16+

АЭТЕРНА
НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

AETERNA
SCIENTIFIC PUBLISHING CENTER

ISSN 2410-6070
№11-2-1/2026

ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА

ISSN 2410-6070

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-61597 от 30.04.2015

Размещение в Научной электронной библиотеке elibrary.ru
по договору №103-02/2015

Размещение в "КиберЛенинке" по договору №32505-01

Журнал размещен в международном каталоге периодических изданий
Ulruch's Periodicals Directory.

Все статьи индексируются системой Google Scholar.

Учредитель: ООО «Аэтерна»

Registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications PI № FS77-61597 from 30.04.2015

Loading in the Scientific electronic library elibrary.ru
under the contract №103-02 / 2015

Loading in "CyberLeninka" under contract №32505-01
The journal is located in the international catalog of periodicals
Ulruch's Periodicals Directory.

All journal articles are indexed by Google Scholar.

Founder: LLC "Aeterna"

Цена свободная. Распространяется по подписке.

Все статьи проходят экспертную проверку. Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.
Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.
При использовании и заимствовании материалов ссылка обязательна

The price of free. Distributed by subscription
All articles are reviewed. The point of view of edition not always coincides with the point of view of authors of published articles.
Authors of the articles are fully liable for the content of articles and for the fact of their publications. The editorial staff is not liable for any damage caused by the publication of the article to the authors and/or the third parties and organizations.
When you use and borrowing materials reference is obligatory.

Верстка: Мартиросян О.В. | Редактор/корректор: Некрасова Е.В.

Учредитель, издатель и редакция
Международного научного журнала «Инновационная наука»:
450057, г. Уфа, ул. Пушкина 120 | +7 347 266 60 68
https://aeterna-ufa.ru | info@aeterna-ufa.ru

Подписано в печать 20.11.2026 г. Дата выхода в свет 20.11.2026 г.
Формат 60x90/8. | Усл. печ. л. 23.20. | Тираж 500.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе ООО «Аэтерна»
450057, г. Уфа, ул. Пушкина 120 | +7 347 266 60 68
https://aeterna-ufa.ru | info@aeterna-ufa.ru

Главный редактор:
Сукиасян Асатур Альбертович, к.э.н.

Редакционный совет:
Абдуллин Тимур Зуфарович, к.т.н.
Абидова Гулмира Шухратовна, д.т.н.
Авазов Сардоржон Эркин угли, д.с.-х.н.
Агафонов Юрий Алексеевич, д.м.н.
Алейникова Елена Владимировна, д.гос.упр.
Алиев Закир Гусейн оглы, д.фил.агр.н.
Андрейчев Алексей Владимирович, к.б.н.
Бабаян Анжела Владиславовна, д.пед.н.
Баишева Зиля Вагизовна, д.фил.н.
Байгузина Люза Закиевна, к.э.н.
Булатова Айсылу Ильдаровна, к.соц.н.
Бурак Леонид Чеславович, к.т.н., PhD
Ванесян Ашот Саркисович, д.м.н.
Васильев Федор Петрович, д.ю.н., член РАЮН
Вельчинская Елена Васильевна, д.фарм.н.
Виневская Анна Вячеславовна, к.пед.н.
Габрусь Андрей Александрович, к.э.н.
Галимова Гузалия Абкадировна, к.э.н.
Гимранова Гузель Хамидулловна, к.э.н.
Григорьев Михаил Федосеевич, д.с.-х.н.
Грузинская Екатерина Игоревна, к.ю.н.
Гулиев Игбал Адилевич, к.э.н.
Датий Алексей Васильевич, д.м.н.
Долгов Дмитрий Иванович, к.э.н.
Дусматов Абдурахим Дусматович, к. т. н.
Ежкова Нина Сергеевна, д.пед.н.,
Екшикеев Тагер Кадырович, к.э.н.
Епхиева Марина Константиновна, к.пед.н., проф. РАЕ
Ефременко Евгений Сергеевич, к.м.н.
Закиров Мунавир Закиевич, к.т.н.
Зарипов Хусан Баходирович, PhD.
Иванова Нионила Ивановна, д.с.-х.н.
Калужина Светлана Анатольевна, д.х.н.
Канарейкин Александр Иванович, к.т.н.
Касимова Дилара Фаритовна, к.э.н.
Киракосян Сусана Арсеновна, к.ю.н.
Киркимбаева Жумагуль Слямбековна, д.вет.н.
Кленина Елена Анатольевна, к.филос.н.
Клещина Марина Геннадьевна, к.э.н.,
Козлов Юрий Павлович, д.б.н., заслуженный эколог РФ
Кондрашихин Андрей Борисович, д.э.н.
Кониковская Наталья Олеговна, к.э.н.
Конопацкова Ольга Михайловна, д.м.н.
Куликова Татьяна Ивановна, к.псих.н.
Курбанаева Лилия Хамматовна, к.э.н.
Курманова Лилия Рашидовна, д.э.н.
Ларионов Максим Викторович, д.б.н.
Малышкина Елена Владимировна, к.и. н.
Маркова Надежда Григорьевна, д.пед.н.
Мещерякова Алла Брониславовна, к.э.н.
Мухамадеева Зинфира Фанисовна, к.соц.н.
Мухамедова Гулчехра Рихсибаевна, к.пед.н.
Набиев Тухтамурод Сахобович, д.т.н.
Нурдавлятова Эльвира Фанизовна, к.э.н.
Песков Аркадий Евгеньевич, к.полит.н.
Половеня Сергей Иванович, к.т.н.
Пономарева Лариса Николаевна, к.э.н.
Почивалов Александр Владимирович, д.м.н.
Прошин Иван Александрович, д.т.н.
Равшанов Махмуд, д.филол. н.
Саттарова Рано Кадыровна, к.биол.н.,
Сафина Зиля Забировна, к.э.н.
Симонович Надежда Николаевна, к.псих. н.
Симонович Николай Евгеньевич, д.псих. н., академик РАЕН
Сирик Марина Сергеевна, к.ю.н.
Смирнов Павел Геннадьевич, к.пед.н.
Старцев Андрей Васильевич, д.т.н.
Танаева Замфира Рафисовна, д.пед.н.
Терзиев Венелин Кръстев, д.э.н., член РАЕ
Трифонова Елена Николаевна, к.э.н.
Умаров Бехзод Тургунпулатович, д.т.н.
Хайров Расим Золимхон углы, к.пед.н.
Хамзаев Иномжон Хамзаевич, к. т. н.
Хасанов Сайдинаби Сайдивалиевич, д.с.-х.н.
Чернышев Андрей Валентинович, д.э.н.
Чиладзе Георгий Бидзинович, д.э.н., д.ю.н., член РАЕ
Шилкина Елена Леонидовна, д.соц.н.
Шкирмонтов Александр Прокопьевич, д.т.н., член-РАЕ
Шляхов Станислав Михайлович, д.физ.-мат.н.
Шошин Сергей Владимирович, к.ю.н.
Юсупов Рахимьян Галимьянович, д.и. н.
Яковишина Татьяна Федоровна, д.т.н.
Янгиров Азат Вазирович, д.э.н.
Яруллин Рауль Рафаэллович, д.э.н., член РАЕ

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bashimova G. 9
LOW-LATENCY EDGE COMPUTING ARCHITECTURES FOR HIGH-DENSITY 5G AND NEXT-GENERATION WIRELESS NETWORKS

Huseynov I., Kheyirkhabarli R. 11
DEVELOPMENT OF A HIGHER-LEVEL OPTIMAL CONTROL SYSTEM FOR THE STABILIZATION UNIT OF A CATALYTIC REFORMING PLANT

Ibrahimzade S., Alizade N. 14
INVESTIGATION OF FREQUENCY REGULATION PROBLEMS AND ANALYSIS OF SOLUTION METHODS IN THE AZERBAIJAN ELECTRIC POWER SYSTEM

Isayeva T., Agacanov N., Ibrahimli M. 17
AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR ENERGY CONVERSION IN INDUSTRIAL PROCESSES

Jamalbayov M., Mustafayeva G. 21
DEVELOPMENT OF USER-CENTERED WEB SYSTEMS THROUGH THE SYNTHESIS OF FRONTEND DEVELOPMENT AND UX/Uİ DESIGN PRINCIPLES

Kalbiyev R.K., Gahramanova L.M. 24
ASSESSMENT OF INDUSTRIAL WASTE HEAT RECOVERY POTENTIAL IN AZERBAIJAN'S OIL AND PETROCHEMICAL SECTOR: TECHNOLOGIES, ENERGY SAVINGS AND IMPLEMENTATION CHALLENGES

Merkulov A.O. 34
ARCHITECTURAL APPROACHES TO BUILDING INTELLIGENT ENTERPRISE AUTOMATION SYSTEMS BASED ON NO-CODE AND AGENT-BASED SOLUTIONS

Sardarova I., Sardarli E., Khankishiyeva F. 38
AN EXTENDED ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM FOR NATURAL LANGUAGE DATABASE QUERYING USING LARGE LANGUAGE MODELS FOR ENTERPRISE SEARCH

Sardarova I., Ismayılzada A. 41
A DESCRIPTIVE ANALYSIS OF DASHBOARD USE AND DECISION PREPARATION IN AZERBAIJANI ENTERPRISES

Sardarova I., Agacanov N., Ismayilzade N. 47
DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR IMPROVING POWER QUALITY

Sardarova I., Agacanov N., Valizadeh G. 50
DEVELOPMENT OF A TEMPERATURE CONTROL SYSTEM USING A PID CONTROLLER

Sardarova I., Agacanov N., Mutallimov E. 53
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR A PACKAGING AND SORTING LINE

Адзянов А.В. 57
РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЁРА МЕДИЦИНСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ UNITY

Адзянов А.В. 60
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В ВИРТУАЛЬНОМ ТРЕНАЖЁРЕ МЕДИЦИНСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ

Атаев Ю., Сапаргелдиева Г., Мухамметвелиев Ю., Хайдаров Ы. 63
РАЗРАБОТКА НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ И ГЛИНИСТО-КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Бабаева Э., Керимов Ы., Мерданов Н., Мергенов Р. 65
БИОМАРКЕРНЫЕ И ИЗОТОПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛЮИДОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРИТОКОВ В МНОГОПЛАСТОВЫХ СКВАЖИНАХ

Байлиев Б.Н. 66
ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ В STEM-ОБУЧЕНИИ

Бакаев Н., Бердиев Б., Гурбанмырадова Б., Гурбанназаров О. 68
ГЕОХИМИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛИТИЯ, НИОБИЯ, ТАНТАЛА, КОБАЛЬТА

Батуева С.Г. 69
МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИЗОБРЕТЕНИЙ И РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ СУДОСТРОЕНИЯ

Гадиев Ф.Х., Хасанов Р.А. 72
ВЫБОР ИНТЕРВАЛА ПОВТОРНОЙ ТОЛЩИНОМЕТРИИ НАПОРНЫХ ЛИНИЙ МОРСКИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Гадиев Ф.Х., Хасанов Р.А. 75
КОНТРОЛЬ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ПЕРЕД МОРСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ С УЧЕТОМ ОХВАТА КРИТИЧЕСКИХ ЗОН

Гараева О. 78
СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Герасенков А.С. 80
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАССЕЯННОЙ ЭНЕРГИИ

Джомартов М., Хайдаров А. 83
РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ СОБИРАТЕЛЕЙ И ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ВЗАМЕН ТОКСИЧНЫХ ХИМИКАТОВ: СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА СТОЧНЫЕ ВОДЫ

Джуманазаров Э. 85
ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ-МАНИПУЛЯТОРАМИ

Зайцев М.О., Сахапова Т.Р. 87
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕР ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ГАЗОВЫХ ПРОМЫСЛАХ

Исайева Т.М., Рагимов Р. Дж. 88
АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Кулиева М. 92
ОЦЕНИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ В STEM-ОБРАЗОВАНИИ

Максадова М., Оденязова А., Оразгылыджов Д., Овезова А. 94
КИНЕТИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ЕЁ КАЛИБРОВКА НА ФАКТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЛЮИДОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Мартенюк А.В. 96
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФЕДЕРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ПРИВАТНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ: КОМПРОМИСС МЕЖДУ ТОЧНОСТЬЮ И КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬЮ

Михонина Д. А., Федорова А.В. 98
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Мовламов Д., Датдовов О., Айлиев Ш. 102
ПОЛУЧЕНИЕ КВОТ УГЛЕВОДОРОДОВ ЗА СЧЕТ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ МЕТАНА

Мовламов Д., Хуммиев А., Хайдаров Б. 104
СОКРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ МЕТАНА ПУТЕМ ОЧИСТКИ БУРОВОГО РАСТВОРА ОТ МЕТАНА

Мовламов Д., Хуммиев А., Байрамов М. 106
РАЗРАБОТКА НОВЫХ СОСТАВОВ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНОГО СЫРЬЯ

Мовламов Д., Хуммиев А., Хаджыев А. 107
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОСВОБОЖДЕНИЯ ЗАСТРЯВШИХ БУРИЛЬНЫХ КОЛОНН ПРИ БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Мовламов Д., Хуммиев А., Датдовов О. 109
СВЕРХДЛИННЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ СКВАЖИНЫ И МНОГОСТАДИЙНЫЙ ГРП КАК БАЗОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОСВОЕНИЯ ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ

Мовламов Д., Мезилова Г., Хуммиев А. 111
НОВЫЕ СХЕМЫ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА НА СВЕРХНИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ПОРОДАХ

Мовламов Д., Атаев Ю., Хуммиев А. 112
ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ СКВАЖИНЫ И БУРОВОЙ УСТАНОВКИ: АРХИТЕКТУРА, ПРИМЕНЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Мовламов Д., Сапаров Б., Хаджыев А. 114
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ И ПЛАНИРОВАНИИ СКВАЖИН

Мовламов Д., Сапаров Б., Хуммиев А. 116
ЗАМКНУТЫЙ ЦИКЛ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ И КОНТРОЛЬ МЕТАНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СКВАЖИН

Мовламов Д., Атаев Ю., Ханмырадов А. 117
РЕМОНТНО-ИЗОЛЯЦИОННЫЕ РАБОТЫ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОНДА СТАРЫХ СКВАЖИН НА ВЫРАБОТАННЫХ ПЛОЩАДЯХ

Овезова О. 119
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Реджепова Г., Шохрадова М., Ашыров Ю., Сейидов М. 121
ОБЗОР И ОПТИМИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ СХЕМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Сакр Дыя 122
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРОГРАММНОМ ОБРАТНОМ ИНЖИНИРИНГЕ: ВОЗМОЖНОСТИ, ОГРАНИЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЩЕЕ

Таганов Ч., Акыев Д., Мамметяров Р., Джанузаков Ю. 140
STEM-ОБРАЗОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРНЫХ ДИСЦИПЛИНАХ

Хасанов Р.А., Четвертнева И.А. 142
РАСЧЁТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОСТАНОВКИ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ С УЧЁТОМ ОХЛАЖДЕНИЯ И КИНЕТИКИ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

Хасанов Р.А., Четвертнева И.А. 146
ОБВОДНЁННОСТЬ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ ОСТАНОВОК В ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЕ

