силовой каркас непосредственно на криволинейной поверхности детали, без необходимости в сборке каркаса и оболочки (рис. 1). Это значительно упрощает производство изделия и улучшает его прочностные характеристики. Кроме того, сокращение числа сборочных операций может оказать огромное влияние на производственные затраты.

Развитие аддитивного производства и его возможности в изготовлении подобных сложных деталей дали толчок к появлению различных методов оптимизации изделий. В настоящее время основными принято считать следующие методы:

– оптимизация размера – определяются размеры детали;
– оптимизация формы – меняются форма и поверхности детали;
– оптимизация топологии – исследуется распределение материала.

Так как аддитивные технологии позволяют изготавливать изделия сложной или нестандартной формы, основными методами их оптимизации являются методы оптимизации топологии. Топологическая оптимизация подразумевает проектирование геометрически более сложных изделий, которые при этом должны быть легче своих «традиционных» аналогов, но сохранять те же механические свойства [1]. С помощью топологической оптимизации можно получить различные нестандартные решения, в том числе изделия с конформными решётчатыми конструкциями.

Однако в большинстве современных САПР отсутствуют простые инструменты, позволяющие автоматически формировать подобные интегрированные структуры на сложной геометрии. Из-за этого возникает необходимость в разработке подобных инструментов или встраиваемых приложений, так как с помощью стандартного инструментария можно создавать лишь очень упрощённые конформные решётчатые структуры.

Наглядно рассмотреть «ограниченность» современных САПР можно на примере корпуса небольшой подводной лодки, которая предположительно может использоваться в исследовательских целях океанологами. Проектирование изделия проводилось в Autodesk Inventor 2025 (рис. 2).

Во встроенном модуле для МКЭ анализа в Autodesk Inventor также проводились испытания полученной модели на прочность при воздействии давления воды на корпус. В качестве начальных условий было выбрано давление морской воды на глубине 5 метров [2], составившее 0,052 Мпа (рис. 3).

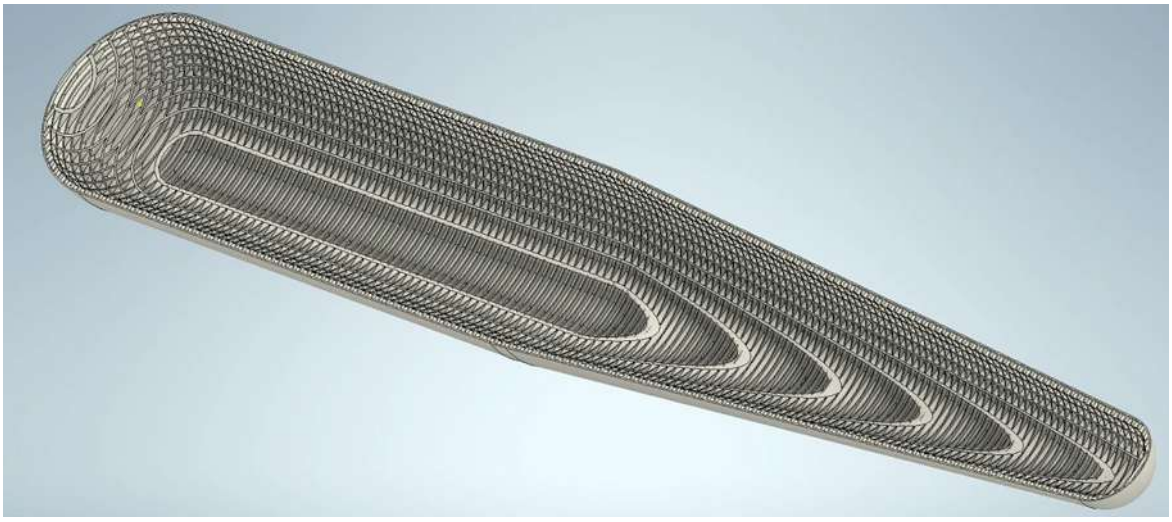


Рисунок 2 – Результаты моделирования конформной решетчатой конструкции, интегрированной во внутреннюю часть корпуса

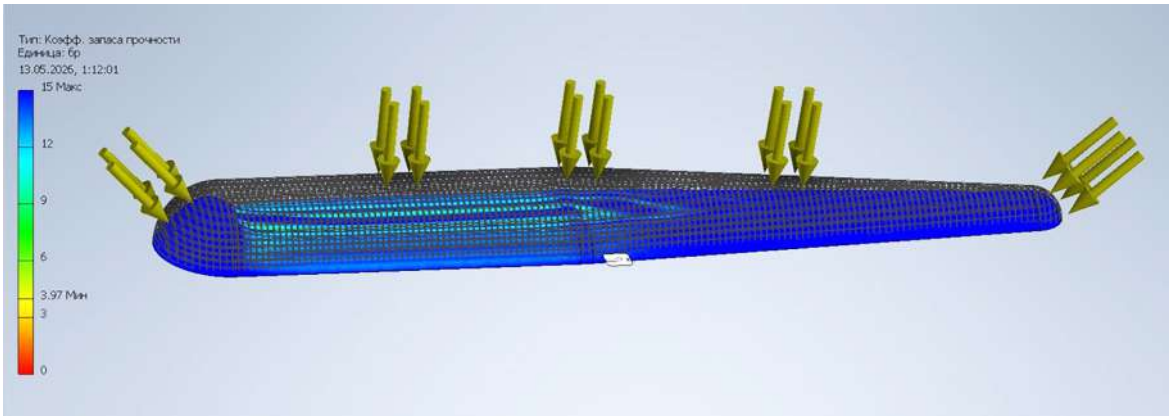


Рисунок 3 – Результаты МКЭ анализа

Результаты анализа показывают, что при эксплуатации изделия в данных условиях минимальный коэффициент запаса прочности будет равен 3,97. Исходя из этого можно сделать вывод, что подобная конструкция более чем способна выдержать заданное давление.

Заключение

Использование изделий с конформными решётчатыми структурами в различных областях промышленности позволит существенно снизить затраты на производство сложных узлов, а также улучшит их прочностные характеристики, используя меньшее количество материала для их изготовления.

Возможности современных систем автоматизированного проектирования ограничены в области создания изделий нестандартных форм с различными интегрированными элементами, из-за чего возникает необходимость в улучшении их функционала. Поэтому целесообразным является развитие систем автоматизированного проектирования в этой области, расширение инструментария для моделирования нестандартных форм, различных решёток, в том числе конформных, и их интеграции в сложные криволинейные детали.

Также одним из направлений развития систем автоматизированного расчёта конструкций должно стать внедрение новых методов расчёта нетрадиционных изделий, в том числе с конформными решётчатыми конструкциями, и расширение уже существующих.

Список использованных источников
1. Gibson, I. Additive Manufacturing Technologies / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker. – Second Edition. – NY : Springer, 2015. – 498 p.
2. Калькулятор давления жидкости на глубине. – URL: https://www.hydro-pnevmo.ru/topic.php?ID=158&h=5&po=1030&p= (дата обращения: 01.05.2026). – Текст : электронный

УДК 658.512.4

СЕРВИС ПО КОНТРАКТНОМУ РАСКРОЮ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ РИУП «НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА»

Кононок Я. Ф., студ., Кононок Е. О., студ., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматривается возможность расширения функционала РИУП «Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета» на примере контрактного раскроя листовых материалов методом лазерной резки, определена проблематика реализации подобного рода сервиса, выделены возможные варианты решения и ключевые особенности реализации на условии синергии бизнеса с кадровым потенциалом университета.*

Ключевые слова: университет, технопарк, лазерная резка, листовые материалы, бизнес-модель, сервис, контрактное производство.

Современные макроэкономические реалии и тенденции развития высшего образования диктуют принципиально новые, более жесткие требования к функционированию университетских технопарков. Сегодня от объектов инновационной инфраструктуры при высших учебных заведениях требуется не только успешное выполнение их классических образовательных и научно-исследовательских функций, но и выстраивание гибких, эффективных бизнес-моделей. Такие модели должны быть способны обеспечить высокий уровень самофинансирования, коммерческой рентабельности и независимости от внешних дотаций.

В этом контексте РИУП «Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета» (РИУП «НТПВГТУ») обладает производственным и технологическим потенциалом. Техническим ядром предприятия может выступить высокотехнологичное, современное оборудование для точной обработки листового металла – передовые комплексы лазерной резки и высокоточные листогибочные прессы, оснащенные системами числового программного управления.

Для достижения устойчивого экономического роста технопарку необходимо кардинально пересмотреть свою рыночную стратегию: отказаться от пассивного ожидания заказов и перейти к проактивному формату работы. Предприятие должно предложить региональному рынку современные комплексные производственные и конструкторские решения. Целью данного исследования является формирование экономически обоснованной, пошаговой стратегии развития инфобизнеса и сервиса контрактного раскроя листовых материалов на базе РИУП «НТПВГТУ».

Традиционная бизнес-модель металлообработки стала высококонкурентной и низкомаржинальной нишей. Клиенты с готовыми DXF/DWG файлами выбирают подрядчика исключительно по минимальной стоимости реза. Это вынуждает организации демпинговать, что увеличивает сроки окупаемости лазерного оборудования, истощает амортизационные фонды и лишает предприятие бюджета на модернизацию.

Для кратного роста прибыли необходим переход к инжинирингу полного цикла.

Значительная часть потенциальных высокомаржинальных клиентов (стартапы, малый бизнес, частные изобретатели) не обладает инженерными компетенциями для самостоятельной разработки грамотной конструкторской документации.