Худайназаров Б., Оразова Ч., Бердиева Г., Пашыев Ю. 150
ГЕОХИМИЯ РЗЭ В РЕГОЛИТЕ И ГЛИНИСТЫХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Чарыев А.Б. 152
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, РОБОТОТЕХНИКА И ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ В STEM-ОБУЧЕНИИ

Шохрадова М., Аташов С., Агаджанова А., Джурабаев А. 153
СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕПОЧЕК ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК ИСХОДНОЙ РУДЫ

Шохрадова М., Джомартов М., Атаныязова М., Худаяров М. 155
АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕЛЬНИЦАМИ ПОЛУСАМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ МИНИМИЗАЦИИ ПЕРЕИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Шохрадова М., Ашыров Ю., Атаныязова М., Худаяров М. 156
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА КРУПНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ, КОНТРОЛЯ ПЕННОГО ПРОДУКТА ФЛОТАЦИИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ФУТЕРОВКИ МЕЛЬНИЦ

Шохрадова М., Уткиров А., Хайдаров Ш. 158
ТЕХНОЛОГИИ ДООБОГАЩЕНИЯ СТАРЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Эльясов Э., Оразов О., Шамаммедова О., Сайылова А. 160
ВОДОРОДНЫЕ ПРОЕКТЫ НА БАЗЕ ПОПУТНОГО ГАЗА; «ГОЛУБЫЙ» ВОДОРОД

Яранова Д., Аймухуммедов Р., Ашырова Г., Дурдыев М. 161
ВТОРИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ: БИОДЕГРАДАЦИЯ, СУЛЬФАТРЕДУКЦИЯ

ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Baymyradova B., Merdanova N. 165
THE STYLISTIC ISSUE OF TRANSLATING LITERARY WORKS

Баранова М.Д. 167
СТРАТЕГИИ И ПРИЕМЫ ПЕРЕВОДА ФОЛЬКЛОРНЫХ И МИФОЛОГИЧЕСКИХ ОНИМОВ В СКАЗКЕ ДЖ. Р. Р. ТОЛКИНА «ФЕРМЕР ДЖАЙЛС ИЗ ХЭМА»

Джамшедов П. Д., Султонова О. Т. 173
ФРАЗЕОЛОГИЗМЫ ЭМОЦИЙ В ТАДЖИКСКОМ, РУССКОМ И АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКАХ

Хо Т.Т. 176
ПЛАТФОРМЕННАЯ СРЕДА КАК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ МОЛОДЕЖНЫХ ИЗДАНИЙ ВЬЕТНАМА: ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ

ЮРИДИЧЕСКИЕ НАУКИ

Андрющенко К.А. 180
ОБЖАЛОВАНИЕ МЕР ПРОЦЕССУАЛЬНОГО ПРИНУЖДЕНИЯ В АДМИНИСТРАТИВНОМ СУДОПРОИЗВОДСТВЕ: СПОСОБЫ И СУБЪЕКТЫ

Аркадьева М.П. 182
ЯЗЫК ЗАКОНА И ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ РЕЧЕВАЯ КУЛЬТУРА ЮРИСТА

Фомина-Лысюк Д.Д., Кремёнов И.Н. 183
РАЗРЕШЕНИЕ АДМИНИСТРАТИВНЫХ СПОРОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Фомина-Лысюк Д.Д., Кремёнов И.Н. 189
СОВРЕМЕННЫЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗРЕШЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНЫХ СПОРОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

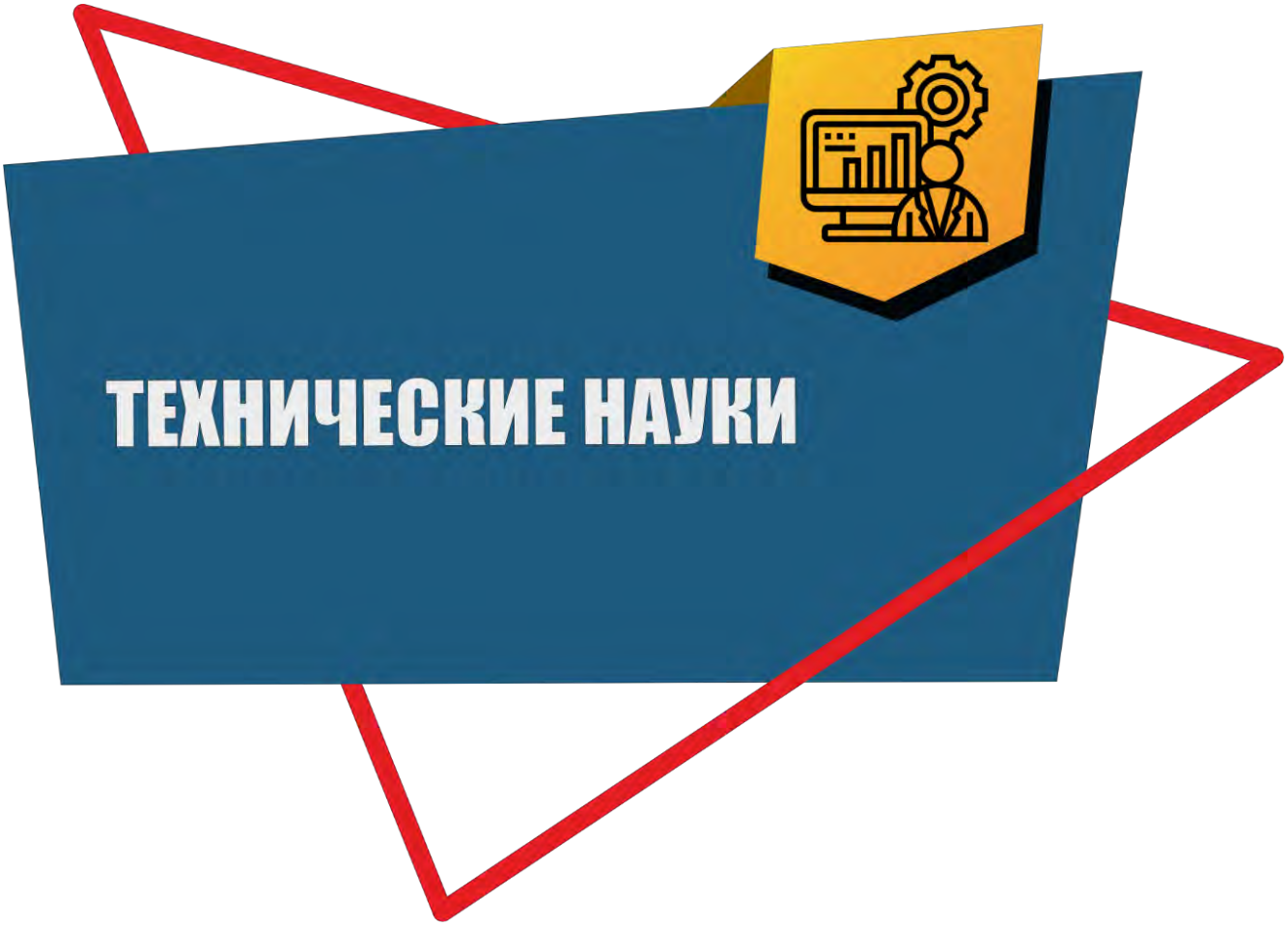
МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

Аширов Ш.Я. 193
ОСЛОЖНЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ЖЕЛЧНОКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ И ПОСТХОЛЕЦИСТЭКТОМИЧЕСКИЙ СИНДРОМ

Гуллыева А.М. 194
МОЗГОВЫЕ ОБОЛОЧКИ И ВЕНОЗНЫЕ СИНУСЫ ТВЁРДОЙ ОБОЛОЧКИ ГОЛОВНОГО МОЗГА: АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Оразова С.Б. 196
КИСТЫ И ОПУХОЛИ: СКРЫТЫЕ УГРОЗЫ ПОЛОСТИ РТА И МЕТОДЫ ИХ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ

Оразова С.Б. 198
ПЕРЕЛОМЫ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ДИАГНОСТИКА И ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ


ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 62

Bashimova Gurbanbike,
lecturer
Institute of Telecommunications and Informatics of Turkmenistan.
Ashgabat, Turkmenistan

LOW-LATENCY EDGE COMPUTING ARCHITECTURES FOR HIGH-DENSITY 5G AND NEXT-GENERATION WIRELESS NETWORKS

Abstract

The rapid proliferation of mission-critical wireless applications—including autonomous vehicle coordination, augmented reality, and industrial internet of things (IoT)—demands unprecedented levels of ultra-reliable low-latency communication (URLLC). Traditional centralized cloud computing architectures introduce prohibitive backhaul transmission delays and jitter when handling the massive data volumes generated by high-density 5G and next-generation wireless networks. This article examines the architectural integration of Multi-Access Edge Computing (MEC) within 5G and emerging wireless ecosystems to achieve sub-millisecond latencies. By decentralizing computation and caching intelligence directly at the radio access network (RAN) edge, edge architectures minimize wide-area network transit times. Furthermore, the synthesis of network slicing, containerized microservices, and AI-driven orchestration enables dynamic resource allocation under extreme user density, establishing a robust foundation for future 6G infrastructures.

Keywords:

edge computing, low-latency, 5G networks, multi-access edge computing (MEC), ultra-reliable low-latency communication (URLLC), network slicing, wireless architecture.

Introduction

Fifth-generation (5G) wireless networks and their successors are fundamentally transforming global digital infrastructure, shifting mobile connectivity from simple human communication to massive machine-type and mission-critical communications. However, applications such as real-time tactile internet, autonomous driving, and immersive extended reality (XR) impose stringent latency thresholds, often requiring round-trip response times of less than ten milliseconds. In conventional cellular topologies, user equipment transmits data through base stations across extensive backhaul links to centralized cloud data centers, where heavy computation and storage reside. This centralized model inherently introduces unacceptable propagation and queuing delays, making it inadequate for latency-sensitive workloads operating in high-density urban or industrial environments.

To overcome these physical bottlenecks, network architects are increasingly turning to edge computing paradigms that bring computational power closer to the data source. By placing micro-data centers directly at the base station site or within the local aggregation network, multi-access edge computing (MEC) bypasses core network congestion and reduces backhaul transit distances. Nevertheless, deploying distributed edge nodes in high-density wireless environments introduces complex challenges regarding resource management, mobility support, and inter-edge coordination. Understanding how modern edge architectures integrate with 5G radio access networks is crucial for engineering scalable, ultra-low-latency wireless systems.

Main Part

Multi-Access Edge Computing (MEC) serves as the architectural cornerstone for low-latency 5G deployments, embedding cloud and IT service environments within the radio access network (RAN). By leveraging virtualization technologies such as lightweight containers and hypervisors, MEC nodes can instantiate

localized application services dynamically in response to localized traffic surges. When a high-density cluster of users initiates bandwidth-intensive requests, the 5G user plane function (UPF) intelligently intercepts and reroutes localized data paths directly to nearby edge servers, bypassing the central core network entirely. This proximity drastically curtails propagation delay and jitter, ensuring predictable network performance even when millions of connected devices vie for wireless medium access simultaneously.

The operational efficiency of low-latency edge architectures is further amplified by advanced network management paradigms, notably 5G network slicing and artificial intelligence (AI)-driven orchestration. Network slicing allows operators to partition a single physical 5G infrastructure into multiple virtualized end-to-end networks tailored to specific latency and reliability profiles, dedicating isolated edge computing slices exclusively to mission-critical applications. Concurrently, machine learning algorithms deployed at the edge monitor channel quality indicators, traffic arrival rates, and server loads in real time, executing predictive caching and preemptive task offloading. If a mobile user moves between cell towers, intelligent orchestration frameworks seamlessly migrate virtual container states to the target edge node before handoff completion, preserving session continuity without perceptible latency spikes.

Despite these technological advancements, high-density wireless edge deployment encounters significant engineering constraints, particularly concerning thermal management, power consumption, and resource contention. Edge data centers operate in constrained physical spaces—such as cellular base station cabinets or street furniture—where cooling and electrical power supplies are strictly limited. Furthermore, in densely populated metropolitan areas, transient surges in user demand can saturate local edge computational capacity. To mitigate these bottlenecks, next-generation architectures incorporate collaborative peer-to-peer edge offloading, enabling underutilized neighboring edge nodes to share processing workloads dynamically through high-speed fronthaul links, thereby maintaining system-wide responsiveness under heavy load.

Conclusion

Low-latency edge computing architectures represent a paradigm shift in wireless network design, replacing rigid centralized models with agile, distributed intelligence. By fusing multi-access edge computing with 5G RAN capabilities, network operators can process mission-critical data locally, effectively eliminating backhaul latency and supporting the rigorous demands of high-density, real-time applications. The synergistic combination of network slicing, containerized virtualization, and predictive AI orchestration ensures that edge nodes can adapt dynamically to fluctuating user density and mobility patterns.

Looking ahead toward the realization of 6G and hyper-dense wireless ecosystems, the evolution of edge computing will depend heavily on energy-efficient hardware acceleration and decentralized security protocols. Developing ultra-compact, fault-tolerant edge nodes capable of autonomous operation will be essential for scaling connectivity in smart cities and industrial automation. By continuing to bridge the gap between wireless access and distributed cloud computing, future networks will unlock unprecedented levels of responsiveness, reliability, and capability.

References:

1. Hu, Y. C., Patel, M., Sabella, D., Sprecher, N., & Young, V. IEEE Network, 2015, Piscataway.
2. Mao, Y., You, C., Zhang, J., Huang, K., & Letaief, K. B. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, Piscataway.
3. Taleb, T., Samdanis, K., Mada, B., Flinck, H., Dutta, S., & Sabella, D. IEEE Access, 2017, Piscataway.
4. Abbas, N., Zhang, Y., Taherkordi, A., & Skeie, T. IEEE Internet of Things Journal, 2018, Piscataway.
5. Porambage, P., Gür G., Osorio D. P. M., Liyanage M., Ylianttila M., & Taleb T. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018, Piscataway.

© Bashimova G., 2026

UDC 665.644:681.513

Huseynov I.,
Associate professor,
Kheyirkhabarli R.
Master's degree student
Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku, Azerbaijan

DEVELOPMENT OF A HIGHER-LEVEL OPTIMAL CONTROL SYSTEM FOR THE STABILIZATION UNIT OF A CATALYTIC REFORMING PLANT

Abstract

This research focuses on the development of a higher-level optimal control system for the stabilization unit of a catalytic reforming plant, where process stability, operational efficiency, and product quality are essential for reliable technological performance. The primary objective is to optimize the operation of the stabilization unit, maintain key technological parameters within desired limits, and improve the overall efficiency of the control system under varying operating conditions.

The study examines the fundamental principles of advanced process control, including mathematical modeling, optimization algorithms, and the coordination of technological parameters.

Furthermore, the research considers different optimization methods and evaluates their effectiveness in improving process stability, reducing energy consumption, and minimizing deviations from optimal operating conditions. The proposed control system is designed to ensure reliable operation, improve product quality, and enhance the overall efficiency of the catalytic reforming plant.

Keywords:
catalytic reforming, stabilization unit, optimal control system,
process optimization, advanced process control.

Introduction

The continuous development of industrial automation technologies has significantly increased the importance of advanced process control and optimization in modern chemical and petrochemical industries. Catalytic reforming is one of the key processes in petroleum refining, where maintaining optimal technological conditions is essential for ensuring product quality, operational stability, and energy efficiency. The stabilization unit plays an important role in this process by separating light hydrocarbons and maintaining the required properties of the final reformate product. However, its operation is influenced by various factors, including temperature, pressure, flow rate, feed composition, and changing process conditions. These factors create a need for advanced control strategies capable of ensuring stable and efficient operation. Higher-level optimal control systems provide opportunities to coordinate technological parameters, improve process performance, and reduce unnecessary energy consumption [1].

The development of a higher-level optimal control system for the stabilization unit requires a comprehensive understanding of technological processes, mathematical modeling, optimization methods, and automated control principles. The system must consider the relationships between key process variables and determine operating conditions that satisfy technological and economic requirements. Furthermore, the integration of real-time process data, optimization algorithms, and existing automatic control systems enables continuous monitoring and adjustment of operating parameters. Mathematical modeling and simulation techniques can also be applied to evaluate system behavior and identify optimal operating conditions. This study aims to develop a higher-level optimal control system for the stabilization unit of a catalytic reforming plant, with

particular emphasis on improving process stability, optimizing technological parameters, reducing energy consumption, and enhancing product quality and overall operational efficiency [2].

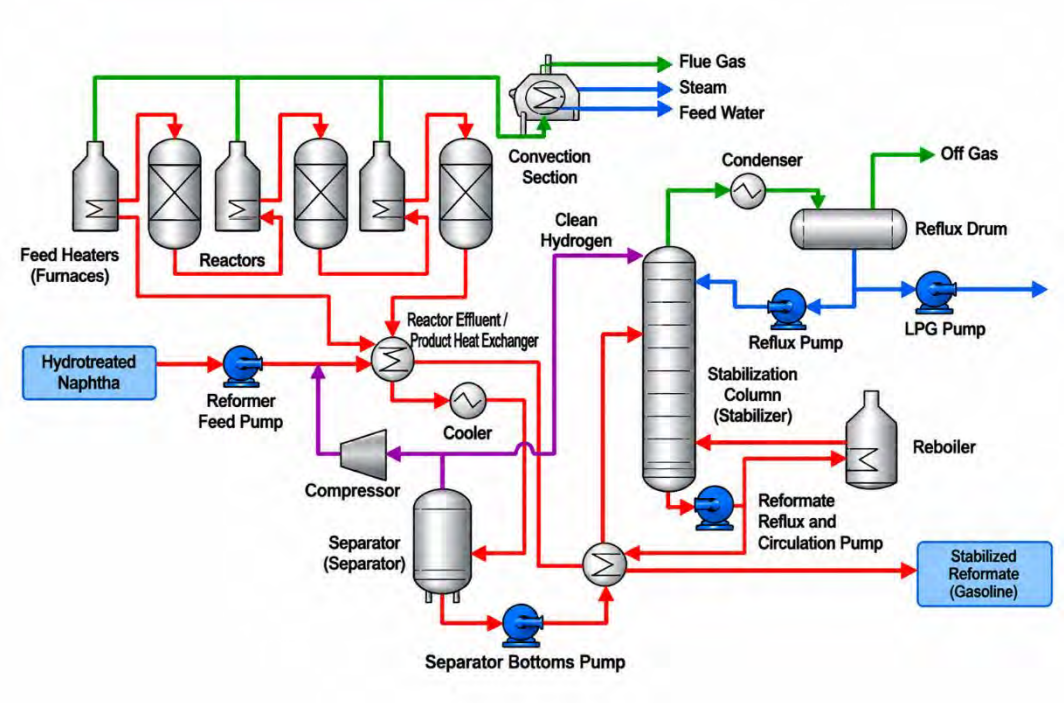


Figure 1 – Catalytic reforming process

The catalytic reforming process is one of the most important processes in the petroleum refining industry. It is primarily used to improve the quality of gasoline by converting low-octane naphtha into high-octane reformate. This process takes place in the presence of special catalysts under controlled temperature and pressure conditions. It also produces hydrogen, which is an important component used in other refinery operations.

The main purpose of catalytic reforming is to increase the octane number of gasoline, improve fuel quality, and obtain valuable petroleum products. During the process, the hydrocarbon molecules undergo several chemical reactions, including dehydrogenation, isomerization, cyclization, and dehydrocyclization. These reactions transform the original hydrocarbon structures into compounds with higher octane ratings, particularly aromatic hydrocarbons and branched-chain paraffins.

The catalytic reforming process generally consists of several main stages. First, the naphtha feedstock is mixed with hydrogen-rich gas and heated in feed heaters. The heated mixture then enters a series of catalytic reactors, where chemical transformations take place. Since these reactions require carefully maintained operating conditions, temperature and pressure must be continuously monitored and controlled. [3].

The liquid product is then transferred to the stabilization unit, where light hydrocarbons and dissolved gases are separated from the reformate. The stabilization column operates with supporting equipment such as a condenser, reflux drum, reboiler, and circulation pumps. As a result, stabilized high-octane reformate is obtained as the final product, while liquefied petroleum gas (LPG) and light gases are recovered as additional products [4].

In order to improve economic efficiency, reduce raw material losses, and minimize energy consumption (for example, reboiler heat duty) in the higher-level optimal control system, the following general objective function (criterion) can be used:

$$J = \int_0^{t_k} [\alpha * Q_{reb}(t)^2 + \beta * (y_{sp} - y((t))^2 + \gamma * \Delta u(t)^2] dt \rightarrow \min \quad (1)$$

Explanation of the Parameters in the Formula:

J - Optimization criterion (the objective function to be minimized);

Qreb(t)- Heat energy consumed by the reboiler (energy expenditure);

ysp - Required product quality level (setpoint value);

y(t) - Actual quality parameter of the output product;

Δu(t) - Rate of change of the control input (e.g., reflux flow rate or valve position);

α, β, γ - Weighting coefficients that regulate the relative priorities of economic efficiency, product quality, and control performance.

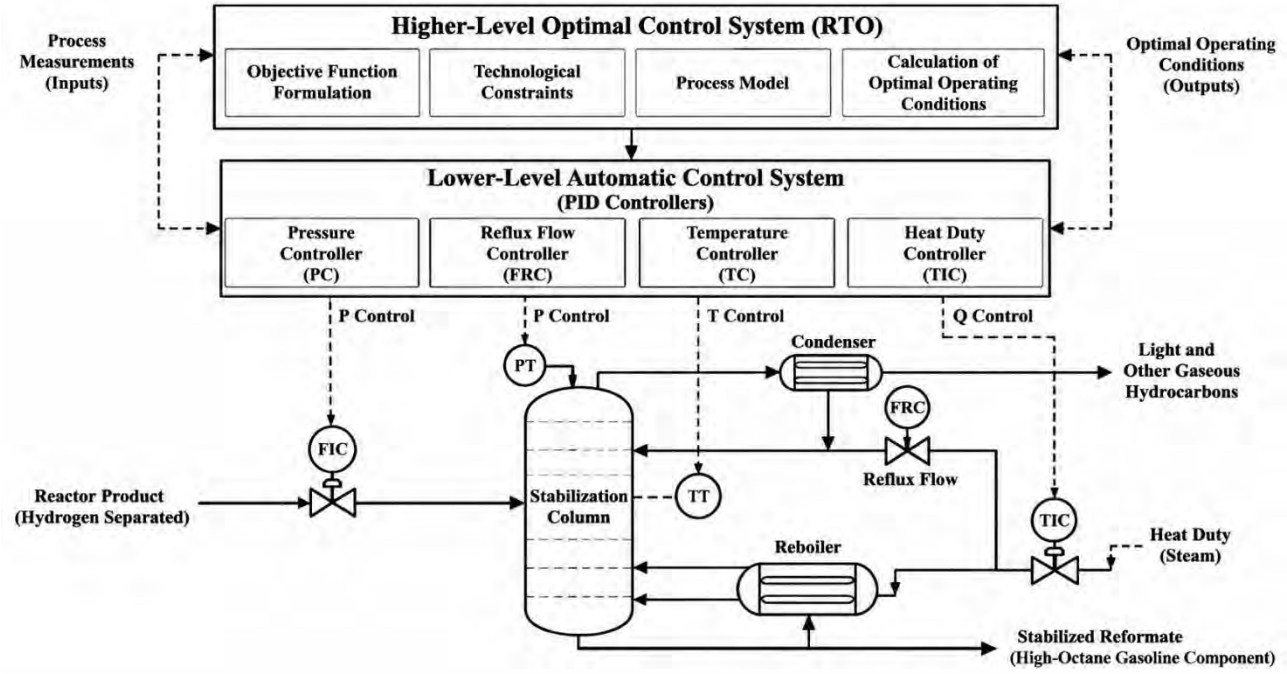


Figure 2 – Structural and Functional Diagram of the Higher-Level Optimal Control System for the Stabilization Unit of a Catalytic Reforming Plant

The structural-functional diagram illustrates the higher-level optimal control system designed for the stabilization unit of a catalytic reforming plant. The main purpose of this system is to optimize technological operations, improve product quality, reduce energy consumption, and ensure stable and efficient process performance.

The system consists of two main control levels: the higher-level optimal control system (RTO) and the lower-level automatic control system based on PID controllers.

The higher-level RTO system collects and analyzes process measurements, considers technological constraints, uses mathematical process models, and calculates optimal operating conditions. Based on the optimization results, it generates optimal setpoints for the lower-level control system.

The lower-level automatic control system regulates the main technological parameters, including pressure, reflux flow rate, temperature, and heat duty. PID controllers continuously compare measured values with the specified setpoints and adjust the corresponding control valves to maintain the required operating conditions.

The stabilization column is the main technological equipment of the unit. The reactor product, after hydrogen separation, enters the column, where light hydrocarbons are separated from the liquid reformate. The condenser cools the overhead vapors, while the reflux system returns part of the condensed liquid to the column. The reboiler provides the necessary heat for the separation process [5].

Conclusion

The development of a higher-level optimal control system for the stabilization unit of a catalytic reforming plant represents an effective approach to improving process efficiency, operational stability, and product quality. This study has examined the fundamental principles of advanced process control and optimization, emphasizing

the importance of mathematical modeling, technological parameter monitoring, and optimal operating condition selection. The analysis demonstrates that the integration of higher-level optimization with lower-level PID controllers enables more accurate regulation of pressure, temperature, reflux flow rate, and heat duty, reduces energy consumption and raw material losses, and improves the overall economic efficiency and reliability of the catalytic reforming stabilization unit.

List of used literature:

1. Damirova, C.R., & Huseynov, I. A. (2020). Design Methods for Automatic Control Systems of Technological Processes and Apparatuses. Baku: Azerbaijan State Oil and Industry University (ASOIU).
2. Gary, J.H., Handwerk, G.E., & Kaiser, M. J. (2007). Petroleum Refining: Technology and Economics (5th ed.). CRC Press.
3. Liu, Y. A., Chang, A. F., & Pashikanti, K. (2018). Petroleum Refinery Process Modeling: Integrated Optimization Tools and Applications. Wiley
4. Coker, A. K. (2018). Petroleum Refining Design and Applications Handbook, Volume 1. Wiley.
5. Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A., & Doyle, F. J. (2017). Process Dynamics and Control (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

© Huseynov I., Kheyirkhabarli R., 2026

UDC 621.3:681.5

Ibrahimzade S.,
Associate professor,
Alizade N.
Master's degree student
Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku, Azerbaijan

INVESTIGATION OF FREQUENCY REGULATION PROBLEMS AND ANALYSIS OF SOLUTION METHODS IN THE AZERBAIJAN ELECTRIC POWER SYSTEM

Abstract

The increasing integration of renewable energy sources, changes in electricity consumption patterns, and the growing complexity of modern power systems have made frequency regulation an important challenge for ensuring the stability and reliability of electrical power networks. This study investigates the main frequency regulation problems in the Azerbaijan electric power system and analyzes possible methods for addressing these challenges. Particular attention is given to the relationship between electricity generation and consumption, frequency deviations, load variations, and the operational characteristics of power generation units.

Furthermore, the research analyzes various technical and operational approaches to improving frequency regulation, including primary, secondary, and tertiary frequency control, energy storage systems, and the integration of renewable energy resources. The study emphasizes that the implementation of modern frequency control strategies and the coordinated operation of generation resources can improve the stability of the Azerbaijan electric power system, minimize frequency deviations, enhance operational reliability, and support the sustainable development of the national energy sector.

Keywords:

frequency regulation, Azerbaijan electric power system, frequency stability, automatic generation control, power system reliability

Introduction

The stable operation of modern electric power systems largely depends on maintaining a continuous balance between electricity generation and consumption. As electricity demand increases and the structure of energy production evolves, frequency regulation has become one of the most important challenges in ensuring the reliability, security, and efficiency of power systems. Frequency deviations may occur as a result of sudden changes in consumer demand, unexpected disconnection of generating units, transmission disturbances, and fluctuations in renewable energy production. Such deviations can negatively affect the performance of electrical equipment, reduce power quality, and, under severe conditions, threaten the stability of the entire power system. Therefore, effective frequency regulation is essential for maintaining the normal operating conditions of national electricity networks.

The Azerbaijan electric power system has specific operational characteristics associated with its generation structure, electricity consumption patterns, and interconnections with neighboring power systems. The increasing integration of renewable energy sources, particularly solar and wind power plants, creates additional requirements for frequency control due to the variable nature of their electricity generation. In this context, conventional frequency regulation methods must be supported by modern control technologies, accurate monitoring systems, and flexible generation management mechanisms. Primary, secondary, and tertiary frequency control, automatic generation control, and energy storage technologies represent important approaches to maintaining the balance between electricity supply and demand. This study aims to investigate the main frequency regulation problems in the Azerbaijan electric power system, examine the factors influencing frequency stability, and analyze technical and organizational methods that can improve regulation accuracy, operational reliability, and the overall stability of the national power system. [1,2].

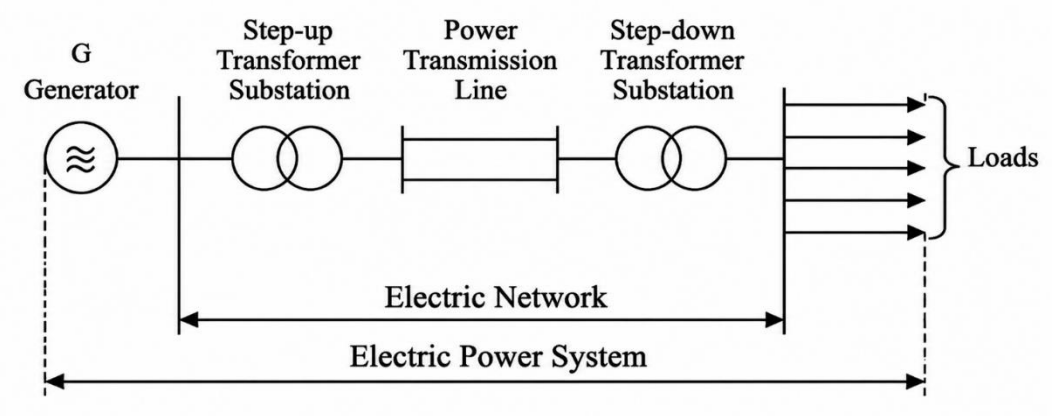


Figure 1 – Simplified structure of an electric power system and ıts main components

The figure illustrates the basic structure of an electric power system, showing the main stages of electricity generation, transmission, and consumption. The system consists of a generator, a step-up transformer substation, a power transmission line, a step-down transformer substation, and electrical loads.