Зачастую такие клиенты обращаются на производство лишь с концептуальной идеей, наброском «от руки» или натурным образцом требуемой детали. Именно в этом контексте РИУП «НТПВГТУ» должен брать на себя всю ответственность за производственный процесс: от этапа проектирования до отгрузки готовой партии. Использование современных мощных систем автоматизированного проектирования, таких как КОМПАС-3D, SolidWorks или Autodesk Inventor, позволяет специалистам технопарка оказывать высокооплачиваемые услуги по реверс-инжинирингу, разработке параметрических трехмерных твердотельных моделей и созданию технологически выверенных разверток для работы на листогибочных прессах.

Профессиональная подготовка конструкторской документации в строгом соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации и стандартов выгодно и ярко выделяет университетский технопарк на фоне многочисленных мелких «гаражных» и полукустарных производств. Концептуальный переход от устаревшей парадигмы «мы просто механически режем ваш металл» к современному формату «мы проектируем, оптимизируем и создаем готовый продукт под ключ» позволяет добавить в стоимость заказа интеллектуальную составляющую, что в свою очередь ведет к значительному увеличению выгоды от заказа.

Одним из требующих решения организационных вопросов является проблематика оперативной оценки стоимости изготовления. Необходимо отметить, что длительный и непрозрачный процесс ручной оценки стоимости работ ведет к потере клиентов. Обычно в условиях традиционного производства ожидание ответа технолога по электронной почте занимает от нескольких часов до нескольких дней, из-за чего заказчики уходят к более оперативным конкурентам.

Вариантом решения данной проблемы может стать внедрение автоматизированных модулей оценки стоимости. Данный вариант решения предполагает внедрение на сайт РИУП «НТПВГТУ» интерактивного онлайн-калькулятора стоимости резки. Пользователь самостоятельно загружает векторный контур детали, а система автоматически считывает общую длину реза с учетом периметра контуров, количество точек врезки, а также точные габариты детали для оценки коэффициента использования материала, что наглядно демонстрирует интерфейс аналогического модуля на рисунке 1.

На основе этих данных, выбранной марки и толщины стали скрипт формирует коммерческое предложение. Это ускорит воронку продаж, сделает ценообразование прозрачным и разгрузит инженерный персонал от рутинных расчетов мелких партий.



Рисунок 1 – Интерфейс автоматизированной системы оценки стоимости лазерной резки

Кроме того, стоит отметить возможность диверсификации производства и интеграции в образовательную среду университета. А также возможность задействовать высокотехнологичное оборудование для выпуска собственной продукции, ориентированной на потребительский рынок. Номенклатура таких изделий может включать элементы и фурнитуру для мебели в стиле «лофт», автомобильные кронштейны, защиты картера, багажные системы, а также корпуса для радиоэлектронной аппаратуры и декоративные архитектурные панели. Создание полноценного интернет-магазина на базе сайта технопарка обеспечит стабильный финансовый поток и позволит оптимально загружать станки с ЧПУ, особенно в ночные смены или при спаде сторонних заказов, минимизируя простой оборудования.

Интеграция студентов университета в коммерческие проекты технопарка может решить комплекс экономических и образовательных задач. Студенты профильных технических специальностей могут разрабатывать чертежи, выполнять 3D-моделирование и писать G-коды для станков в CAM-системах. Студенты IT-направлений могут разрабатывать и поддерживать веб-инфраструктуру, включая онлайн-калькулятор. Это позволит существенно снизить затраты технопарка. Студенты, в свою очередь, интегрируются в реальные производственные процессы на этапе обучения. Они формируют конкурентоспособное портфолио, получают первый профессиональный заработок и практические навыки, что напрямую отвечает задачам практико-ориентированного высшего образования в Республике Беларусь.

На основании проведенного исследования можно сделать однозначный вывод: успешная, долгосрочная и высокорентабельная монетизация участка лазерной резки и гибки металла на базе университетского технопарка абсолютно невозможна в рамках устаревших подходов пассивного ожидания клиента. Для решения этой проблемы необходимо использовать стратегию коммерческого развития, которая базируется на трех фундаментальных векторах.

В первую очередь, эта стратегия подразумевает радикальное расширение спектра предоставляемых услуг за счет внедрения инжиниринга полного цикла. Данный шаг должен органично сопровождаться масштабным внедрением современных цифровых ИТ-инструментов взаимодействия с клиентом, что позволит ускорить и автоматизировать процессы продаж. Третьим, логически вытекающим направлением выступает диверсификация производства с выходом на B2C рынок через выпуск собственной серийной продукции. При этом связующим звеном и важнейшим условием успеха всех этапов является грамотное, взаимовыгодное и экономически обоснованное использование студенческого кадрового ресурса университета.

Комплексная и поэтапная реализация предложенной стратегии позволит РИУП «НТПВГТУ» не только в разы повысить экономическую отдачу и прибыльность от эксплуатации имеющегося высокотехнологичного оборудования. Предприятие сможет уверенно закрепить за собой статус инновационного, технологичного и безусловного лидера на региональном рынке услуг современной металлообработки, одновременно внося огромный вклад в повышение качества практической подготовки инженерных кадров страны.

Список использованных источников

1. Инновационная инфраструктура как фактор развития экономики региона / под ред. А. В. Иванова. – Минск : Вышэйшая школа, 2022. – 215 с.
2. Проектирование технологических процессов обработки листового материала на станках с ЧПУ : учебное пособие / С. Н. Смирнов [и др.]. – Москва : Инфра-М, 2021. – 180 с.
3. Технологии лазерной резки и коммерциализация производственных комплексов // Вестник машиностроения и автоматизации. – 2023. – № 4. – С. 45–51.
4. Интеграция образовательного и производственного процессов на базе университетских технопарков: опыт и перспективы // Высшее техническое образование. – 2023. – № 2. – С. 112–118.

УДК 621.357.7:004.896

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ГАЛЬВАНОСТЕГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Лелявин А. Ю., студ., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматривается применение процесса гальваностегии для металлизации изделий, изготовленных методами аддитивного производства. Проводится сравнение с гальванопластикой, выделяются ключевые механические, электротехнические и технологические преимущества гибридных маршрутов. Описаны физико-химические основы расчёта параметров электроосаждения и роль автоматизированных систем моделирования для оптимизации покрытия сложнопрофильных деталей.*

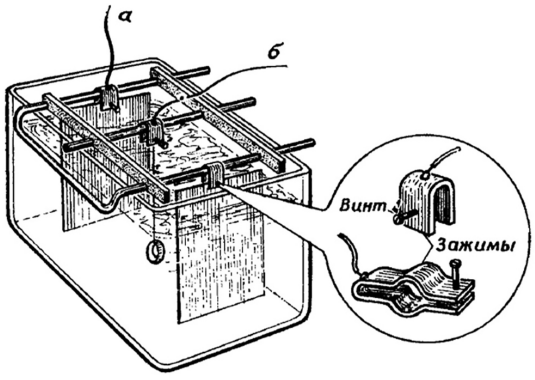
Ключевые слова: гальваностегия, гальванопластика, аддитивные технологии, 3D-печать, электроосаждение, металлизация полимеров, COMSOL, гибридное производство.

В современной инженерии поверхности электрохимические методы нанесения металлических слоёв является востребованным направлением. Исторически его развитие неразрывно связано с двумя ключевыми процессами – гальванопластикой и гальваностегией.

Гальванопластика является процессом электрохимического осаждения металла на форму-матрицу с целью получения точной копии (реплики). Осаждённый слой после завершения процесса отделяется от формы и образует самостоятельное изделие. Исторически метод применялся для воспроизведения скульптурных рельефов, медалей и печатных матриц, а в XX веке – для производства виниловых пластинок и волноводных элементов.

Гальваностегия представляет собой процесс нанесения прочно связанного с подложкой металлического покрытия непосредственно на изделие – катод без разделения деталей с целью повышения функциональности его поверхности [1, 2]. Принципиальная схема процессов гальванопластики и гальваностегии представлена на рисунке 1.

Современное аддитивное производство открыло для гальваностегии принципиально новую область применения. Полимерные заготовки, полученные методами стереолитографии, лазерного спекания или послойного наплавления, отличаются высокой свободой формообразования, однако уступают металлам по проводимости, поверхностной прочности и стойкости к воздействию среды. Нанесение металлического покрытия на получаемые изделия методом гальваностегии устраняет указанные ограничения, сохраняя при этом преимущества аддитивных технологий для производства модели.



Гальваническая ваина в четырёхугольной банке

Рисунок 1 – Принципиальная схема процессов гальванопластики и гальваностегии

Гибридный технологический маршрут «аддитивная заготовка + гальваническое покрытие» формирует структуру, в которой полимерное ядро обеспечивает сложную геометрию и малую массу, а металлическая оболочка – функциональные свойства.

Полимерные детали, полученные методами SLA и FDM, уступают металлам по жёсткости и поверхностной твёрдости. Нанесение медного или никелевого покрытия толщиной 50–200 мкм приводит к кратному увеличению механических характеристик. По результатам испытаний согласно ASTM D638 и ASTM D790 предел прочности на растяжение у эпоксидных смол с нанесённым медным покрытием (85 мкм) возрастает в 1,8–2,2 раза, а модуль упругости при изгибе увеличивается с ~2,5 ГПа до ~4,5–5,5 ГПа [5].

Структура «полимерное ядро + металлическая оболочка» при этом позволяет снизить общую массу изделия до 60 % по сравнению с литыми металлическими аналогами [5].

Для деталей, эксплуатируемых в условиях трения, также критична износостойкость поверхности. Никелевые и хромовые покрытия формируют твёрдый защитный барьер, недостижимый для чистых конструкционных полимеров.

Непроводящая полимерная подложка приобретает после металлизации поверхностную электропроводность, сопоставимую с монолитным металлом. Это открывает возможность создания на базе 3D-печатных заготовок таких конструктивных элементов, как:

– СВЧ-волноводов и антенных систем – медное покрытие толщиной 25–35 мкм обеспечивает радиотехнические характеристики, эквивалентные литому алюминию: вносимые потери волноводной линии в диапазоне 140–220 ГГц составляют около 12,7 дБ/м [7];

– элементов теплоотвода – медь с теплопроводностью ~380 Вт/(м·К) (против ~0,2 Вт/(м·К) у типичных фотополимеров) позволяет использовать металлизированные 3D-печатные каналы и корпуса в качестве элементов систем охлаждения.