The generator produces electrical energy, which is supplied to the step-up transformer substation, where the voltage is increased to reduce transmission losses over long distances. The generated electricity is then transmitted through high-voltage transmission lines to the step-down transformer substation, where the voltage is reduced to the required level for distribution to consumers. Finally, electrical energy is delivered to various loads, representing industrial, commercial, and residential consumers.

The diagram also distinguishes between the electric network and the overall electric power system. The electric network represents the interconnected infrastructure responsible for transmitting and distributing electrical energy, whereas the electric power system encompasses the entire process, from electricity generation to final consumption [3].

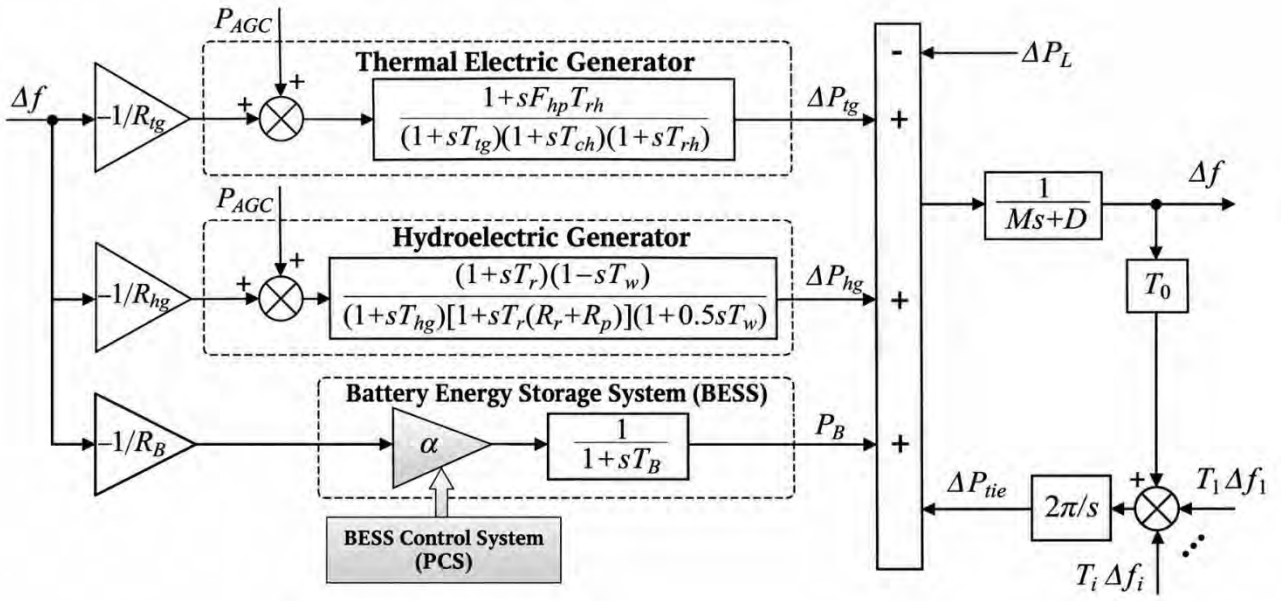


Figure 2 – Power configuration scheme of a battery Energy Storage System (BESS) for frequency regulation considering renewable energy penetration

The figure illustrates a power system frequency regulation model incorporating a Battery Energy Storage System (BESS) alongside thermal and hydroelectric generators. The proposed configuration demonstrates how different generation sources and energy storage technologies contribute to maintaining the balance between electricity generation and consumption.

The thermal electric generator and hydroelectric generator provide power system regulation through their respective control mechanisms. Their dynamic characteristics are represented by transfer functions, which describe the response of generating units to frequency deviations and automatic generation control (AGC) signals. The BESS is integrated into the system to provide additional frequency regulation support. Its control system (PCS) adjusts battery charging and discharging according to system requirements, enabling rapid compensation for power imbalances..

Overall, the proposed configuration demonstrates the potential of battery energy storage systems to reduce frequency deviations, improve regulation performance, compensate for sudden load variations, and enhance the stability and reliability of the Azerbaijan electric power system.

The integration of a Battery Energy Storage System (BESS) into the electric power system offers several significant advantages in frequency regulation. One of its main benefits is its rapid response capability, which enables the system to compensate for sudden changes in electricity generation and consumption. Unlike conventional thermal and hydroelectric generators, battery storage systems can respond to frequency deviations within a very short period by rapidly adjusting their charging and discharging power. This capability helps reduce frequency fluctuations, improve automatic generation control (AGC) performance, and maintain the balance between electricity supply and demand.

Furthermore, BESS technology increases the operational flexibility and reliability of power systems, particularly under conditions of high renewable energy penetration. It can store excess electricity generated by renewable sources and release it when generation decreases or demand increases. This reduces the dependence on conventional generation reserves, improves the utilization of renewable energy resources, and supports the stability of the overall electricity network. Therefore, integrating BESS into the Azerbaijan electric power system can provide an effective solution for minimizing frequency deviations and enhancing the reliability of electricity supply [4,5].

Conclusion

In conclusion, maintaining frequency stability in the Azerbaijan electric power system requires the coordinated operation of conventional power generation units, modern control technologies, and energy storage

systems. The effective integration of thermal and hydroelectric generators with automatic generation control (AGC) mechanisms provides an essential foundation for maintaining the balance between electricity generation and consumption. The application of primary, secondary, and tertiary frequency regulation methods enables the power system to respond to load variations, minimize frequency deviations, and maintain reliable operating conditions. In this context, Battery Energy Storage Systems (BESS) represent an important technological solution for improving the dynamic performance and flexibility of the electricity network.

Furthermore, the implementation of advanced frequency regulation strategies and battery storage technologies can significantly improve the stability and operational reliability of the national power system. BESS enables rapid compensation for power imbalances, supports renewable energy integration, and reduces the dependence on conventional generation reserves. The coordinated operation of generation units, energy storage systems, and intelligent control mechanisms contributes to more efficient frequency management and improved electricity supply quality. Therefore, the development and application of modern frequency regulation solutions are essential for strengthening the reliability, flexibility, and sustainable development of the Azerbaijan electric power system.

List of used literature:

1. Bevrani, H. (2014). Robust Power System Frequency Control (2nd ed.). Springer, Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07278-4

2. Bevrani, H., Golpîra, H., Román Messina, A., Hatziargyriou, N., Milano, F., & Ise, T. (2021). Power system frequency control: An updated review of current solutions and new challenges. Electric Power Systems Research, 194, 107114. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107114

3. Balametov, A., & Halilov, E. (2023). Application of FACTS Devices for Damping of Low-Frequency Oscillations in Azerbaijan's Power System. Energy Systems Research, 6(2). https://esrj.ru/index.php/esr/en/article/view/254

4. Zhao, C., Andersen, P. B., Træholt, C., & Hashemi, S. (2023). Grid-connected battery energy storage system: A review on application and integration. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 182, 113400. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113400

5. Gurbanov, G. (2023). Frequency Regulation with Renewable Energy Integration. Master's Thesis, ADA University, Baku, Azerbaijan.

© Ibrahimzade S., Alizade N., 2026

UDC 621.3:681.5

Isayeva T.,
Associate professor,
Agacanov N., Ibrahimli M.
Master's degree student
Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku, Azerbaijan

AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR ENERGY CONVERSION IN INDUSTRIAL PROCESSES

Abstract

The increasing complexity of modern industrial operations has highlighted the importance of automated control systems in improving energy conversion processes, operational efficiency, and production reliability. This study examines the application of automated management technologies in industrial energy systems, focusing on the effective transformation, distribution, and utilization of energy resources. Particular attention is given to the integration of sensors, control units, monitoring technologies, and intelligent automation mechanisms to

ensure stable and efficient industrial operations.

Furthermore, the research explores how automated control systems contribute to reducing energy losses, optimizing equipment performance, and maintaining process stability. Key aspects such as real-time monitoring, data processing, control accuracy, energy efficiency, and system reliability are considered. The study emphasizes that the implementation of integrated automation solutions can improve the management of industrial energy processes, reduce unnecessary resource consumption, and support more sustainable and economically efficient production systems.

Keywords:

Industrial automation, energy conversion, automated control systems,
energy efficiency, process management.

Introduction

The continuous development of industrial technologies has significantly changed the way energy resources are generated, transformed, distributed, and utilized in production processes. As industrial systems become increasingly complex, the need for reliable and automated control mechanisms has grown considerably. Modern industrial operations require not only efficient energy conversion but also accurate monitoring, stable system performance, and effective resource management. In this context, automated control systems play an important role in improving industrial productivity, minimizing energy losses, and ensuring the continuous operation of technological processes. The integration of automation technologies into energy conversion systems represents an essential approach to achieving higher operational efficiency and reliability.

The effective management of energy conversion in industrial processes requires the coordinated operation of monitoring devices, sensors, controllers, and information-processing technologies. Automated systems enable the collection and analysis of operational data, regulation of energy parameters, and adjustment of equipment performance according to changing production conditions. Furthermore, the application of intelligent control methods helps identify operational deviations, reduce unnecessary energy consumption, and improve the accuracy of technological processes. By integrating modern automation solutions with industrial energy management principles, enterprises can achieve more stable production conditions and optimize the utilization of available resources. This study aims to examine the theoretical and practical foundations of automated control systems for energy conversion in industrial processes and to identify technological approaches that contribute to improving energy efficiency, operational reliability, and sustainable industrial performance [1,2].

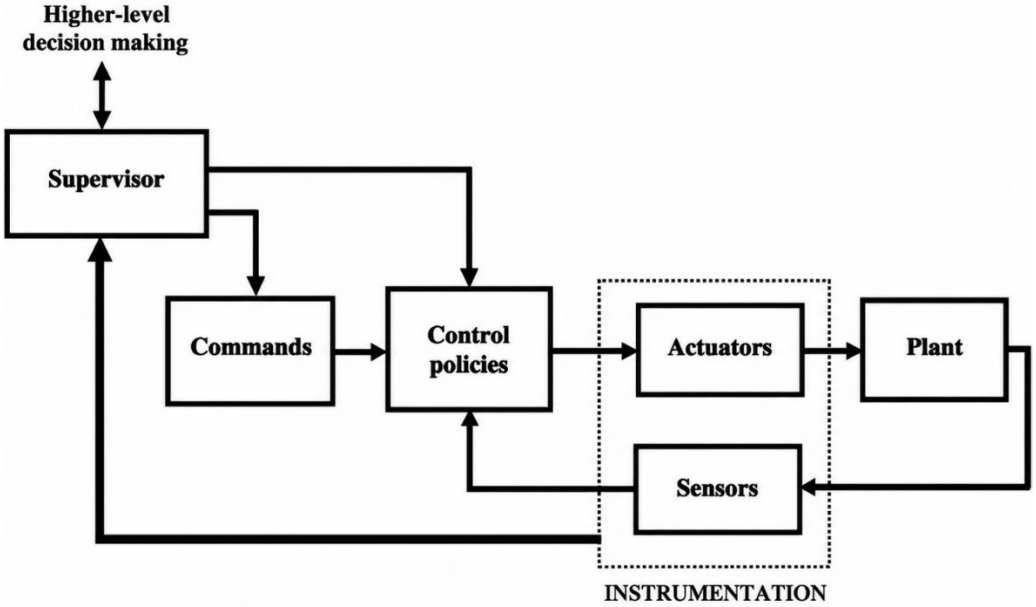


Figure 1 – Supervisory control and feedback architecture in industrial energy conversion systems

The diagram illustrates the main structure and operating principles of a supervisory automated control system designed for industrial energy conversion processes. The system begins with higher-level decision-making, which provides the necessary instructions to the Supervisor responsible for coordinating and monitoring the overall operation. The Supervisor generates commands and transfers them to the control policies, where predefined algorithms determine the appropriate control actions.

The control policies regulate the actuators, which directly influence the operation of the industrial plant and its energy conversion processes. Meanwhile, sensors continuously monitor important operating parameters and collect information about the system's current condition. This information is transmitted back to the control system, creating a continuous feedback loop that allows adjustments to be made whenever deviations from the required operating conditions occur.

The integration of supervisory control, actuators, and sensors enables accurate process regulation, continuous monitoring, and efficient energy utilization. Such an architecture helps reduce operational errors, minimize energy losses, improve equipment performance, and maintain the stability and reliability of industrial processes [3].

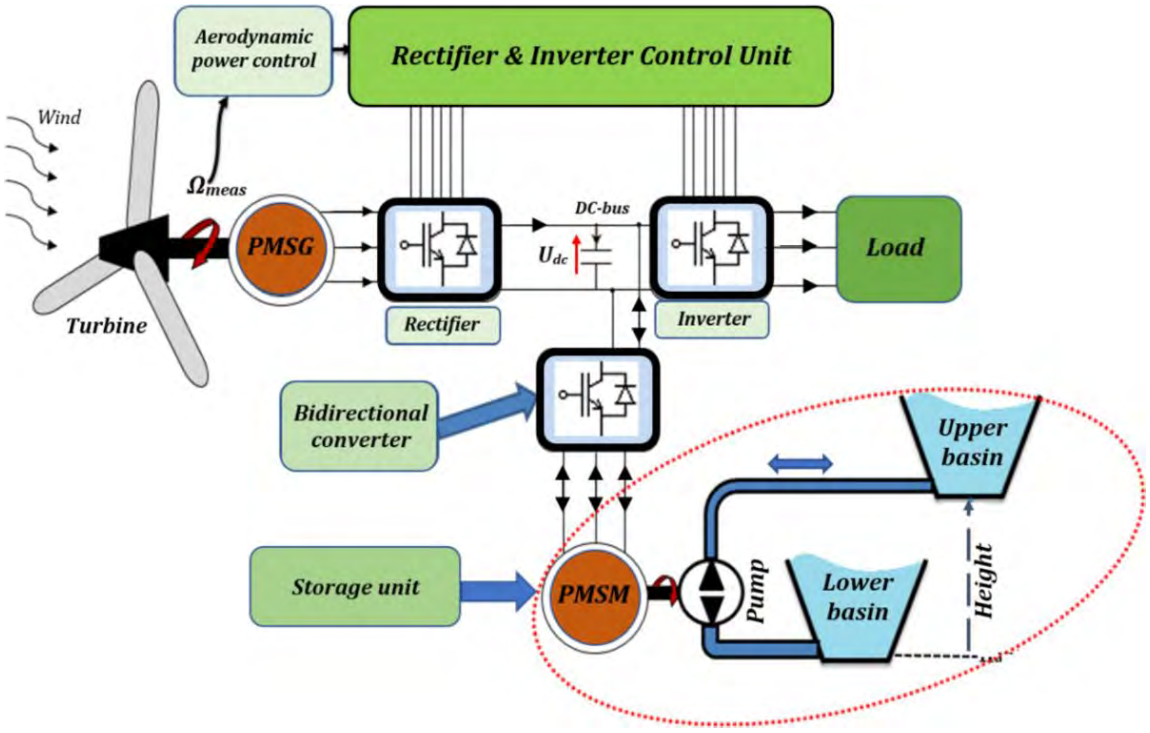


Figure 2 – Integrated wind energy conversion and pumped-hydro energy storage control system

The diagram presents an integrated energy conversion and storage system that combines wind power generation, power electronic converters, and pumped-hydro energy storage technology. The main purpose of this system is to ensure efficient energy conversion, regulate electricity distribution, and maintain a stable power supply under changing operating conditions.