Полимерные заготовки, как правило, чувствительны к агрессивным средам, растворителям и ультрафиолетовому излучению. Слой никеля, хрома или золота выступает барьером, обеспечивающим длительную эксплуатацию изделия в сложных условиях. Именно это делает гибридные детали применимыми в аэрокосмической отрасли, где к компонентам предъявляются квалификационные требования по термоциклированию и контролю газовыделения в вакуумной среде (стандарт ASTM E595) [4].

Одним из ключевых технологических параметров процесса электролитического осаждения металлов на изделия является производительность электроосаждения. Производительность электроосаждения оценивается массой осажденного металла и определяется законом Фарадея

$$m = k \cdot I \cdot t,$$

где m – масса осаждённого металла; k – электрохимический эквивалент; I – сила ток; t – время осаждения.

Однако для сложнопрофильных аддитивных изделий критично локальное распределение плотности тока: на выступах покрытие утолщается, во внутренних зонах – истончается.

Эту зависимость описывает уравнение Батлера – Фольмера [3]

$$j = j_0 \left[\exp\left(\frac{\alpha_a F \eta}{RT}\right) - \exp\left(-\frac{\alpha_c F \eta}{RT}\right) \right].$$

Для оптимизации покрытия сложной геометрии до проведения натурных экспериментов с учётом электродных реакций, массопереноса и гидродинамики можно применять численное моделирование на базе МКЭ в пакете COMSOL Multiphysics, рисунок 2.

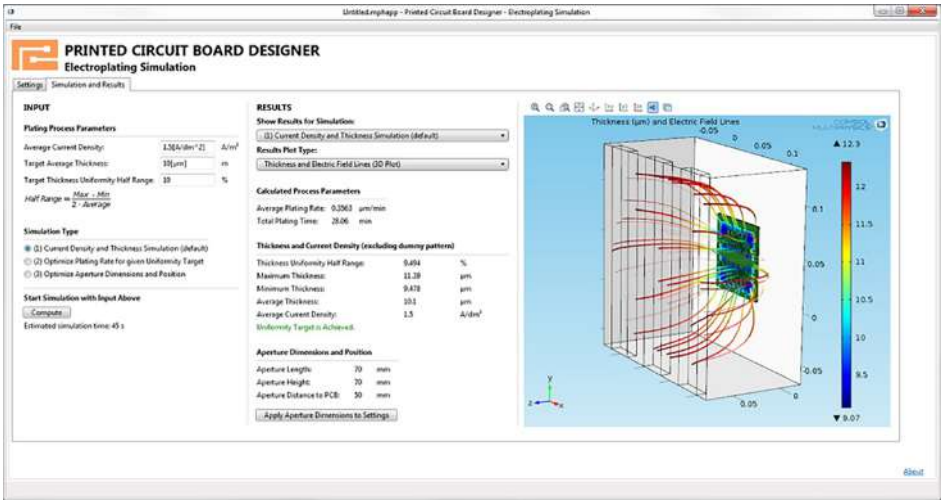


Рисунок 2 – Пример моделирования распределения плотности тока в COMSOL Multiphysics

Погрешность такого моделирования для решётчатых структур составляет около 5,25 % [3].

В качестве заключения можно отметить, что гальваностегия в сочетании с аддитивным производством позволяет наделить лёгкую полимерную заготовку металлическими функциональными свойствами, а применение численного моделирования обеспечивает воспроизводимость этого процесса в промышленных условиях.

Список использованных источников

1. Канани, Н. Гальванотехника: основы, процессы и практика / Н. Канани. – Мюнхен : Hanser, 2020. – 848 p.
2. Melentiev R., Yudhanto A., Tao R., Vuchkov T., Lubineau G. Metallization of polymers and composites: State-of-the-art approaches // Materials & Design. – 2022. – P. ???– DOI: 10.1016/j.matdes.2022.110958.
3. Noack M., Maier R., Kirchner E. Finite Element Simulation and Experimental Validation of Nickel Coating Thickness Distribution in Electroplated FCCZ Lattice Structures // Journal of Composites Science. – 2026. – Vol. 10, № 1. – DOI: 10.3390/jcs10010024.
4. Klichova D., Krupova H., Mesicek J., Botko F., Radchenko S. Effect of Surface Modification for Efficient Electroplating of 3D-Printed Components // Machines. – 2025. – Vol. 13, № 7. – DOI: 10.3390/machines13070630.
5. Formlabs. Electroplating 3D Printed Parts for High-Performance Antennas. – URL: https://formlabs.com/blog/electroplating-3d-printed-parts-high-performance-antennas/ (дата обращения: 14.04.2026).). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
6. NASA NTRS. Characterization and Testing of Copper-Nickel Electroplated 3D Printed Parts for Space Flight Applications. – URL: https://ntrs.nasa.gov/citations/20230003893 (дата обращения: 14.04.2026). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
7. Payapulli B. et al. Polymer-Based 3-D Printed 140 to 220 GHz Metal Waveguide Thru Lines, Twist and Filters // IEEE Access. – 2023. – P. 32272–32295. – DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3261241.
8. Hengsteler J. et al. Beginner's Guide to Micro- and Nanoscale Electrochemical Additive Manufacturing // Annual Review of Analytical Chemistry. – 2023. – Vol. 16. – P. 71–91. – DOI: 10.1146/annurev-anchem-091522-122334.

УДК 62-111:621.81

ВЫБОР КИНЕМАТИКИ FFF-ПРИНТЕРА НА ПЛАТФОРМЕ OPENBUILDS

Марусевич А. Р., студ., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В статье рассматриваются варианты кинематики декартового типа для построения FFF-принтера на базе решений платформы OpenBuilds. На основе проведенного анализа наиболее распространенных вариантов FFF-принтеров на базе кинематики декартового типа определены основные достоинства и недостатки этих вариантов. Выделены ключевые факторы выбора рассмотренных вариантов кинематик декартового типа для построения FFF-принтера.*

Ключевые слова: аддитивные технологии, технология производства наплавлением волокна, FFF-технология, FFF-принтер, кинематика декартовая типа, платформа OpenBuilds.

Технология производства наплавлением волокна (Fused Filament Fabrication, FFF) является одной из наиболее распространённых технологий аддитивного производства благодаря доступности оборудования, широкому выбору материалов и сравнительно низкой стоимости изготовления изделий. Принцип работы FFF-принтера заключается в послойном нанесении расплавленного термопластичного материала через экструдер с последующим формированием

трёхмерной модели. Одним из ключевых этапов проектирования FFF-принтера является выбор кинематической схемы, так как именно кинематика определяет скорость перемещения исполнительных механизмов, точность позиционирования, устойчивость конструкции и сложность настройки оборудования.

При разработке современных FFF-принтеров широко применяются модульные платформы, одной из наиболее известных среди которых является OpenBuilds. Данная система основана на использовании алюминиевых профилей, роликовых направляющих и унифицированных крепёжных элементов. Применение OpenBuilds позволяет значительно упростить сборку и модернизацию устройства, а также реализовывать различные кинематические схемы без полной переработки конструкции.

При выборе кинематики FFF-принтера можно отталкиваться от кинематики наиболее распространённых типов, к которым можно отнести разновидности кинематики декартового типа систем Prusa, CoreXY, H-Bot и Delta.

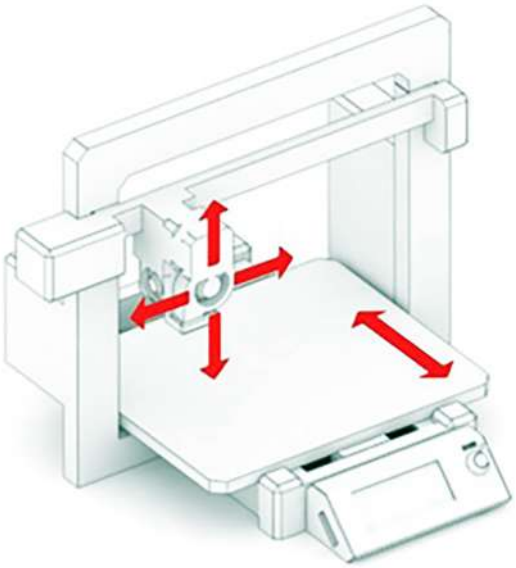


Рисунок 1 – Схема кинематика Prusa

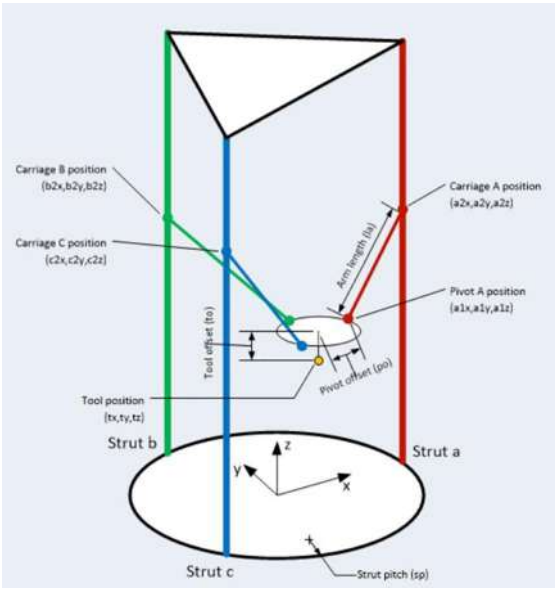


Рисунок 2 – Схема кинематика Delta

Одной из самых распространённых схем остаётся кинематика Prusa (рис. 1), в которой печатающая головка перемещается по осям X и Z, а рабочая платформа движется вперёд и назад по оси Y. Главным преимуществом данной конструкции является простота реализации, надёжность и невысокая стоимость изготовления. Подобная схема широко применяется в учебных и бытовых 3D-принтерах благодаря удобству настройки и обслуживания. Однако наличие массивного подвижного стола создаёт значительные инерционные нагрузки при высоких ускорениях, что ограничивает скорость печати и может вызывать вибрации, снижающие качество поверхности изделия.