The process begins with the wind turbine, which converts the kinetic energy of wind into mechanical rotational energy. This mechanical energy drives the Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG), where it is transformed into electrical energy. The generator's rotational speed is monitored through the measured angular velocity, which provides important information for regulating turbine operation and optimizing aerodynamic power control.

The generated electrical energy is transferred to the rectifier, which converts alternating current (AC) into direct current (DC). The resulting electricity is supplied to the DC bus, where the voltage level is monitored and

regulated. Subsequently, the inverter converts the DC power back into alternating current to supply the electrical load. The rectifier and inverter control unit coordinates these conversion stages, ensuring appropriate electrical parameters and stable system operation.

An additional component of the system is the bidirectional converter, which manages energy exchange between the electrical network and the storage unit. When electricity generation exceeds current demand, surplus energy can be directed toward the energy storage mechanism. This process involves a pumped-hydro energy storage system consisting of two reservoirs positioned at different heights: an upper basin and a lower basin.

During periods of excess electricity production, the pump transfers water from the lower basin to the upper basin. In this way, electrical energy is converted into gravitational potential energy and stored for future use. When electricity demand increases or wind generation decreases, water flows from the upper basin back to the lower basin, passing through the hydraulic machinery and driving the motor-generator system. The stored potential energy is consequently converted back into electrical energy. The PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) participates in the pumping process and operates as part of the electromechanical energy conversion mechanism.

The integration of these components enables the system to balance fluctuations in renewable energy generation and electricity consumption. Automated control mechanisms coordinate turbine operation, power conversion, DC-bus voltage regulation, and energy storage processes. This approach improves energy utilization, reduces dependence on conventional power sources, and increases the reliability and operational flexibility of renewable energy systems [4,5].

Conclusion

In conclusion, the integration of automated control systems with renewable energy conversion and storage technologies represents an effective approach to improving industrial energy management. By combining wind turbines, electrical generators, rectifiers, inverters, bidirectional converters, and pumped-hydro energy storage, the system enables coordinated energy generation, conversion, distribution, and storage. Automated control mechanisms continuously monitor operating parameters, regulate electrical processes, and maintain a balance between energy production and consumption.

Furthermore, the application of intelligent control strategies allows the system to respond to fluctuations in wind power generation and changes in electricity demand. Excess electrical energy can be stored through the pumped-hydro mechanism and reused when generation becomes insufficient. This process helps reduce energy losses, improve resource utilization, and maintain a stable electricity supply. The coordination of monitoring devices, power converters, and storage components also contributes to more reliable and flexible system operation.

List of used literature:

1. Bose, B. K. (2019). Power Electronics in Renewable Energy Systems and Smart Grid: Technology and Applications. Wiley-IEEE Press. Wiley

2. Ahmad, M. (Ed.). (2017). Operation and Control of Renewable Energy Systems. John Wiley & Sons. Wiley Online Books

3. Mirafzal, B. (2021). Power Electronics in Energy Conversion Systems. McGraw Hill. KNJIGE

4. Abu-Rub, H., Malinowski, M., & Al-Haddad, K. (2014). Power Electronics for Renewable Energy Systems, Transportation and Industrial Applications. Wiley-IEEE Press. Wiley-VCH

5. Momoh, J. (2018). Energy Processing and Smart Grid. Wiley-IEEE Press.

© Isayeva T., Agacanov N., Ibrahimli M., 2026

UDC 004.738.5:004.5

Jamalbayov M.,
Associate professor,
Mustafayeva G.
Master's degree student
Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku, Azerbaijan

DEVELOPMENT OF USER-CENTERED WEB SYSTEMS THROUGH THE SYNTHESIS OF FRONTEND DEVELOPMENT AND UX/Uİ DESIGN PRINCIPLES

Abstract

The growing demand for digital services has increased the need for web systems that combine technical functionality with convenient and intUİtive user experiences. This study focuses on the relationship between Frontend Development and UX/Uİ design, examining how their combined application can support the development of efficient, accessible, and user-oriented web platforms. The research considers the importance of interface structure, visual organization, responsive layouts, and user interaction in creating digital solutions that meet diverse user reqUİrements.

Furthermore, the study investigates how modern frontend technologies and user experience design approaches influence website usability, accessibility, loading performance, and overall interaction quality. Different evaluation criteria, including navigation simplicity, interface consistency, adaptability across devices, and user satisfaction, are considered to determine the effectiveness of the proposed approach. The results highlight that integrating development technologies with well-structured UX/Uİ principles can improve the functionality and usability of web applications while creating a more coherent, accessible, and effective digital environment.

Keywords:
frontend development, UX/Uİ design, user-centered design, web systems,
user experience, user interface.

Introduction

The continuous advancement of digital technologies has transformed the way individuals access information, communicate, and interact with online services. As web-based applications become an essential part of everyday life, the demand for digital platforms that are both technically reliable and easy to use has increased considerably. Modern web development is no longer limited to creating functional websites; it also involves designing interfaces that respond to user expectations, simplify navigation, and provide a consistent interaction experience. In this context, combining Frontend Development with UX/Uİ design principles represents an important approach to bUİlding effective and user-oriented web systems.

The development of a successful web platform reqUİres a coordinated relationship between programming techniques and interface design decisions. Frontend technologies make it possible to implement interactive elements, organize content structures, and ensure compatibility across different devices and screen sizes. Meanwhile, UX/Uİ design focuses on understanding user behavior, establishing logical navigation patterns, improving visual communication, and reducing difficulties during interaction. Applying these approaches together allows developers to create interfaces that are not only visually appealing but also accessible, responsive, and convenient for different categories of users [1].

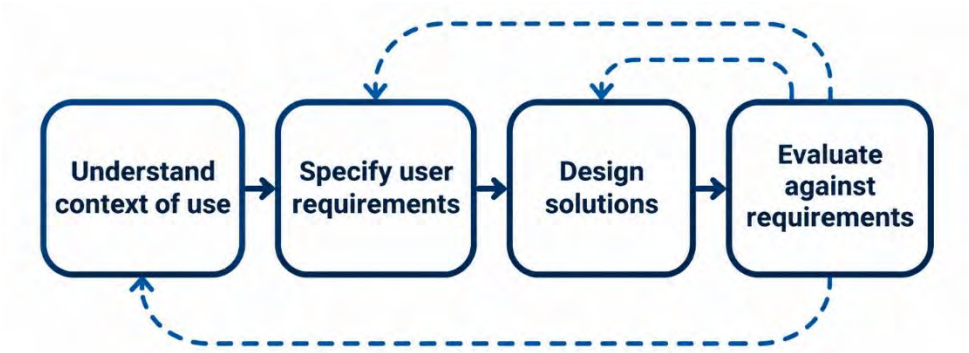


Figure 1 – User-centered design process in frontend development and UX/Uİ design

The diagram illustrates the main stages involved in developing user-centered web systems through the integration of Frontend Development and UX/Uİ design principles. The process begins with understanding the context of use, where the target audience, user behavior, expectations, and interaction reqUİrements are identified.

The second stage focuses on specifying user reqUİrements and defining the functional and design objectives of the web system. Based on these reqUİrements, the third stage involves developing appropriate design solutions, including interface structures, wireframes, prototypes, and frontend implementation. The final stage evaluates the developed system against the established reqUİrements by examining usability, functionality, accessibility, and overall user experience.

The feedback loops demonstrate that the development process is iterative rather than strictly linear. Evaluation results can lead to modifications in user reqUİrements and design solutions, ensuring continuous improvement. This approach supports the creation of responsive, accessible, and efficient web systems that effectively combine technical implementation with user-centered design principles [2].

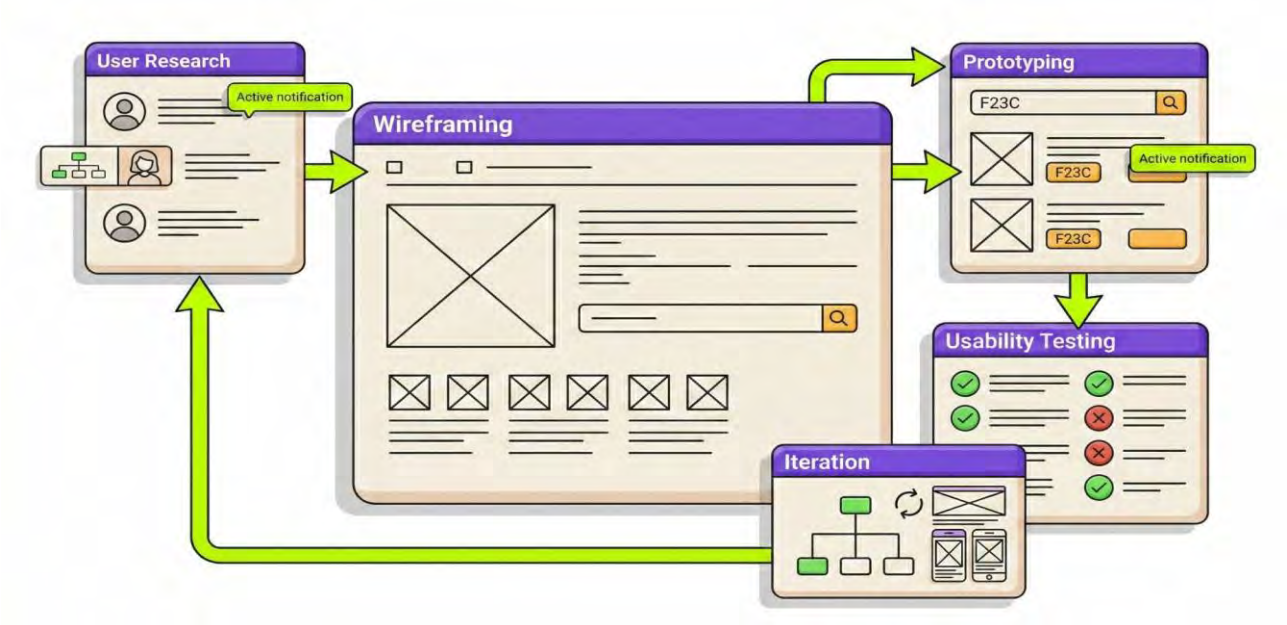


Figure 2 – Iterative UX/Uİ design and frontend development process for user-centered web systems

The diagram presents an iterative workflow for developing user-centered web systems through the integration of UX/Uİ design principles and Frontend Development techniques. The process begins with User Research, which involves identifying the target audience, examining user expectations, and analyzing interaction patterns to understand the needs of potential users.

The next stage, Wireframing, focuses on establishing the structural organization of the website, including navigation elements, content distribution, interface components, and page layouts. This stage provides a visual

foundation for the subsequent design and development activities.

During Prototyping, the proposed interface structure is transformed into an interactive model that demonstrates the appearance and functionality of the future web system. Frontend Development technologies are then applied to implement the approved interface and its interactive components. The Usability Testing stage evaluates how effectively users can interact with the developed system. Navigation convenience, interface clarity, responsiveness, and functional performance are examined to identify potential usability problems. This iterative approach establishes a strong connection between user reqUİrements, interface design, and technical implementation. It contributes to the development of web systems that are functional, responsive, accessible, and aligned with user expectations [3].

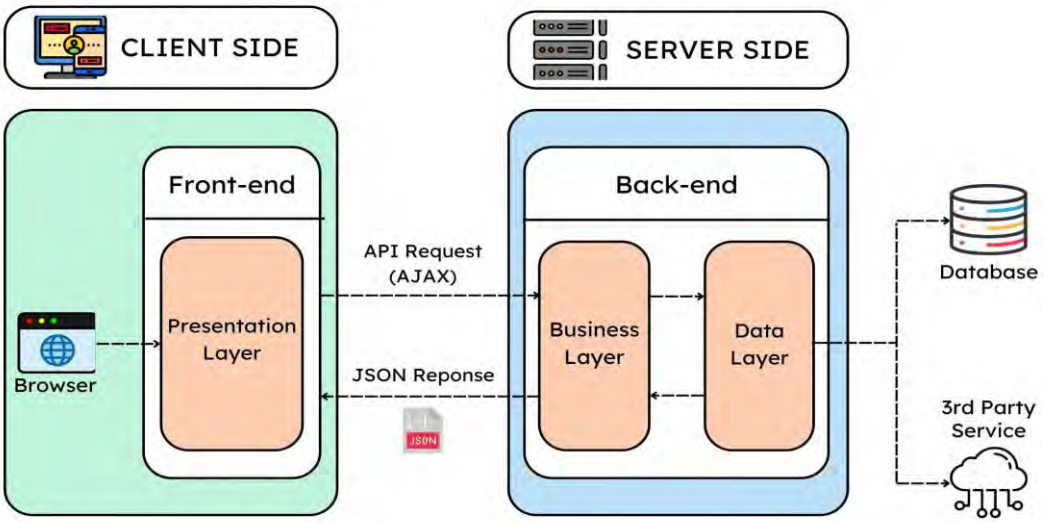


Figure 3 – Client–Server architecture in user-centered web system development

The diagram illustrates the client–server architecture of modern web systems. The client side (Front-end) manages the visual interface, navigation, and user interactions, while the server side (Back-end) handles business logic, data processing, and database communication. Through API requests and JSON responses, both sides exchange information efficiently. This architecture combines frontend functionality with UX/Uİ principles to ensure usability, responsiveness, accessibility, and reliable performance in user-centered web systems [4,5].