Delta-кинематика (рис. 2) основана на использовании трёх вертикальных направляющих и системы параллельных рычагов, соединённых с печатающей головкой. Основным преимуществом такой схемы является высокая скорость перемещения за счёт минимальной массы подвижных элементов. Delta-принтеры способны обеспечивать плавные движения и высокую динамику работы, что особенно важно при печати высоких объектов. Кроме того, подобная кинематика отличается оригинальной конструкцией и эффективным использованием пространства. Однако реализация Delta-системы требует сложных математических расчётов координат и точной калибровки всех элементов конструкции. Даже небольшие ошибки в геометрии направляющих или длине рычагов могут существенно повлиять на точность печати.

Кинематика CoreXY (рис. 3) является более современной схемой, в которой перемещение по осям X и Y реализуется при помощи двух синхронно работающих шаговых двигателей и системы перекрещивающихся ремней. Такое решение позволяет уменьшить

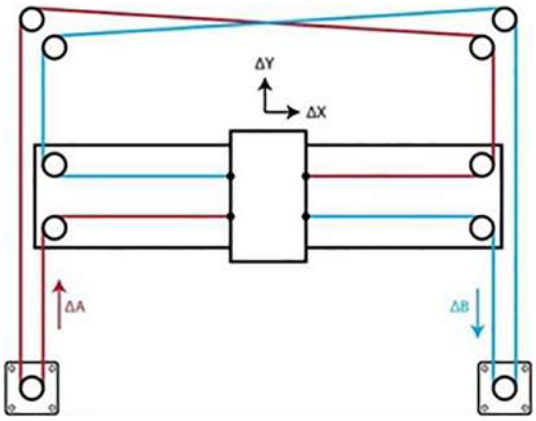


Рисунок 3 – Схема кинематики CoreXY

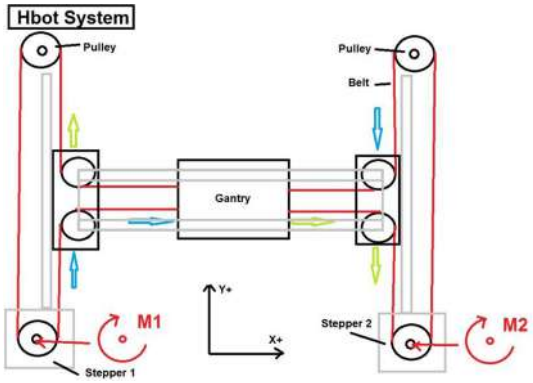


Рисунок 4 – Схема кинематики H-Bot

массу подвижных частей, поскольку двигатели остаются неподвижными относительно рамы. Благодаря снижению инерции достигаются более высокие скорости перемещения и ускорения без существенной потери точности. Кинематика CoreXY хорошо сочетается с платформой OpenBuilds, поскольку алюминиевые профили обеспечивают достаточную жёсткость конструкции при относительно небольшой массе. Основным недостатком данной схемы является более высокая сложность сборки и необходимость точного натяжения ремней, так как любые отклонения напрямую влияют на качество печати.

Схема H-Bot (рис. 4) по принципу работы близка к CoreXY и также использует ременную передачу для перемещения печатающей головки по двум осям. Основное отличие заключается в конфигурации ремня, имеющего H-образную форму. Преимуществом H-Bot является более простая механическая реализация и меньшее количество ремней и роликов. Однако при работе такой системы возникают паразитные крутящие моменты, создающие перекосы портала и дополнительные нагрузки на конструкцию. В результате при недостаточной жёсткости рамы возможно снижение точности печати и появление дефектов поверхности. По этой причине схема H-Bot предъявляет повышенные требования к прочности и устойчивости конструкции, особенно при использовании высоких ускорений.

При выборе кинематики важную роль играет анализ существующих инженерных решений. Принтеры с кинематикой Prusa получили широкое распространение благодаря своей простоте и доступности. Кинематика CoreXY активно применяется в современных высокоскоростных системах, таких как проекты семейства Voron, ориентированных на получение высокой точности и производительности. Схема H-Bot используется реже, однако представляет интерес благодаря упрощённой конструкции ременной передачи. Delta-принтеры применяются преимущественно в специализированных задачах, где требуется высокая скорость печати и эффективная работа с высокими моделями.

С экономической точки зрения различные типы кинематики отличаются стоимостью и сложностью реализации. Кинематика Prusa является наиболее доступной и простой в обслуживании. CoreXY требует более сложной настройки и ременной системы, однако обеспечивает лучшие характеристики печати. H-Bot предъявляет высокие требования к жёсткости рамы, а Delta отличается сложностью калибровки и настройки.

Точность FFF-принтера определяется не только выбранной кинематикой, но и качеством реализации конструкции. На итоговый результат влияют люфты механических соединений, растяжение ремней, неточность шаговых двигателей и деформация рамы под нагрузкой. Для CoreXY и H-Bot особое значение имеет правильное натяжение ремней, тогда как в Delta-системах критически важна точность геометрии направляющих и рычагов. При использовании платформы OpenBuilds дополнительным фактором становится жёсткость алюминиевых профилей, поскольку недостаточная устойчивость конструкции способна приводить к вибрациям и снижению качества печати.

Таким образом, выбор кинематики FFF-принтера на платформе OpenBuilds зависит от требований к скорости, точности и стоимости конструкции. Кинематика Prusa подходит для базовых задач, Delta — для высокоскоростной печати, H-Bot представляет интерес благодаря простой механике, а наиболее сбалансированным решением для современных систем считается CoreXY, сочетающая высокую производительность и хорошую точность печати.

УДК 615.46:542.24

АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ШТАТИВОВ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ХРАНЕНИЯ БИОМАТЕРИАЛА

Ефремова А. Я., асс., Пивовар М. Л., к.ф.н., доц.
Витебский государственный медицинский университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. *В работе описан процесс разработки технологии изготовления одноразовых складываемых штативов для низкотемпературного хранения биоматериала с помощью аддитивных технологий, основанных на экструзии расплавленного материала. Подобраны оптимальные параметры печати. Приведена сравнительная оценка затраченного времени и массы филамента при производстве различных моделей штативов. Выполнена оценка эффективности полученной конструкции штативов для целевого применения.*

Ключевые слова: аддитивные технологии, экструзия материала, FDM-печать, параметрическое моделирование.

Лабораторный штатив для пробирок является одним из видов вспомогательного оборудования, предназначенного для компактного хранения различных флаконов в вертикальном положении, в том числе с целью транспортировки. Существует несколько видов штативов, которые отличаются по материалам изготовления, количеству рядов и гнезд, форме и диаметру гнездовых отверстий, размерам и другим характеристикам. Металлические штативы (нержавеющая сталь, алюминий) достаточно прочные и долговечные, выдерживают стерилизацию, но требуют силиконовых накладок для предотвращения выскальзывания пробирок. Удобны при использовании на рабочем месте в лаборатории, тем не менее при транспортировке большого количества образцов дают весомый вклад в массу груза. Пластиковые штативы легкие и удобные для транспортировки, зачастую одноразовые, являются самым распространенным вариантом штативов для решения стандартных рутинных задач в лаборатории, не требующих особых условий хранения. Среди разных конструкций штативов выделяют штативы-боксы, которые характеризуются наличием крышки и полностью закрытой емкости, куда вставляются пробирки, обычно использующиеся для защиты биоматериалов при хранении и транспортировке. Модульные штативы позволяют добавлять или удалять секции для регулирования количества гнезд без полной разборки конструкции. Такой тип штативов оптимален для работы с разным количеством пробирок, которое часто варьируется в зависимости от поставленной аналитической задачи.

FDM-технология 3D-печати позволяет достаточно быстро изготовить пластиковые штативы с возможностью изменения линейных размеров, оптимизации формы гнездовых отверстий и самого штатива. Дополнительно, благодаря данной технологии, в любых моделях возможно изменение степени заполнения объекта (создание пустот внутри объекта при сохранении его функциональных свойств), утолщение наружных стенок (для увеличения жесткости), добавление дополнительных элементов и геометрий (крепежи, держатели для улучшения эргономики конечного изделия) и создание принципиально новых форм и геометрий объектов, которые не представляется возможным реализовать с помощью массовых методов производства (литье под давлением, фрезеровка, резка) [1].

При проведении биоэквивалентных исследований на клиническом этапе из добровольцев формируют клинические исследовательские группы: экспериментальную и контрольную. Согласно протоколу испытаний, через определенные промежутки времени у добровольцев происходит забор образцов крови (24 точки отбора проб с получением двух параллельных аликвот), необходимой для последующего анализа исследуемого препарата, который выполняется в рамках деятельности аккредитованной аналитической лаборатории. Клинический и аналитический этапы исследования могут быть территориально разделены (различные подразделения организации, разные города и страны) в зависимости от условий заключаемого договора между заказчиком и исполнителем [2]. В рамках деятельности Центра трансфера медицинских и фармацевтических технологий возникла необходимость создания штативов для пробирок типа Эппендорф на 48 гнезд, которые было необходимо длительно транспортировать в низкотемпературных условиях (-80 °С) для проведения дальнейшего анализа образцов в таких пробирках в рамках аналитического этапа биоэквивалентных исследований. Для сбора, хранения и транспортировки образцов, полученных на клиническом этапе, суммарно потребовалось 100 штативов. Ввиду их большого количества, алгоритм моделирования и печати модели был направлен на создание достаточно легких штативов из устойчивых к действию низких температур материалов. Кроме того, целевая разработка изделия для реализации конкретных задач позволяет оптимизировать процедуру сбора биоматериала, снижает вероятность операционных ошибок при выполнении исследования и повышает эффективность работы сотрудников лаборатории.