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>Web Interface Layout</title>
  <link rel="stylesheet" href="style.css">
</head>
<body>

  <header class="header">
    Header Section
  </header>

  <nav class="navigation">
    Navigation Bar
  </nav>
```

```
<div class="container">
  <aside class="sidebar">
    Sidebar Content
  </aside>

  <main class="main-content">
    Main Content
  </main>
</div>

<footer class="footer">
  Footer Section
</footer>

</body>
</html>
```

Conclusion

In conclusion, the integration of Frontend Development and UX/Uİ design principles provides an effective approach to creating modern, user-centered web systems. The application of user research, prototyping, and usability testing helps ensure that digital platforms meet user expectations and provide convenient interaction across different devices. At the same time, continuous evaluation and improvement contribute to better accessibility, interface consistency, and overall user satisfaction.

List of used literature:

1. Norman, D. A. (2013). The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition. Basic Books.
2. Garrett, J. J. (2011). The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond (2nd ed.). New Riders.
3. Krug, S. (2014). Don't Make Me Think, Revisited: A Common Sense Approach to Web Usability (3rd ed.). New Riders.
4. International Organization for Standardization. (2019). ISO 9241-210:2019 — Ergonomics of Human-System Interaction: Human-Centred Design for Interactive Systems. ISO. Official ISO source.
5. World Wide Web Consortium (W3C). (2023). Web Content Accessibility GUİdelines (WCAG) 2.2. W3C Recommendation.

© Jamalbayov M., Mustafayeva G., 2026

UDC 62.5

Kalbiyev R.K.,
Associate professor,
Gahramanova L.M.
Master's degree student
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

ASSESSMENT OF INDUSTRIAL WASTE HEAT RECOVERY POTENTIAL IN AZERBAIJAN'S OIL AND PETROCHEMICAL SECTOR: TECHNOLOGIES, ENERGY SAVINGS AND IMPLEMENTATION CHALLENGES

Abstract

This study examines waste heat recovery in Azerbaijan’s oil and petrochemical sector using operating data

compiled for a naphtha splitter. The reported hydrocarbon flow is 153.03 t/h over an 88–66 °C cooling interval, whereas the feed enters at 110 °C and the column bottom is at 162 °C (Table 1). Direct recovery to these hotter duties is therefore excluded. With composition and phase fractions unresolved, a single-phase n-hexane-vapor surrogate based on NIST data gives a conditional sensible-heat reference of 1.764 MW (NIST, n.d.; Table 2). Recovery factors of 0.30, 0.50 and 0.70 yield scenario duties of 0.529, 0.882 and 1.235 MW. A specific use is proposed for the base duty: preheating approximately 25.3 t/h of boiler make-up water from an assumed 30 to 60 °C through an intermediate water loop. The proposed temperature programme passes the stated terminal-approach screen within the surrogate model; the receiving load remains to be verified. Steam-property calculations retain alternative pressure interpretations and distinguish unit steam consumption from reboiler demand. Energy and direct carbon benefits are normalized to 1,000 matched operating hours. The case demonstrates how heat quantity, temperature compatibility and a defined receiving duty can be assessed together without treating scenario outputs as measured annual savings or national resource totals.

Keywords:

waste heat recovery; Azerbaijan; oil refining; petrochemicals; naphtha splitter; low-temperature heat; process integration; energy efficiency

Introduction

The reported splitter cooler presents a practical heat-recovery question: how can heat rejected below the feed temperature still perform a useful duty elsewhere in the utility system? Industrial recovery assessments connect source conditions, equipment and receiving loads, while demand-oriented work emphasizes the compatibility of the thermal user (BCS, Incorporated, 2008, Executive Summary; Oh et al., 2024, abstract). This study applies that reasoning to the operating values in Table 1.

Within the broader context of Azerbaijan's oil refining and petrochemical sector, the quantitative assessment follows one reported operating point: the splitter feed, the cooler-associated hydrocarbon stream, column temperatures and steam supply. A cold boiler make-up-water duty is then specified as an illustrative receiving target. The installation is not identified, and the case does not constitute a representative national sample.

The analysis tests the stated feed and reboiler duties before calculating a separate utility-water application. It also examines how the unknown hydrocarbon phase affects heat quantity and how the steam-pressure convention affects a reference duty. The resulting comparison concerns thermal matching, water throughput and conditional fuel displacement; project costs and profitability are not evaluated.

Literature Review

The boundary of a published heat estimate determines whether it can be transferred to this case. Equipment-specific exhaust fractions for refinery boilers and petrochemical processes describe combustion-related sources under specified reference conditions (Manz et al., 2021, Tables A6–A7, pp. 29–30). A hydrocarbon cooler with a possible phase change requires a stream enthalpy balance instead. Accordingly, the splitter calculation uses its reported flow and cooling interval rather than importing a boiler-exhaust percentage.

For this splitter, technology selection begins with the receiving temperature rather than a catalogue of equipment. Direct exchange offers a route to test when a colder duty is available; power conversion and heat upgrading require additional cycle and operating information (Farhat et al., 2022, pp. 1–3; Loni et al., 2021, abstract; Jouhara et al., 2024, p. 1). The present comparison therefore retains ORCs and heat pumps as alternatives while developing the lower-temperature water duty explicitly. Published descriptions of exchangers, economizers and waste heat boilers provide the engineering context for that comparison (BCS, Incorporated, 2008, Sections 3.1–3.2).

Property methods are assigned to distinct parts of the model. Pure-compound gas data provide a reproducible surrogate for the unidentified hydrocarbon stream, with no implication that the actual mixture is

pure n-hexane (National Institute of Standards and Technology [NIST], n.d., gas-phase thermochemistry table). The water-and-steam formulation is used for the reported steam inlet and the proposed water circuit, whose fluid can be specified explicitly (International Association for the Properties of Water and Steam [IAPWS], 2012, Sections 5–6 and 8). This separation keeps uncertainty in the hydrocarbon description distinct from the water and steam property calculations.

The case develops the temperature-matching logic into a testable proposal: a defined make-up-water temperature rise, a calculated required flow and a separate intermediate loop. The literature supports the candidate routes and property calculations. The proposed receiving temperatures, loop conditions and recovery factors remain study assumptions until checked against the plant utility system.

Methodology

Case data and provenance: The author compiled the case dataset from current naphtha splitter operating values communicated by a refinery contact. Table 1 records those primary study data directly. Feed rate denotes operating throughput. The cooler mass flow and inlet/outlet temperatures are interpreted as one stream at the reported operating point; the provenance and measurement limitations of that interpretation are addressed in Section 5.3.

Table 1

Naphtha splitter operating values compiled by the author from the plant communication.

Parameter	Reported value	Interpretation retained
Unit	Naphtha splitter	Selected case; installation not identified in the supplied values.
Feed volume and mass flow	180.76 m³/h; 132.244 t/h	Reported operating rates; common measurement basis not independently verified.
Feed inlet temperature	110 °C	Temperature at the stated unit inlet.
Column top / bottom temperature	89 °C / 162 °C	Column readings; neither alone establishes a recoverable stream duty.
Cooler inlet / outlet temperature	88 °C / 66 °C	Reported cooling interval; actual phase change and allowable recovery endpoint unresolved.
Cooler-associated mass flow	153.03 t/h	Used provisionally with the reported cooling interval.
Vapor standard volume flow	42,934 Nm³/h	Normal reference temperature, pressure and meter basis unspecified.
Reboiler steam supply	HP steam, reduced through a pressure-control valve	Operator's supply description; upstream steam conditions unavailable.
Steam pressure at reboiler inlet	19 bar	Absolute versus gauge basis unspecified.
Steam inlet temperature	222 °C	Used as the stated inlet condition in the reference steam calculations.
Total unit HP steam flow	12.68 t/h	Unit-wide quantity; not automatically assigned entirely to the reboiler.

The vapor-volume label does not establish vapor fraction at both cooler boundaries. Both the feed and the larger cooler-associated mass rate are retained. Reflux, circulation and net product flows must be distinguished before these values can form an overall unit mass balance.

Heat quantity and property boundary: The sensible-heat relation is $Q = m \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out})$; for a steady stream it becomes $Q_{sens} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out})$, with $\dot{m}$ in kg/s and c_p in kJ/(kg·K), giving kW. Heat quantity and temperature are treated separately, consistent with BCS, Incorporated (2008, Sections 2.1–2.2). If condensation occurs, the appropriate total-duty equation is $Q_{total} = \dot{m} \cdot (h_{in} - h_{out})$. A constant-$c_p$ calculation cannot establish the latent contribution.

The vapor-labelled volume entry motivates testing a vapor-property reference, but it does not prove a

single-phase cooling path. The selected NIST gas data bracket the reported temperature interval and allow interpolation without extending beyond the tabulated temperatures. The table gives 156.27 and 168.28 J/(mol·K) at 333.85 and 365.15 K, respectively, with a molecular mass of 86.1754 g/mol (NIST, n.d., gas-phase thermochemistry table). Linear interpolation at the mean stream temperature defines the surrogate only; the actual mixture and latent contribution remain unresolved.

Temperature grades are defined for this study as low below 100 °C, medium from 100 to 400 °C inclusive, and high above 400 °C. These are adopted analytical boundaries. The selected cooler interval lies entirely in the low-grade class under this definition (Table 1). The column-bottom and steam readings are process temperature indicators, not additional waste-heat quantities.

Assumptions and calculation register:

Table 2

Property inputs and scenario assumptions. Source numbers correspond to the reference list. Assumptions are not presented as measured plant properties.

Input	Value or condition	Provenance and status
Surrogate property data	C_p: 156.27 and 168.28 J/(mol·K) at 333.85 and 365.15 K; M: 86.1754 g/mol	From source [9], NIST gas-phase table and species metadata.
Hydrocarbon reference model	Single-phase n-hexane vapor; linear C_p interpolation	Study assumption; excludes latent heat and mixture/non-ideal corrections.
Flow/temperature association	153.03 t/h over 88–66 °C	Study assumption: the supplied values describe one common stream and operating point.
Conservative / base / optimistic recovery factor ηr	0.30 / 0.50 / 0.70	Study assumption: extraction/delivery sensitivity settings, not verified efficiencies.
Heat-exchanger terminal approach ΔTmin	10 K for the illustrative endpoint test	Study assumption; no exchanger area or internal pinch is established.
Matched-time normalization	1,000 h	Reporting basis, not assumed annual operating hours. Source and sink must be concurrent.
Conditional displaced heat supply	Natural gas; NCV efficiency ηd = 0.90	Study assumption: applies only to a separate suitable low-temperature demand.
Demand in the conditional benefit case	Q_use = Q_rec	Study assumption: the proposed make-up-water target is available at the required flow and temperature during matched operation.
Natural-gas CO_2 factors	54.3 / 56.1 / 58.3 t CO_2/TJ NCV	From source [3], IPCC (2006), Ch. 2, Tables 2.2–2.3, pp. 2.16–2.19; converted from kg/TJ.
Steam pressure interpretations	1.9 MPa absolute; alternatively 2.0 MPa absolute	19 bar absolute, or nominal 19 bar gauge plus an assumed 1 bar ambient pressure. Gauge conversion is approximate.
Steam outlet reference	Saturated liquid at the same absolute pressure	Study assumption: reference comparison only; actual condensate state and reboiler allocation are unknown.
Temperature classification	Low <100 °C; medium 100–400 °C; high >400 °C	Adopted study convention.
Proposed boiler make-up duty	Water heated from 30 to 60 °C	Illustrative design assumption; receiving point upstream of deaeration or the feedwater tank, subject to plant verification.
Intermediate water loop	40 °C return; 70 °C supply	Illustrative design assumption; steady operation with negligible loop heat loss. Auxiliary electricity is excluded from the gross-duty balance.
Liquid-water property reference	0.1 MPa absolute; states at 30, 40, 60 and 70 °C	Calculation reference using source [4], IAPWS-IF97, Region 1; not a specified plant operating pressure.

The recovery settings are evenly spaced sensitivity choices. They do not describe a measured distribution or an uncertainty interval. The reported outlet temperature is retained as a reference endpoint, not asserted to be the lowest technically acceptable temperature. A lower-temperature receiving duty and simultaneous operation must be demonstrated independently before recovered heat can be counted as useful savings.

Table 3

Calculation register. Equations define the study accounting; input values, units and assumptions are identified in Tables 1–2.

Quantity	Formula and units
Feed density check	ρ_feed = ṁ_feed/V̇_feed; use kg/h and m³/h to obtain kg/m³. A consistency calculation only.
Total cooler duty	Q_total = ṁ·Δh. With kg/s and kJ/kg, output is kW. Δh = h_in − h_out must include phase change.
Sensible reference	Q_sens = ṁ·c_p·ΔT, kW; ΔT = T_in − T_out in K. Divide by 1,000 for MW.
Surrogate interpolation	C_p(Tm) = C_p,1 + (C_p,2 − C_p,1)(Tm − T1)/(T2 − T1). Tm = (T_in + T_out)/2 + 273.15 K; c_p = C_p/(1,000M) in kJ/(kg·K), with M in kg/mol.
Conditional recovery and useful duty	Q_rec,s = ηr,s·Q_sens. Q_use(t) = min[Q_rec(t), D_compatible(t)] after temperature feasibility; duties in MW.
Terminal temperature test	T_h,in − T_c,out ≥ ΔTmin; T_h,out − T_c,in ≥ ΔTmin for the proposed counterflow endpoint screen. Temperatures in °C, differences in K.
Matched energy	E_use = 0.0036·Q_use·H_match, TJ; Q in MW and H_match in hours. At 1,000 h, E_use = 3.6·Q_use.
Fuel-energy equivalent and CO_2	F_avoid = E_use/ηd, TJ NCV. ΔCO_2 = F_avoid·EF, t CO_2; EF in t/TJ NCV. IPCC accounting basis: source [3], Eq. 2.1.
Steam reference duty	Q_steam,ref = ṁ_steam·[h(P_abs,222 °C) − h_f(P_abs)]/1,000, MW. ṁ in kg/s and enthalpies in kJ/kg; h_f is saturated-liquid enthalpy from source [4].
Make-up-water capacity	ṁ_w = 1,000·Q_rec / [h_w(60 °C) − h_w(30 °C)], kg/s. Q_rec in MW; water enthalpies in kJ/kg at the Table 2 reference pressure.
Intermediate-loop capacity	ṁ_loop = 1,000·Q_rec / [h_w(70 °C) − h_w(40 °C)], kg/s. Same steady, negligible-loss duty across both exchangers.
Surrogate source outlet after recovery	T_h,rec,out = T_h,in − 1,000·Q_rec/(ṁ_h·c_p,h), °C; Q in MW, ṁ_h in kg/s and c_p,h in kJ/(kg·K). Single-phase surrogate only.

Steam-state and uncertainty treatment: IAPWS-IF97 is used here because the reported steam pressure and temperature must be interpreted together, and because the proposed receiving circuit contains water rather than an unidentified hydrocarbon mixture. The two steam-pressure interpretations are evaluated with an assumed saturated-liquid outlet; liquid-water enthalpies are calculated separately for the proposed make-up and intermediate-loop temperatures (IAPWS, 2012, Sections 5–6 and 8). The implementation is checked against the formulation's enthalpy verification points in Tables 5 and 15. Assigning the entire unit steam flow to the reference path remains a comparison assumption.

Phase behavior creates a structural uncertainty that the recovery-factor scenarios cannot quantify. The steam convention, allocation of unit steam and receiving-duty coincidence are treated as separate uncertainties. The water example specifies a feasible target to test; it does not establish the existence or annual availability of that demand. These limitations are consolidated in Section 5.3.

Results and Discussion

Input reconciliation: The feed rates imply 132,244/180.76 ≈ 731.6 kg/m³, while the reported hydrocarbon mass flow converts to 153.03/3.6 ≈ 42.508 kg/s. The unit steam rate is 12.68/3.6 ≈ 3.522 kg/s. These are calculations from Table 1 and do not independently validate meter calibration or the association of readings with

one operating point.

The hydrocarbon-to-feed mass-rate ratio is 153.03/132.244 ≈ 1.157. This cannot be interpreted as a product yield. Internal reflux or circulation would have to be distinguished from net export before applying an overall mass balance. The normal-volume entry is retained as supplied; normal reference conditions are unknown, so it is not converted to actual volumetric flow or used for exchanger sizing (Table 1).

Heat quantity and phase dependence: Using the reported hydrocarbon mass rate, the enthalpy-based coefficient is Q_total = 42.508·Δh kW, with Δh in kJ/kg. The sensible-only form is Q_sens = 42.508·c_p·22 = 935.183·c_p kW. These calculated coefficients preserve the dependence on the missing material properties rather than assigning a total cooler duty from temperature alone (Tables 1 and 3).

The surrogate mean temperature is (88 + 66)/2 + 273.15 = 350.15 K. Interpolating the NIST gas values gives C_p ≈ 162.524 J/(mol·K), or c_p ≈ 1.886 kJ/(kg·K). The single-phase reference is therefore Q_sens ≈ 42.508 × 1.885972 × 22/1,000 = 1.764 MW (this study's calculation from Tables 1–2; NIST, n.d.). This is a surrogate sensible-heat estimate, not an observed condenser load or a proven lower bound on it.

If the reported vapor condenses in the cooler, the heat balance must include its actual enthalpy change and phase fractions. The present calculation neither estimates that latent term nor assumes that the whole reported mass undergoes complete condensation. A phase-resolved property model or a measured utility-side heat balance is needed to determine total duty.

Direct heat matching: The maximum reported source temperature is 88 °C. It is below both the 110 °C feed inlet and the 162 °C column bottom. Thus, at the reported operating point, the selected stream cannot directly preheat that feed or drive the stated hotter reboiler service through a passive heat exchanger. This conclusion follows from the supplied temperatures and the feasibility inequalities in Table 3; it does not depend on the surrogate heat capacity.

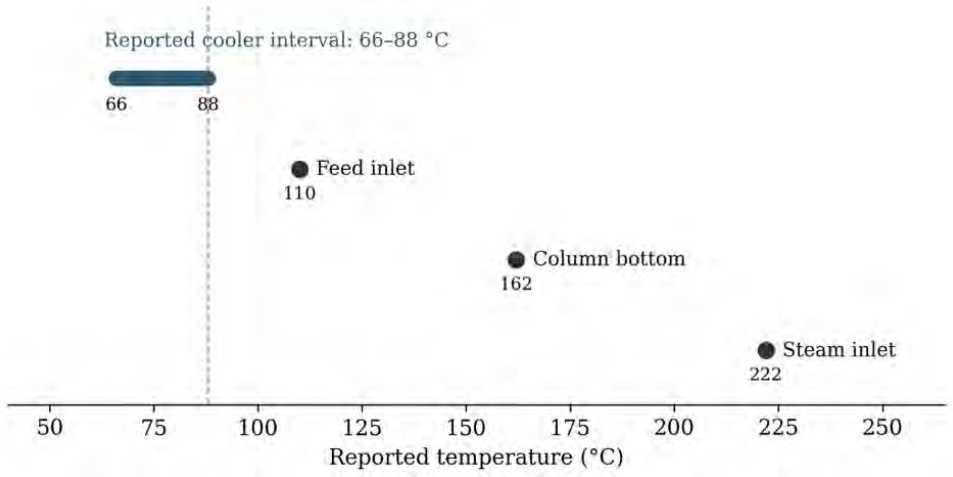


Figure 1 – Temperature levels derived from Table 1. The cooler interval, feed inlet, column bottom and steam inlet are temperature indicators, rather than stream duties or verified piping connections

For a separate counterflow user, the assumed 10 K terminal approach gives T_c,out ≤ 88 − 10 = 78 °C and T_c,in ≤ 66 − 10 = 56 °C if the full reported cooling interval is retained. These are calculated endpoint conditions, not identified plant demands or a completed exchanger design. A phase-changing stream would additionally require checking the full temperature–enthalpy profile for an internal pinch (Tables 1–3).

Section 4.7 specifies a receiving duty that satisfies this low-temperature screening requirement. The 162 °C column-bottom reading is retained as a process condition rather than assigned a separate recovery load; a bottoms-stream flow and cooling boundary would be required for that calculation.

Steam reference and pressure convention:

Table 4

Calculated steam reference states. Reported temperature and total unit flow: Table 1. Properties: source [4], IAPWS-IF97. The gauge interpretation uses nominal 1 bar ambient pressure; outlet and total-flow allocation are comparison assumptions from Table 2.

Quantity	19 bar absolute	19 bar gauge, nominal
Absolute calculation pressure	1.9 MPa	2.0 MPa
Saturation temperature	209.81 °C	212.38 °C
Inlet h at 222 °C	2,833.37 kJ/kg	2,827.52 kJ/kg
Saturated-liquid h_f	896.84 kJ/kg	908.62 kJ/kg
Reference enthalpy drop	1,936.52 kJ/kg	1,918.90 kJ/kg
Duty for the full 12.68 t/h reference flow	6.821 MW	6.759 MW

The reported 222 °C is above the calculated saturation temperature in both interpretations, so it is consistent with superheated inlet steam under either pressure convention (Table 4). The approximately 6.76–6.82 MW reference duty is conditional on the assumed outlet and allocation. It is not an estimate of avoidable steam demand, and the selected low-temperature stream cannot replace this steam service directly.

A steam-saving percentage cannot be obtained by dividing surrogate recovery by the steam reference duty. That ratio would ignore the temperature mismatch and the distinction between total unit steam use and the reboiler. The unresolved pressure convention, actual steam allocation and condensate state are included in the limitations in Section 5.3.

Conditional recovery scenarios:

Table 5. Sensible-surrogate recovery scenarios for a separate suitable low-temperature user. Calculated from Tables 1–3. The reference available duty is 1.764 MW; values are not actual annual savings or measured equipment performance.

Scenario	ηr	Recovered duty, MW	Energy per 1,000 matched h, TJ
Conservative	0.30	0.529	1.905
Base	0.50	0.882	3.175
Optimistic	0.70	1.235	4.445

The base duty is approximately 0.882 MW, corresponding to 3.175 TJ for 1,000 hours of compatible source–sink operation. Section 4.7 gives a specific water duty capable of receiving this amount under the design assumptions. Annual useful energy would be 0.0036 × 0.881865 × H_match TJ/year if this duty were maintained for H_match matched hours/year. The normalization does not assign an annual operating duration (Table 5).

The scenario spread describes only the selected extraction/delivery fraction within the sensible surrogate. It does not bound the unknown latent duty, mixture properties or operational variability. For the two stated hotter duties, direct useful heat from this source is zero at the supplied temperatures; positive scenario benefits require another compatible duty or an independently assessed upgrading system.

Conditional fuel equivalent and direct CO_2 benefits:

Table 6

Conditional natural-gas displacement for a separate matched low-temperature duty, per 1,000 matched operating hours. Assumptions: ηd = 0.90 and full use of Table 5 recovery. Factors: source [3], lower/default/upper = 54.3/56.1/58.3 t CO_2/TJ NCV

Scenario	Fuel equivalent, TJ NCV	CO_2 at default factor, t	CO_2 factor-bound range, t
Conservative	2.116	118.7	114.9–123.4
Base	3.527	197.9	191.5–205.7
Optimistic	4.938	277.0	268.2–287.9

For the base case, F_avoid = 3.174714/0.90 ≈ 3.527 TJ NCV, and ΔCO_2 = 3.527460 × 56.1 ≈ 197.9 t CO_2 per 1,000 matched hours. These are calculated conditional equivalents using the IPCC fuel-accounting form (IPCC, 2006, Ch. 2, Eq. 2.1 and Tables 2.2–2.3). They do not describe verified fuel savings or direct displacement of the reported reboiler steam.

The natural-gas calculation applies conditionally if the proposed water duty displaces heat that would otherwise be supplied at the assumed efficiency. It does not establish the marginal fuel in the actual utility network. Factor bounds are evaluated within each recovery scenario, separately from uncertainty in useful duty. Net benefits must also account for intermediate-loop pumping, other auxiliary energy and any change in cooling-system consumption.

Proposed boiler make-up-water preheating: The proposed receiving point is cold treated make-up water upstream of deaeration or the boiler feedwater tank. This target is distinct from already-hot feedwater and from the 110 °C process feed. For an illustrative make-up temperature rise from 30 to 60 °C, the base 0.882 MW duty defines a required flow rather than presuming one exists at the plant (Table 2).

The proposed sequence places recovery exchanger HX-1 before the existing cooler, with the hydrocarbon on one side and a closed intermediate water loop on the other. The loop supplies HX-2 at 70 °C and returns at 40 °C; HX-2 preheats the make-up water. Thus the hydrocarbon and boiler make-up water do not share the same exchanger. The existing cooler retains the final 66 °C target through an appropriate bypass and control arrangement. These are proposed connections, not a reconstructed plant flowsheet.

For liquid water, IAPWS-IF97 at the 0.1 MPa calculation reference gives an enthalpy rise of 125.389 kJ/kg from 30 to 60 °C. The required make-up flow is therefore 881.865/125.389 = 7.033 kg/s, or approximately 25.3 t/h. The corresponding 40–70 °C loop enthalpy rise is 125.451 kJ/kg, giving approximately 7.030 kg/s, also about 25.3 t/h (IAPWS, 2012, Section 5; this study's calculations from Tables 2–3).

Table 7

Proposed base-case water duty and terminal-temperature screen. All receiving and loop temperatures are design assumptions from Table 2; values derived from 0.881865 MW are calculations, not measured utility-system data.

Element	Illustrative temperature programme	Calculated flow or terminal result
Make-up water through HX-2	30 → 60 °C	7.033 kg/s ≈ 25.3 t/h; Δh = 125.389 kJ/kg
Intermediate loop	40 → 70 °C in HX-1; 70 → 40 °C in HX-2	7.030 kg/s ≈ 25.3 t/h; Δh = 125.451 kJ/kg
Hydrocarbon through HX-1	88 → 77 °C in the single-phase surrogate	42.508 kg/s; 0.882 MW extracted. Outlet is model-derived.
HX-1 terminal differences	88 − 70; 77 − 40	18 K and 37 K; both exceed the assumed 10 K minimum.
HX-2 terminal differences	70 − 60; 40 − 30	10 K and 10 K; both meet the assumed minimum.

Element	Illustrative temperature programme	Calculated flow or terminal result
Remaining existing-cooler interval	77 → 66 °C in the same surrogate	Final reported outlet retained; remaining duty requires the actual phase-resolved balance.

The 77 °C hydrocarbon outlet follows only within the same constant-c_p surrogate: 88 − 881.865/(42.5083 × 1.885972) = 77 °C. Under that model, the calculated HX-1 terminal differences are 18 and 37 K, while HX-2 operates at 10 K at both ends. These endpoints pass the assumed approach test. Actual condensation, an internal pinch, exchanger conductance, pressure drop and loop losses may change the attainable duty.

To use the base duty continuously, the plant would need approximately 25.3 t/h of make-up water at the assumed inlet condition, with a receiving system able to accept 60 °C water during the same hours. At a smaller or warmer receiving load, useful heat must be recalculated as the lesser of recovery and the compatible water demand. The example establishes a concrete verification target; it does not claim the utility network has this capacity.

Technology and application priorities:

Table 8

Recovery-route priorities after the boiler make-up-water proposal. Literature identifies the candidate routes; the case-specific judgments follow from Tables 1–7 and the stated model assumptions

Candidate route and evidence	Case assessment	Requirement before quantification
Direct exchanger or intermediate hot-water loop; BCS (2008), Sections 3.1–3.2; Farhat et al. (2022), pp. 1–3	Proposed make-up-water target: 30–60 °C through the intermediate loop in Section 4.7. Direct recovery to the 110 °C process feed remains excluded.	Receiving profile, acceptable temperature approach, phase behavior, fouling, pressure drop and safe fluid separation.
Waste heat boiler / economizer; BCS (2008), Sections 3.1–3.2	The selected source cannot generate the stated 19 bar steam directly. Cold make-up-water preheating is the quantified proposed receiving duty.	Actual receiving temperature and flow; another hotter source if high-pressure steam generation is intended.
Heat pump; Jouhara et al. (2024), p. 1	Potential upgrading route for investigation; no coefficient of performance or delivered duty assigned.	Required lift, refrigerant/cycle design, electrical input and source–sink profiles.
ORC; Loni et al. (2021), abstract	Residual heat-to-power alternative requiring a separate feasibility calculation.	Confirmed phase-resolved source, heat-rejection conditions, net cycle efficiency and auxiliary loads.
Absorption cooling; BCS (2008), p. 1	Candidate only if machine requirements and concurrent cooling demand match the source.	Driving-temperature profile, cooling load, heat rejection and operating performance.

The make-up-water example converts the low-temperature opportunity into a receiving specification that the plant can verify. If the required cold-water flow is unavailable, the useful duty must be reduced before comparing alternative routes. Heat-pump upgrading, ORC power and absorption cooling require separate balances; the same source duty cannot be counted in full across simultaneous alternatives.

Implementation Challenges and Policy Implications

Verification priorities: The first implementation task is to establish the cooler's physical boundary and phase change. A paired inlet/outlet enthalpy calculation or utility-side calorimetry should be reconciled with the same operating interval. Feed, reflux, net products and the reported hydrocarbon circulation must also be distinguished before the unit mass balance is used to validate the stream rate. These are proposed verification steps arising from the unresolved inputs in Table 1.

For the proposed target, verification should establish the actual make-up-water inlet temperature,

available flow, receiving-point location and operating coincidence. Existing feedwater heating and deaeration arrangements determine whether additional recovery would displace a utility demand. Pressure drop, materials, leak detection, bypass control and the complete temperature profile must be evaluated before converting the illustration into an equipment specification.

Sector relevance and policy context: The case illustrates a screening method that can be repeated for refinery and petrochemical streams: identify residual heat, calculate enthalpy within a verified boundary, test its temperature against demand, and then assess useful output and displaced energy. Aggregation requires independent stream coverage, compatible reporting periods and checks for double counting. The single splitter case is not scaled into a national resource total.

The Ministry of Energy identifies Law No. 359-VIQ on the Efficient Use of Energy Resources and Energy Efficiency as approved on 9 July 2021 and effective from 1 July 2022 (Ministry of Energy, 2025, section “Legal regulation of energy efficiency”). A common residual-heat reporting format is proposed here as a practical assessment aid. The present analysis does not establish a particular facility’s legal compliance or an installation mandate.

Limitations and data availability: The case is based on a plant communication compiled by the author. Original instrument tags, observation dates, simultaneous time series and measurement uncertainties were unavailable. The association of the reported flow and temperatures therefore remains provisional. The hydrocarbon composition, stream pressure and inlet/outlet phase fractions were also unspecified, so the sensible surrogate does not establish total condensation duty or a validated process simulation.

The steam-pressure convention, the share of unit steam supplied to the reboiler and the condensate return state remain unresolved. For the proposed utility-water target, the 30–60 °C make-up range, 40-70 °C intermediate-loop range and reference property pressure are design assumptions. The existence of a matching 25.3 t/h make-up demand and its annual coincidence with the source have not been demonstrated. Loop heat loss is neglected in the illustration; pumping and other auxiliary loads remain unquantified.

The operating dataset is reproduced in Table 1, and property inputs and design assumptions are recorded in Table 2. Tables 3-7 provide the equations and calculated results. These records allow the screening calculations to be reproduced, while the missing plant logs, phase analysis and utility profiles limit their use as evidence of achieved savings. A phase-resolved cooler balance and a verified receiving profile are required before annual net benefits or equipment performance can be established.

Conclusions

The naphtha splitter case identifies a clear temperature constraint: the reported 88-66 °C source cannot directly preheat the 110 °C feed or supply the hotter reboiler service (Table 1). A useful application must instead receive heat at a lower temperature or use a separately assessed upgrading route.