Моделирование штативов проводили в системе автоматизированного проектирования Компас-3D. В процессе проектирования и поиска оптимальной формы цифровой модели штатива было выбрано 3 варианта реализации: неразборный штатив, сборный штатив, состоящий из 4-х угловых вертикальных опор и горизонтальных оснований с отверстиями, и складываемый штатив с проектированными зонами деформации. Сборный и складываемый штатив требовали последующей склейки после печати. В качестве 3D-принтера для печати использовали экструзионный принтер Creality K1 Max. Выбор типа принтера обусловлен достаточно высокой скоростью печати (до 600 мм/с), дешевизной технологии, доступностью в выборе материалов и возможностью создания достаточно больших объектов (рабочее поле 300*300*300). Для печати использовали филамент Infill PETG (белый). PETG (полиэтилентерефталатгликоль) представляет собой инженерный пластик с универсальными свойствами (обладает высокой прочностью, высокой износостойкостью, средней жесткостью, низкой усадкой).

Для подготовки полученной цифровой модели к печати и создания набора инструкций для 3D-принтера выбрали программу-слайсер Creality Print 7.0. В данной программе происходит настройка условий печати, например, температуры печатающей головки (hot end) и платформы, толщины и количества печатающих слоев (верхние и нижние слои, наружные и внутренние контуры настраиваются независимо друг от друга), рисунка поверхности (зачастую эстетическое решение), линейной скорости печати, заполнения детали, добавление поддерживающих конструкций (поддержек). Температура печатающей головки должна быть подобрана в диапазоне температур, допустимых для расплавления выбранного для печати пластика (указывается производителем на упаковке). Общий принцип заключается в уменьшении вязкости подаваемого в сопло материала с ростом температуры. Подогрев платформы принтера способствует улучшению адгезии первого слоя, рекомендуемая температура для конкретного материала также указана производителем. Толщина и количество слоев подбирается с учетом требуемых механических свойств, таких как жесткость и прочность изделия или конкретных его элементов. Увеличение числа слоев и их толщины способствует повышению прочности конструкции, однако приводит к пропорциональному увеличению затрат пластика, времени на печать и падению разрешающей способности (точность и качество печати). Минимальная толщина печатаемой стенки/контура определяется диаметром используемого сопла и не может быть меньше его. Линейная скорость печати имеет верхний и нижний предел: верхний определяется конструкционными особенностями модели принтера и частично характеристиками используемых материалов, нижние пределы определяются только материалами. При слишком низкой скорости возникают дефекты, связанные с недостаточной экструзией материала (вплоть до обрыва подаваемой нити филамента). Завышенная скорость

ухудшает качество печати из-за ухудшения адгезии слоев. Степень заполнения объекта по умолчанию в настройках принтера составляет 15 %, однако может варьироваться до 100 % заполнения (допускается настройка различного заполнения внутренних элементов цифровой модели). Увеличение степени заполнения значительно увеличивает жесткость детали, но одновременно увеличивает расход материала и продолжительность печати. При уменьшении степени заполнения (для экономии пластика) модель становится более легкой и менее жесткой, что можно скомпенсировать изменением других параметров (например, утолщением наружных стенок по периметру или усилением угловых элементов детали). Поддержки необходимы для печати нависающих элементов модели. Тем не менее, их количество желательно минимизировать, чтобы снизить время печати и количество затраченного материала. Помимо этого, поддержки портят внешний вид соприкасающейся с ними поверхности детали, что требует дополнительных усилий на финишную обработку. Стоит подчеркнуть, что ориентация 3D-модели при печати значительно влияет на свойства конечного изделия, что связано с неполным сцеплением между слоями (немонолитная деталь) и, как следствие, анизотропией свойств поверхностей изделия. Правильная ориентация позволяет избежать нависающих элементов и использования поддержек, что приводит к экономии материала, времени печати, уменьшению времени на финишную обработку и улучшению изотропных свойств поверхностей. Оптимизация вышеуказанных параметров является ключевым аспектом успешной печати, требующей индивидуального подхода к каждой разработанной цифровой модели с целью достижения необходимых механических и эксплуатационных свойств конечного изделия.

Печать проводили с диаметром сопла 0,4 мм без использования поддержек, толщина одной стенки составила 0,2 мм (всего 2 периметра), температура печатающей головки 250 °С, температура платформы 70 °С, степень заполнения слоев выбрали 100 %, скорость печати оставили по умолчанию. После настройки параметров печати получены затраты пластика и время печати в расчете на 1 готовый штатив (приведены в табл. 1).

Таблица 1 – Затраченные время и масса пластика на печать различных штативов

Вид штатива	**Время печати**	**Масса затраченного материала, г**
Неразборный штатив	2 ч 14 мин	52,75
Основание сборного штатива (3 шт.)	2 ч 10 мин	40,86
Углы сборного штатива (4 шт.)	17 мин 6 сек	4,4
Складываемый штатив	56 мин 34 сек	20,82

Неразборный штатив не требует дополнительной сборки, однако на его печать затрачивается больше всего пластика. Раздельная печать элементов сборного штатива позволяет быстро его собрать, однако суммарное время печати превышает длительность печати других штативов. Неоспоримым преимуществом складываемого штатива является печать всего лишь одной плоской детали, что значительно сокращает промежуток времени между последовательными печатями. При разработке цифровой модели данного штатива заранее было предусмотрено моделирование линий деформации, по которым происходила конечная сборка детали за счет изгиба при кратковременном прогревании термофеном. После получения требуемой геометрии детали склеивание элементов проводили с помощью суперклея с активатором для быстрой фиксации. На сборку одного такого штатива потребовалось 5–7 минут. Таким образом, наилучшей цифровой моделью с учетом скорости производства и длительности печати выбран складываемый штатив (рис. 1).

Для подтверждения свойств полученных штативов проводили их замораживание вместе с образцами плазмы крови в твердой углекислоте (сухом льду) и 7 суток хранили в морозильной камере при -80 °С. По результатам проводимого теста штативы не изменили линейные размеры, конструкция не подвергалась деформации и разрушению.

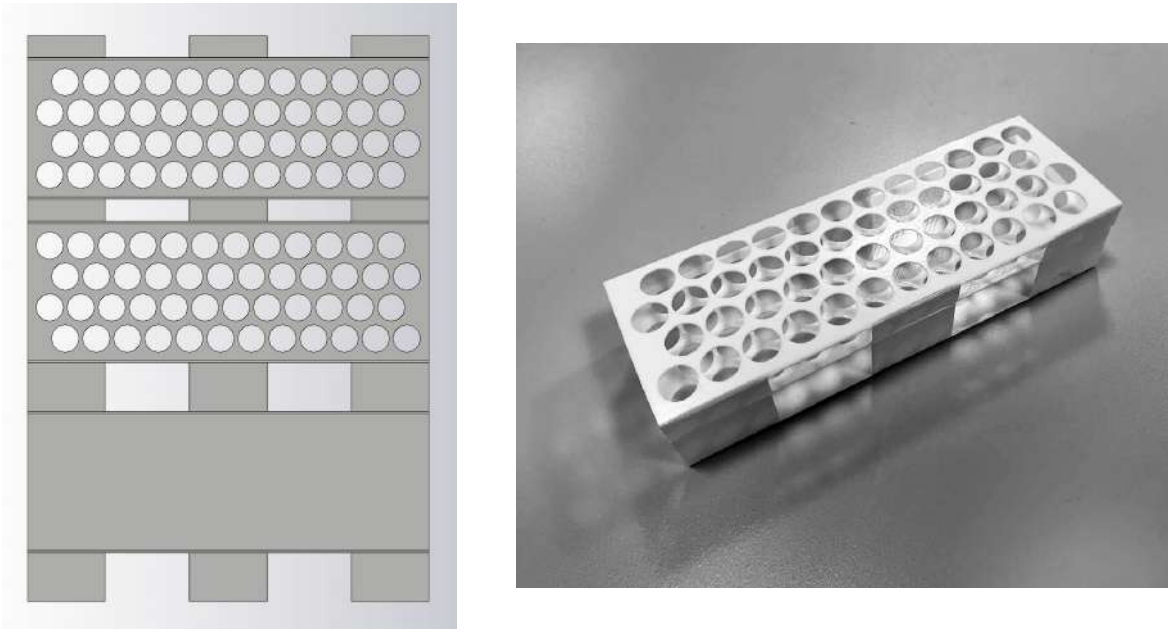


Рисунок 1 – Цифровая модель и внешний вид складываемого штатива

Список использованных источников

1. Шишковский, И. В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения / И. В. Шишковский. – Санкт-Петербург : Питер, 2016. – 400 с.
2. Решение Совета ЕЭК от 03.11.2016 № 85 об утверждении «Правил проведения исследований биоэквивалентности лекарственных препаратов в рамках Евразийского экономического союза» [Электронный ресурс] : решение Совета ЕЭК, 3 нояб. 2016 г., № 85 // Правовой портал Евразийского экономического союза. – Астана, 2016.

УДК 629.735.4:620.22-419

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ ЛОПАСТИ ДЛЯ БПЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА

Раков А. А., студ., Кашапов В. Р., студ., Соловьев Н. А., студ., Просвирнин А. С., студ., Гручина У. Ю., студ., Иринина А. Ю., ст. преп.

Уральский федеральный университет. Институт естественных наук и математики, г. Екатеринбург, Российская федерация.

Реферат. *В Российской Федерации отсутствует собственное серийное производство углепластиковых винтов для БПЛА самолётного типа, что приводит к полной импортозависимости от Китая и критическим рискам для обороноспособности страны. Предложен инновационный способ изготовления композитной лопасти типа «Ланцет-3» с многослойной конструкцией и защитным никель-кобальтовым покрытием передней кромки, позволяющий повысить ресурс изделия в 2–3 раза и обеспечить импортозамещение критически важных комплектующих.*

Ключевые слова: композитная лопасть, углепластик, БПЛА, Ланцет-3, импортозамещение, автоклавное формование, никель-кобальтовое покрытие, многослойная конструкция, лонжерон, пеносердечник, технологический суверенитет.

В Российской Федерации в настоящее время полностью отсутствует собственное серийное производство высоконагруженных углепластиковых винтов для беспилотных летательных аппаратов самолётного типа. Все такие комплектующие, включая лопасти толкающих винтов, закупаются исключительно за рубежом, в подавляющем большинстве случаев в Китае. Эта тотальная импортозависимость создаёт значительные риски для стабильного выполнения государственного оборонного заказа, особенно на фоне резкого роста потребности в БПЛА различного назначения. При этом разрабатываемая технология применима не только для решения задач наступательного характера, но и для оборонительных систем защиты, а также имеет значительный потенциал использования в мирных целях – в сельскохозяйственном мониторинге, экологическом контроле, поисково-спасательных операциях и других гражданских областях.

Надёжность и ресурс винтов играют определяющую роль в эффективности беспилотных аппаратов: от них зависят скорость полёта, устойчивость на разных режимах, точность выхода на цель и общий срок службы дрона в реальных условиях эксплуатации при высоких оборотах, воздействии пыли, песка, дождя и перепадов температуры. Любые перебои в поставках или изменения условий со стороны иностранных поставщиков могут привести к задержкам в производстве техники и снижению готовности как военных, так и гражданских подразделений.

Цель проекта заключается в разработке отечественного инновационного способа изготовления композитных лопастей толкающего винта для БПЛА самолётного типа, которые по всем ключевым параметрам – прочности, жёсткости, виброустойчивости, аэродинамическим качествам, массе и долговечности – соответствуют или превосходят лучшие зарубежные аналоги. В качестве основного примера выбраны требования, предъявляемые к лопастям широко применяемого аппарата «Ланцет-3». Особое внимание уделяется обеспечению работы при частоте вращения свыше 5000 об/мин, высокой окружной скорости концов лопастей и сохранению аэродинамического профиля в течение длительного срока службы.

Для достижения поставленной цели проведена комплексная подготовительная работа. Выполнен сравнительный анализ термокомпрессионного и автоклавного методов формования углепластиковых деталей с точки зрения их применимости для серийного производства в российских условиях. Изучены существующие мировые технологии изготовления композитных лопастей, проанализировано доступное оборудование и оснастка. Проведён детальный патентный поиск зарубежных решений с оценкой возможности их адаптации или обхода ограничений для организации собственного производства. Определены эксплуатационные требования к лопастям дронов малого самолётного типа на конкретном примере «Ланцет-3», включая нагрузки, возникающие при полёте и боевом применении. Кроме того, выявлены потенциальные отечественные и дружественные поставщики основных компонентов – углеродных тканей, связующих материалов, отвердителей и пресс-форм. Особо тщательно проанализированы недостатки существующих импортных решений: быстрый абразивный износ передней кромки, ограниченный ресурс при интенсивной эксплуатации, избыточная масса в некоторых конструкциях, высокая стоимость и полная зависимость от иностранных поставщиков сырья и технологий.

В результате проведённого анализа предложен собственный метод изготовления композитной лопасти длиной около 37 см. Конструкция выполнена многослойной и тщательно оптимизирована под высокие эксплуатационные нагрузки. Она включает армирующие углеродные слои с разной ориентацией волокон для обеспечения необходимой прочности и жёсткости в разных направлениях, специальные элементы для повышения ударной вязкости, интегрированный силовой лонжерон переменного сечения, который эффективно распределяет нагрузки по всей длине лопасти, а также лёгкий сердечник: пеносердечник на основе микросфер, позволяющий сохранить жёсткость профиля при минимальной массе. Отдельное внимание уделено защитному покрытию передней кромки из никель-кобальтового сплава толщиной 0,1–0,2 мм, которое обеспечивает повышенную стойкость к эрозии, абразивному износу и воздействию твёрдых частиц при высоких скоростях.[1]

Технологический процесс построен с учётом возможностей существующих российских производственных площадок и ориентирован на использование доступных материалов и оборудования [2]. В результате получается монолитная лопасть с минимальной пористостью, высокой точностью геометрии и превосходными механическими характеристиками, полностью соответствующая требованиям современных БПЛА.

Разработанное решение позволяет увеличить ресурс лопастей в 2–3 раза по сравнению с импортными аналогами при сохранении всех необходимых лётных характеристик и без роста массы. Реализация проекта открывает реальную возможность организации серийного производства современных композитных винтов на территории России, что позволит существенно снизить зависимость от иностранных поставок по данной номенклатуре.

Таким образом, предлагаемый способ изготовления вносит ощутимый вклад в импортозамещение критически важных комплектующих для беспилотных летательных аппаратов в соответствии с требованиями Постановления Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2024 года № 1875 [3]. Проект закладывает основу для дальнейшего развития отечественной композитной отрасли как в оборонной, так и в гражданской сферах и становится важным шагом на пути к полному технологическому суверенитету в производстве ключевых элементов современных беспилотных систем. В конечном итоге это напрямую способствует укреплению обороноспособности страны и развитию мирных технологий.

Список использованных источников

1. Михайлин, Ю. А. Конструкционные полимерные композиты. – Волгоград, ВолГТУ, 2010.
2. Вшивков, С. А., Тюкова, И. С., Русинова, Е. В. Полимерные композиционные материалы : учебное пособие. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 230 с.
3. О мерах по предоставлению национального режима при осуществлении закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд, закупок товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц : Постановление Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2024 г. № 1875 // – Москва. – 145 с.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 4
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

4.5 Информационные системы и технологии

ЛИЧНЫЙ КАБИНЕТ АБИТУРИЕНТА ВГТУ **3**
Бизюк А. Н., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ПРИЛОЖЕНИЕ НА C# ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ МУЛЬТИПЛЕТА $^5I_7$ ИОНА Ho^{3+} **6**
Андреев В. С., студ., Дунина Е. Б., к.ф.-м.н., доц., Корниенко А. А., д.ф.-м.н., проф.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СОГЛАСНО IATF16949:2016 ..... **8**
Барановский В. О., студ., Деркаченко П. Г., ст. преп., Казаков В. Е., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СЕРВИСА ДЕКАНАТА УНИВЕРСИТЕТА **11**
Федоров В. П., маг., Корниенко А. А., д.ф.-м.н., проф., Ринейский К. Н., нач. ЦИТ
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ESIM STORAGE ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ХРАНЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ESIM-ПРОФИЛЯМИ **14**
Андреянов К. В., студ., Архипов И. Д., студ., Черненко Д. В., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

EVENT-DRIVEN АРХИТЕКТУРА: КАК ПОСТРОИТЬ РЕАКТИВНУЮ И БЫСТРУЮ ИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ **16**
Гилевская В. Д., студ., Соколова А. С., ст. преп., Казаков В. Е., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА CMS ДЛЯ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ **18**
Иношевская Е. А, студ., Берестенко В. Д., студ., Труфина Е. С., студ., Быковский Д. И., ст. преп., Бизюк А. Н., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ БИБЛИОТЕКИ PYROB В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ VUZHYK **20**
Корнеев П. А., студ., Черненко Д. В., ст. преп., Соколова А. С., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАНИИ: ВОЗМОЖНОСТИ, РИСКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ **22**
Косарев А. В., студ., Соколова А. С., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

АЛГОРИТМЫ ПОИСКА ПУТИ И МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГРАХ **24**
Ляплиев Т. А., студ., Соколова А. С., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА С ИИ-ПОМОЩНИКОМ ДЛЯ ВЫБОРА ТОВАРОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЦВЕТА **26**
Меньшенина Д. Д., студ., Романькова А. В., студ., Быковский Д. И., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

МНОГОУРОВНЕВАЯ ЭВРИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАЩИТЫ ОТ ПОЛИМОРФНЫХ ИИ-ВЫМОГАТЕЛЕЙ КЛАССА PROMPTLOCK **28**
Мещеряк В. В., студ., Стукалова Д. А., студ., Чепиков К. Д., студ., Казаков В. Е., к.т.н. доц., Жизневский В. А., к.ф.-м.н., доц.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ОЦЕНКА АРХИТЕКТУРЫ LEGO EV3 КАК ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ АЛГОРИТМОВ АВТОНОМНОГО ПОВЕДЕНИЯ РОБОТОВ **30**
Пожаринский А. А., студ., Черненко Д. В., ст. преп., Соколова А. С., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕСТОРАНОМ БЫСТРОГО ПИТАНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ 1С:ПРЕДПРИЯТИЕ 8.3 ..... **32**
Стукалова Д. А. студ., Быковский Д. И., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ КОМПАКТНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ LEGO MINDSTORMS EV3 В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ **35**
Сукорская А.Ф., студ., Черненко Д. В., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА КОРПОРАТИВНОЙ IAAS-ПЛАТФОРМЫ MTS CLOUD ПО ИТОГАМ ХАКАТОНА SPACE BSU WITH MTC **37**
Токарь Г. М., студ., Мацуганова М. Д., преп.-стажёр
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ХАКАТОН КАК ИНСТРУМЕНТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ НОВЫХ ФРЕЙМВОРКОВ И ТЕХНОЛОГИЙ **39**
Токарь Г. М., студ., Проскочилов М. Д., студ., Мацуганова М. Д., преп.-стажёр
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЁТА И ИНТЕРАКТИВНОЙ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТРИКОТАЖНЫХ ПЕРЕПЛЕТЕНИЙ **42**
Франц А. А., студ., Гилевская В. Д., студ., Быковский Д. И., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ «НЕЙРОПРОДЮСЕР» **45**
Шкредов Г. И., студ., Титов Д. А., студ., Бизюк А. Н., ст. преп., Быковский Д. И., ст. преп., Мацуганова М. Д. преп.-стажёр
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ОПТИМИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ **47**
Васехо К. В., студ., Мандрик О. Г., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПЕРСОНАЖЕЙ В ИНТЕРАКТИВНЫХ ВИДЕОИГРАХ **49**
Козырев Д. С., студ., Куксевич В. Ф., ст. преп., Черненко Д. В., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ТРЕХУРОВНЕВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА АССОРТИМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЯ **52**
Мацуганова М. Д., магистрант, Черненко Д. В., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА TELEGRAM-БОТА ДЛЯ КОНТЕКСТНОГО ПОИСКА В НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ (ГОСТ) **54**
Медведев Р. А., студ., Мацуганова М. Д., преп.-стажёр
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF THE REAL-TIME VITAL SIGNS MONITORING SYSTEM **56**
Chen Yifan, master's degree student,
Dunina E., PhD in Physics and Mathematics, associate professor, Bykouski D., senior lecturer
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF THE SYSTEM FOR DIAGNOSING AND PREDICTING INDUSTRIAL EQUIPMENT MALFUNCTIONS **58**
Shi Chengyu, master's degree student,
Dunina E., PhD in Physics and Mathematics, associate professor, Sokalava H., senior lecturer
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

DEVELOPING OF THE UNIVERSITY GRADUATE RECRUITMENT INFORMATION AND PROFESSIONAL INFORMATION SHARING SYSTEM **60**
Lan Min, master's degree student,
Dunina E., PhD in Physics and Mathematics, associate professor, Sokalava H., senior lecturer
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

DEVELOPMENT OF A PROGRAM CONTROL AND MANAGEMENT SYSTEM FOR ONLINE COURSE TESTING **63**
Yi Zhiwei, master's degree student,
Zhyzneuski V., PhD in Physics and Mathematics, associate professor, Biziuk A., senior lecturer
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

ANALYSIS AND DESIGN OF AIRCRAFT MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM **66**
Zhang Baosheng, master's degree student,
Kornienko A., Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, professor, Sokalava H., senior lecturer
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: СУЩНОСТЬ, ПРИНЦИПЫ И ВИДЫ **68**
Власова С. А., студ., Антошков А. В., ст. преп.
Гатчинский государственный университет, г. Гатчина, Российская Федерация

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СФЕРУ ОБРАЗОВАНИЯ **71**
Глазкова М. И., студ., Лысак О. Г., к.п.н., доц.
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Российская Федерация

ПОДГОТОВКА КАДРОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК УСЛОВИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ **73**
Нечай А. А., к.пед.н.
Санкт-Петербургский университет МВД России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ МОТОРНЫХ НАМЕРЕНИЙ В БИОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗАХ НА ОСНОВЕ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ЭМГ И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ **76**
Долгов Я. В., студ., Судаков Д. Е., ст. преп.
Тамбовский государственный технический университет, г Тамбов, Российская Федерация

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОГО КАБИНЕТА..... 78
Евстигнеева Е. П., студ., Кузнецова А. В., студ., Судаков Д. Е., к.т.н.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация

АВТОНОМНОСТЬ ВМЕСТО ОБЛАКА: ОФЛАЙН-РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧИ В УМНЫХ ОЧКАХ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С НАРУШЕНИЯМИ СЛУХА 81
Кузнецова А. В., студ., Петров И. Э., студ., Евстигнеева Е. П., студ., Фролов С.В., д.т.н., проф.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СНА МЛАДЕНЦА И ЕГО ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ЗДОРОВЬЯ..... 84
Любавина М. А., студ., Филиппов А. Д., студ., Фролова Т. А., к.т.н., доц.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ФАКТОР ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВА 87
Соркин И. М., студ., Бабкина А. А., ст. преп.
Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

ENJOYTHEVR – A VR PLATFORM FOR SMARTPHONES 89
Zhironkin E. S., student, Gorbatov G.V., senior lecturer
MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПЕРЦЕПТИВНОГО ХЕШИРОВАНИЯ ДЛЯ ДЕДУПЛИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ 92
Вегера К. С., студ., Бураков Д. И., бак., Скиба И. Г., асс.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

ГОМОМОРФНОЕ ШИФРОВАНИЕ И ЕГО ПРАКТИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ..... 94
Гимпель К. А., студ., Завалей В. А., бак., инж.-прогр., Мигалевич С. А., м.т.н., ст. преп.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

СРАВНЕНИЕ АРХИТЕКТУР CNN-TRANSFORMER И CNN-LSTM ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЗАДАЧЕ ВЕРИФИКАЦИИ ПОДПИСЕЙ НА ОСНОВЕ НАБОРА ОБРАЗЦОВ..... 96
Касьян В. А., студ., Бураков Д. И., бак., Марков А. Н., м.т.н., ст. преп.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

ФОНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ В ГЛОБАЛЬНОМ EDTECH: ТРЕНД НА ПОВЫШЕНИЕ ИНКЛЮЗИВНОСТИ И ТОЧНОСТИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ..... 99
Лямцев Г. К., студ., Ситников А. В., инж.-пр. ЦИИР, Нестеренков С. Н., к.т.н., доц.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУР ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ С ОПЕРАЦИЯМИ ВСТАВКИ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ МИНИМУМА 102
Марковец Р. С., студ., Мамченко К. А., бак., Марков А. Н., м.т.н., ст. преп.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРОТОКОЛА ACTIVITYPUB В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ 105
Середа И. С., студ., Тимошек Е. С., бак., Скиба И. Г., асс.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ОБЛАСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ УЧАСТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ 107
Невдах А. С., студ., Михайлова Н. А., ст. преп.
Белорусский государственный экономический университет, г. Минск, Республика Беларусь

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТАМОЖЕННЫХ ОРГАНОВ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ 109
Сигейкина В. О., студ., Ковалевская А. Д., студ., Мазаник Ю. М., к.э.н., доц.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АССИСТЕНТА РЕГИОНАЛЬНОГО ТУРИЗМА НА ОСНОВЕ МЕССЕНДЖЕРА, БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ И ВЕКТОРНЫХ БАЗ ДАННЫХ..... 111
Карпович А. О., вып., Янкевич Е. М., к.э.н., доц.
Витебский государственный университет им. П. М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь

СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ И РАЗРЕЗЫ ГРАФОВ ДЛЯ ШАРДИРОВАНИЯ И РЕПЛИКАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ..... 114
Проскочилов М. Д., студ., Токарь Г. М., студ., студ., Мацуганова М. Д., преп-ст.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛЕНДИНГА ЧЕРЕЗ МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ: КЛАСТЕРЫ, ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ И РЕГРЕССИЯ..... 117
Проскочилов М. Д., студ.,Токарь Г. М., студ., Мацуганова М. Д., преп-ст.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

4.6 Автоматизация производственных процессов

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ПРИБОРНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ 120
Артюхович А. М., студ., Кириллов А. Г., к.т.н., доц., Мурычева В. В., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ БЛОКОВ ВТОРИЧНЫХ ПОКАЗЫВАЮЩИХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ 122
Демко Д. В., студ., Кириллов А. Г., к.т.н., доц., Куксевич В. Ф., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ ДЛЯ МАНИПУЛИРОВАНИЯ И СОРТИРОВКИ ДЕТАЛЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ 124
Кириллов А. Г., к.т.н., доц., Куксевич В. Ф., ст. преп., Мурычева В. В., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕПИ С АКТИВНО-ИНДУКТИВНЫМ ХАРАКТЕРОМ НАГРУЗКИ..... 127
Куксевич В. Ф., ст. преп., Клименкова С. А., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА НАСТОЛЬНОГО ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ 129
Лойко А. Д., студ., Белов А. А., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАСЧЁТ И ПОСТРОЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ **131**
Новиков Ю. В., к.т.н., доц., Куксевич В. Ф., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ МАТЕРИАЛА ЗАКРЕПОЧНОГО ПОЛУАВТОМАТА С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ **134**
Новиков Ю. В., к.т.н., доц., Куксевич В. Ф., ст. преп., Лагун Д. И., студ.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СКЛЕЙКИ КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ **136**
Самусев А. М., асп., Тёмкин Д. А., асп., Мельник В. Д., студ.,
Кузнецов А. А., д.т.н., проф., Науменко А. М., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА СХВАТА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА ПР-4 ..... **139**
Суцис К. А., студ., Белов А. А., доц.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СОРТИРОВКИ КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ **141**
Захаревич А. А., студ., Тёмкин Д. А., асп., Самусев А. М., асп, Науменко А. М., к.т.н.,
Джежора А. А., д.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАТЧИКА ОЗОНА В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ **144**
Салманович С. И., студ., Леонов В. В., ст. преп., Тёмкин Д. А., асп., Самусев А. М., асп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИКЕЛЬ-ЦИНКОВЫХ ФЕРРИТОВ $(Ni_{1-x}Zn_x)Fe_2O_4$ **С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ СОСТАВА** **147**
Шут В. Н., д.ф.-м.н., проф.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ОБРАТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОДОШВ ОБУВИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-СКАНИРОВАНИЯ **149**
Науменко А. М., к.т.н., Леонов В. В., ст. преп., Кисель К. С., студ. Точилин А. С., студ.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ **152**
Джежора А. А., д.т.н., доц.,
Науменко А. М., к.т.н., Буткевич В. Г., к.т.н., доц., Юрченко О. Н., асп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ГИДРОСИСТЕМЫ СТАНКА **155**
Кульминский Ю. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь

ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ **157**
Белов Д. А., асп., Иванов В. А., д.т.н., проф.
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Российская Федерация

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ЗАМЕРНЫЕ УСТАНОВКИ СКВАЖИННОГО ФЛЮИДА **160**
Курочкина Д. М., студ., Краснов А. Н., к.т.н., доц.
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ **163**
Рубцов К. Д., асп.
Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск, Российская Федерация

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ДАТАСЕТА ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКЕ **166**
Преображенский Е. В., к.т.н., доц., Маркелов Е. Е., асп., Галкин В. И., д.т.н., проф.
Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), г. Москва, Российская Федерация

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ПРАВКИ ТОКОПРОВОДЯЩЕГО ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА **169**
Борисов М. А., к.т.н., доц., Надеждина О. А., ст. преп.
Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Российская Федерация

ТРЕНАЖЕРНЫЙ СТЕНД ПИЛОТИРОВАНИЯ БПЛА **172**
Чупахин И. А., студ., Демидов М. С., студ., Гребенникова Н. М., к.т.н., доц.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ **174**
Савинова К. С., к.т.н., асс.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация

СРАВНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ И АЛЬТЕРНАТИВНОЙ КОНЦЕПЦИЙ РЕГУЛЯЦИИ КРОВООБРАЩЕНИЯ С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ **177**
Коробов А. А., к.т.н., доц.
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВИБРАЦИОННОГО ДАТЧИКА НАСОСНОГО АГРЕГАТА В ДИСКРЕТНОМ ВРЕМЕНИ **179**
Хаитова А. Р., преп.
Международная академия исламоведения Узбекистана, г. Ташкент, Республика Узбекистан

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ КОРЗИНОЧНЫХ ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННЫХ КАТУШЕК **182**
Медведева Т. С., лаб., Ковалевский Д. О., лаб.
Херсонский технический университет

4.7 Теплоэнергетика

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ **185**
Голомуздова А. А., маг., преп.-стажер, Путеев Н. В., к.т.н., доц.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ **189**
Новикова В. А., студ., Жерносек С. В., к.т.н., доц., Марущак А. С., асс.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6-35 кВ 192
Филатов Д. А., студ., Исаков Р. Г., к.т.н., доц.
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева, г. Казань, Российская Федерация

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНОВ 194
Рудаков С. А., асс., асп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

МЕХАНИЗМЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДЕГРАДАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ UVC-ИЗЛУЧЕНИЯ 198
Сузень П. В., студ., Рудаков С. А., асс.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

О ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УРАВНЕНИЙ ГИПОТЕЗЫ КОМПЛАНАРНОСТИ В ДЕВИАТОРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ НАПРЯЖЕНИЙ 200
Субботин С. Л., д.т.н., проф., Алексеев А. А., к.т.н., доц, Гультяев В. И., д.т.н., проф.
Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Российская Федерация

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНАЛОВ ТЕОРИИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПЛОСКИХ ТРАЕКТОРИЯХ ДЕФОРМАЦИИ 204
Алексеев А. А., к.т.н., доц, Субботин С. Л., д.т.н., проф., Гультяев В. И., д.т.н., проф., Булгаков А.Н., асп.
Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Российская Федерация

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ ПО ПЛОСКИМ ТРАЕКТОРИЯМ С УЧАСТКАМИ ПОСТОЯННОЙ КРИВИЗНЫ 207
Алексеева Е. Г., к.т.н., доц.
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЫ ПЛАСТИЧНОСТИ И ИХ АППРОКСИМАЦИЯ ПРИ СЛОЖНОМ РЕВЕРСИВНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПО ДВУХЗВЕННЫМ ТРАЕКТОРИЯМ 210
Гультяев В. И., д.т.н., Субботин С. Л., д.т.н., Алексеев А. А., к.т.н., Булгаков А. Н., асс.
Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Российская Федерация

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ И ТОПОЛОГИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ НА УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ЗАДАННОМ ОГРАНИЧЕНИИ ПО ВЕСУ 214
Хотенов К. А., студ., Алексеева Е. Г., к.т.н., доц.
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

4.8 Технология машиностроения

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВИБРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ 217
Буткевич В. Г., к.т.н., доц., Москалёв Г. И., к.т.н., доц., Латушкин Д. Г., ст. преп., Дубаневич Д. Т., ст. преп., Князева К. И., студ.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И СИЛОВОЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ РУЧНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПРИВОДА ДЛЯ ПОВОРОТНО-ОПОРНЫХ МЕХАНИЗМОВ 220
Буевич О. В., маг., Ковчур А. С., к.т.н., доц., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ АСПИРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ **223**
Копачев П. Ю., маг., Махаринский Ю. Е., доц.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ОСОБЕННОСТИ ТРЁХМЕРНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МЕТАЛЛОПРОФИЛЯ **225**
Щенникова К. В., студ., Климентьев А. Л., ст. преп., Котович А. В., асс.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

КОКПИТ ДЛЯ АВТОСИМУЛЯТОРА **228**
Залесский С. В., студ., Окунев Р. В., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТА ОБШИВКИ СО ВСТРОЕННЫМ МОДУЛЕМ ИНДИКАЦИИ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА **230**
Мастыков Н. А., студ., Голубев А. Н., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТОВ И ГЕНЕРАЦИИ 3D-МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЭКСТРУДЕРА **233**
Мостовщиков А. А., студ., Голубев А. Н., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УМЕНЬШЕНИЯ УТЕЧЕК В АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ НАСОСАХ **236**
Кривенков В. В., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ОКОН ПИТАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УЗЛА АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО НАСОСА **239**
Дубинский В. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТИ РОТОРОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ **242**
Тарун П. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ МЕТОДОВ МИНИМИЗАЦИИ ШУМОВОГО ПОТОКА ГИДРОСТАНЦИИ **244**
Астапенко И. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ПОЛОЖЕНИЕ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ ПРИ ПОДБОРЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА **248**
Шатон Д. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ГИДРОСИСТЕМЫ ПРИВОДА РОТОРА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА **254**
Жуков Д. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

АНАЛИЗ СИСТЕМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ОПЕРАТОРА ИСТОЧНИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ 254
Хоменок Я. А., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ ВИДА БЕСКОНТАКТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ НА КПД ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ 257
Кузменков С. С., студ., Андреевец Ю. А., ст. преп.
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЛИНОВИДНЫХ ДЕТАЛЕЙ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ..... 260
Гордеева Е. П., студ., Преображенский Е. В., к.т.н., доц.
Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
г. Москва, Российская Федерация

LOGISTICS IN METALLURGY AND INDUSTRIAL TRANSPORTATION SYSTEMS: STRUCTURAL COMPONENTS, CHALLENGES AND QUALITY MANAGEMENT MECHANISMS 262
Konul Rasim Gasanova, Senior Lecturer
Azerbaijan Technological University, Ganja city, Azerbaijan

DIGITALIZATION AND MANAGEMENT OF LOGISTICS PROCESSES IN TECHNOPARKS..... 265
Mammadova G. R., PhD, associate professor, Mammadova X.M., assistant
Azerbaijan Technological University, Ganja city, Azerbaijan

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОСОЗУБОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ 268
Коовит В. С., студ., Лустенков М. Е., д.т.н., проф.
Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

4.9 Аддитивные технологии

АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБЗОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРЁХМЕРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА БАЗЕ ОБЛАКА ТОЧЕК..... 270
Кононок Я.Ф., студ., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ С КОНФОРМНЫМИ РЕШЁТЧАТЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ..... 274
Драница А. П., студ., Сафронов С. Д., студ.,
Ковчур А. С., к.т.н., доц., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

СЕРВИС ПО КОНТРАКТНОМУ РАСКРОЮ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ РИУП «НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА»..... 277
Кононок Я. Ф., студ., Кононок Е. О., студ., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ГАЛЬВАНОСТЕГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ..... 280
Лелявин А. Ю., студ., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

ВЫБОР КИНЕМАТИКИ FFF-ПРИНТЕРА НА ПЛАТФОРМЕ OPENBUILDS..... 282
Марусевич А. Р., студ., Климентьев А. Л., ст. преп.
Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь

АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ШТАТИВОВ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ХРАНЕНИЯ БИОМАТЕРИАЛА..... 285
Ефремова А. Я., асс., Пивовар М. Л., к.ф.н., доц.
Витебский государственный медицинский университет, г. Витебск, Республика Беларусь

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ ЛОПАСТИ ДЛЯ БПЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА..... 288
Раков А. А., студ., Кашапов В. Р., студ., Соловьев Н. А., студ.,
Просвирнин А. С., студ., Гручина У. Ю., студ., Иринина А. Ю., ст. преп.
Уральский федеральный университет. Институт естественных наук и математики,
г. Екатеринбург, Российская федерация.

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

59-й Международной научно-технической конференции
преподавателей и студентов
«ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЙ, ЭКОНОМИКИ, ОБЩЕСТВА»
(Education and Science in the development of Technology, Economy and Society
ESTES-2026)

в четырёх томах

ТОМ 4

Ответственный за выпуск – Берашевич И. В., Иванова А. А.
Дизайн обложки – Григорьева Н. В.
Оформление и вёрстка – Григорьева Н. В.
Редактор – Никифорова Р. А.

Подписано в печать 06.10.2026. Печать ризографическая. Гарнитура Arial.
Усл. печ. листов 37.8.
Уч.-изд. листов 36.5. Формат 60x90 1/8. Тираж 3 экз. Заказ № 269.

Данные материалы можно найти по адресу www.nic.vstu.by

Выпущено издательским сектором
Витебского государственного технологического университета.
210038, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.