The reported hydrocarbon flow gives Q_total = 42.508·Δh kW and Q_sens = 935.183·c_p kW. The NIST-based single-phase surrogate produces a conditional sensible reference of 1.764 MW. The declared recovery settings give 0.529–1.235 MW, including a base value of 0.882 MW or 3.175 TJ per 1,000 matched hours (Tables 2-5). These figures leave total condensation duty unresolved.

A specific receiving concept is proposed for the base duty: approximately 25.3 t/h of boiler make-up water heated from 30 to 60 °C through an intermediate 40–70 °C water loop. The calculated terminal differences satisfy the assumed 10 K screen within the sensible surrogate (Table 7). The cold-water demand, achievable exchanger performance and auxiliaries require plant verification.

If this water duty displaces the assumed natural-gas heat supply, its base fuel-energy equivalent is 3.527 TJ NCV and its direct CO_2 benefit is 197.9 t per 1,000 matched hours (Table 6). These conditional values are not assigned to the stated reboiler or to observed annual savings. The proposed next step is to verify the phase-resolved source and the defined water duty before selecting equipment or aggregating opportunities across the sector.

List of used literature:

1. BCS, Incorporated. (2008, March). Waste heat recovery: Technology and opportunities in U.S. industry. U.S. Department of Energy. https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/ waste_ heat_recovery.pdf
2. Farhat, O., Faraj, J., Hachem, F., Castelain, C., & Khaled, M. (2022). A recent review on waste heat recovery methodologies and applications: Comprehensive review, critical analysis and potential recommendations. Cleaner Engineering and Technology, 6, 100387. https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100387
3. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 2, Chapters 1-2. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html
4. International Association for the Properties of Water and Steam. (2012). Revised release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the thermodynamic properties of water and steam (R7-97(2012)). https://iapws.org/technical-guidance/release/IF97-Rev.download
5. Jouhara, H., Żabnieńska-Góra, A., Delpech, B., Olabi, V., El Samad, T., & Sayma, A. I. (2024). High-temperature heat pumps: Fundamentals, modelling approaches and applications. Energy, 303, 131882. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131882
6. Loni, R., Najafi, G., Bellos, E., Rajaee, F., Said, Z., & Mazlan, M. (2021). A review of industrial waste heat recovery system for power generation with Organic Rankine Cycle: Recent challenges and future outlook. Journal of Cleaner Production, 287, 125070. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125070
7. Manz, P., Kermeli, K., Persson, U., Neuwirth, M., Fleiter, T., & Crijns-Graus, W. (2021). Decarbonizing district heating in EU-27 + UK: How much excess heat is available from industrial sites? Sustainability, 13(3), 1439. https://doi.org/10.3390/su13031439
8. Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan. (2025, November 5). The energy efficiency policy in Azerbaijan. https://minenergy.gov.az/en/alternativ-ve-berpa-olunan-enerji/enerji-semereliliyine-dair
9. National Institute of Standards and Technology. (n.d.). n-Hexane: Gas-phase thermochemistry data. NIST Chemistry WebBook, Standard Reference Database 69. https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C110543& Mask=7
10. Oh, J., Han, U., Jung, Y., Kang, Y. T., & Lee, H. (2024). Advancing waste heat potential assessment for net-zero emissions: A review of demand-based thermal energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 202, 114693. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114693

© Kalbiyev R.K., Gahramanova L.M., 2026

УДК 004.415.2:004.8:658.5

Merkulov A.O.
student of Volga State University of Technology,
Yoshkar-Ola, Russia

ARCHITECTURAL APPROACHES TO BUILDING INTELLIGENT ENTERPRISE AUTOMATION SYSTEMS BASED ON NO-CODE AND AGENT-BASED SOLUTIONS

Annotation

Enterprise automation increasingly combines visual workflow configuration with software agents capable of interpreting variable inputs. This review examines architectural boundaries between no-code process models, agent coordination, integration adapters and runtime controls. Recent research is compared to identify feasible

division of responsibilities, migration constraints and operational evaluation criteria. A layered architecture is proposed in which approved workflow definitions govern agent actions, while business-critical execution remains observable and reversible. The analysis indicates that greater configurability does not automatically improve reliability; deployment quality depends on restricted permissions, stable interfaces, human escalation and evidence from repeatable tests. The framework is conceptual and is not presented as an experimentally validated implementation.

Keywords:

No-code platforms, multi-agent systems, enterprise automation, workflow orchestration, system architecture, governance, software resilience, robotic process automation.

Меркулов А.О.

студент, Поволжский государственный технологический университет,
г. Йошкар-Ола, Россия

АРХИТЕКТУРНЫЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ NO-CODE-ПЛАТФОРМ И АГЕНТНЫХ РЕШЕНИЙ

Аннотация

Рассмотрены архитектурные подходы к интеграции no-code-платформ и интеллектуальных агентов в корпоративные системы автоматизации. На основе современных исследований сопоставлены функции визуального моделирования процессов, координации агентов, интеграционных компонентов и средств эксплуатационного контроля. Предложена концептуальная многоуровневая схема, в которой сценарии выполнения определяются утверждёнными правилами, а действия агентов ограничиваются полномочиями и проверяемыми интерфейсами. Показано, что гибкость настройки сама по себе не обеспечивает надёжность: необходимы журналирование операций, обработка исключений, контроль доступа и воспроизводимые испытания. Разработанная схема носит аналитический характер и не рассматривается как результат собственного экспериментального внедрения.

Ключевые слова:

No-code-платформы, мультиагентные системы, автоматизация предприятий, оркестрация процессов, архитектура систем, управление доступом, отказоустойчивость, роботизированная автоматизация.

Introduction

Enterprise software must support processes that are frequently revised yet remain accountable to security, audit and service requirements. Visual no-code tools reduce the effort needed to specify forms and routing rules, whereas agent-based components address inputs that cannot be handled by fixed decision trees [1]. A systematic review of 40 studies documents both adoption opportunities and unresolved governance concerns in low-code/no-code development [2]. Combining the two approaches creates an architectural problem: a configurable workflow cannot be permitted to delegate unrestricted decisions or irreversible transactions to probabilistic components. Existing enterprise applications also impose incompatible data models and deployment constraints, making uniform integration unrealistic. The aim of this article is to distinguish the responsibilities of process configuration, agent coordination and enterprise execution, and to define controls for assessing the resulting architecture.

Separating process configuration from enterprise execution

A no-code platform is suited to the description of process states, approval paths, data mappings and changeable business rules. These artifacts should be versioned and promoted through controlled environments rather than interpreted as unrestricted executable authority. The boundary is particularly important when

workflows span procurement, finance and personnel records. For legacy systems, modular migration offers an alternative to wholesale replacement. Facades and integration adapters can expose stable operations while individual functions are extracted from a monolithic platform; the transition still adds interface and coordination complexity [3]. Similar tensions between local flexibility and organization-wide standardisation have been observed in an empirical study based on 57 interviews at multinational firms [4]. The architectural consequence is a separation between a configuration plane, owned jointly by process specialists and IT, and an execution plane, operated through services with explicit contracts. Such a boundary allows process revisions without making integration endpoints or authorization policies dependent on individual workflow designers.

Agent coordination within controlled workflows

Robotic process automation (RPA) executes prescribed operations, while artificial intelligence (AI) modules can classify documents or propose actions for irregular cases. Their combination is most useful when deterministic execution and context-sensitive interpretation are treated as different responsibilities [5]. A review of multi-agent systems likewise separates perception, action and inter-agent interaction, indicating that coordination is itself an architectural concern [6]. The combined use of no-code definitions and agent coordination has also been discussed as a model for enterprise process automation [7]. In the architecture proposed here, the workflow engine determines permitted transitions; a coordinator assigns bounded tasks to agents; and adapters submit approved actions to corporate systems. Figure 1 illustrates the distinction between these functions and the controls applied across them.

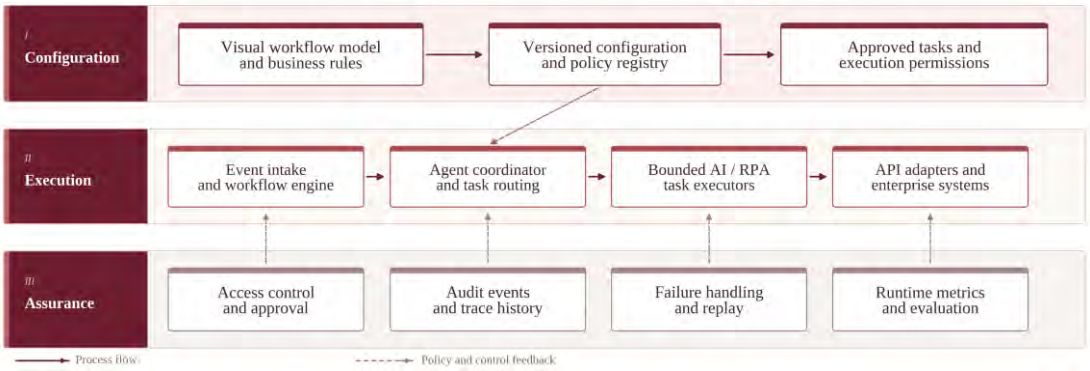


Figure 1 – Functional architecture of a no-code and agent-based enterprise automation system

The upper layer contains editable process specifications but does not directly modify enterprise records. Execution proceeds through a coordinator and bounded task executors, while policy checks constrain the actions available at each interface. The diagram represents an architectural proposal, not an observed deployment or a measured performance improvement. The assurance layer crosses component boundaries because a failed operation may occur after an AI decision has been accepted but before a backend transaction is committed. Trace identifiers, idempotent operations and human review paths are therefore needed to distinguish completed work from uncertain outcomes. This design narrows agent autonomy to operations that can be inspected and, where feasible, compensated.

Operational safeguards and evaluation criteria

No-code applications still require conventional quality assurance. Analysis based on ISO/IEC 25010:2023 identifies limitations in complex and high-risk use cases [8]. Containerization provides deployment isolation, but resource limits and platform scheduling affect the operating behaviour of services; predictable performance cannot be inferred from packaging alone [9]. Empirical evidence also argues against assuming that agents can replace established automation indiscriminately. In a 2026 benchmark covering three standardised tasks, rule-based RPA completed all measured runs, while a tested computer-using agent succeeded in 60–90% of runs on the two reported tasks; the comparison was restricted to one tool of each type and small samples [10]. The comparison illustrates why task success and platform reliability must be assessed separately. Evaluation should

pair task-routing accuracy and human escalation rates with p95/p99 latency, queue depth and resource consumption under concurrent load. Workflow revisions can be checked by replaying representative cases, while denied-action records and injected integration timeouts test permission boundaries and transaction reconciliation. These measures constitute proposed verification criteria, not results from a deployed enterprise platform.

The connection between continuous observation, risk forecasting and preventive intervention is also discussed in engineering applications outside corporate software, including forest-area monitoring [11]. Its relevance here is methodological only. For enterprise workflows, the practical objective is to detect anomalous execution early and route uncertain cases to a controlled recovery or review procedure.

Conclusion

An enterprise automation architecture can combine no-code configuration with agent-based interpretation when the boundary between process rules and executable authority remains explicit. Modular adapters accommodate existing systems, while the coordination layer assigns restricted tasks without bypassing approved workflow states. The proposed architecture addresses the stated problem through version control, limited permissions, recoverable execution and measurable quality criteria. Its effectiveness in particular industries requires comparative trials with representative workloads, integration failures and human escalation, rather than reliance on assumed gains from no-code adoption or agent autonomy.

References:

1. Hrebeniuk O. Development of intelligent no-code platforms for business process automation // Professional Bulletin. Information Technology and Security. 2025. No. 4/2025. P. 32-39.

2. Ajimati M.O., Carroll N., Maher M. Adoption of low-code and no-code development: A systematic literature review and future research agenda // Journal of Systems and Software. 2025. Vol. 222. P. 112300. DOI: 10.1016/j.jss.2024.112300.

3. Roilian M. Decomposition of monolithic solutions in corporate procurement platforms: architectural migration strategies and complexity management // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2026. №3-4. P. 98-105.

4. Viljoen A., Stelzl B., Yang M. et al. Navigating flexibility and standardisation in low-code/no-code development // Information Systems Journal. 2026. Vol. 36(1). P. 95-109. DOI: 10.1111/isj.70001.

5. Mukayev T. Development of intelligent workflow automation systems based on the integration of rpa and ai models // Cold Science. 2025. №17. P. 15-27.

6. Li X., Wang S., Zeng S. et al. A survey on LLM-based multi-agent systems: workflow, infrastructure, and challenges // Vicinagearth. 2024. Vol. 1. P. 9. DOI: 10.1007/s44336-024-00009-2.

7. Hrebeniuk O. A model for integrating multi-agent systems and no-code architectures for intelligent automation of enterprise processes // Cold Science. 2026. №25. P. 25-34.

8. Naqvi B., Kedziora D., Zhang L., Oyedeji S. Quality of low-code/no-code development platforms through the lens of ISO 25010:2023 // Computer. 2025. Vol. 58(3). P. 30-40. DOI: 10.1109/MC.2024.3493192.

9. Otkidach I. Operational characteristics of containerized applications in Linux environments // International Journal of Engineering in Computer Science. 2026. Vol. 8(2). P. 175-179. DOI: 10.33545/26633582.2026.v8.i2b.293.

10. Průcha P., Matoušková M., Strnad J. Are LLM agents the new RPA? A comparative benchmark study of agentic automation and RPA across standardized workflow tasks // Cogent Business & Management. 2026. Vol. 13(1). P. 2724760. DOI: 10.1080/23311975.2026.2724760.

11. Tarsevich A. Engineering methods for monitoring and forecasting the condition of forest areas for the prevention of forest disasters // Technical Sciences: Problems and Solutions: Collection of Articles Based on the Proceedings of the CVIII International Scientific and Practical Conference “Technical Sciences: Problems and Solutions”. 2026. №5(102). P. 289-299.

© Merkulov A.O., 2026

UDC 004.8:004.65

Sardarova I.,
Associate professor,
Sardarli E.,
Master's degree student,
Azerbaijan State Oil and Industry University
Khankishiyeva F.
Master's degree student
Azerbaijan State University of Economy
Baku, Azerbaijan

AN EXTENDED ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM FOR NATURAL LANGUAGE DATABASE QUERYING USING LARGE LANGUAGE MODELS FOR ENTERPRISE SEARCH

Abstract

The rapid development of artificial intelligence technologies and large language models (LLMs) has created new opportunities for improving information retrieval and database management in modern enterprise environments. Traditional database querying methods generally require users to have knowledge of database structures, query languages, and SQL syntax, which can limit access to organizational information for non-technical employees. In this context, natural language database querying represents an effective approach to simplifying data interaction and improving information accessibility.

Furthermore, the research explores the integration of large language models, natural language processing, database management technologies, and intelligent query generation mechanisms to improve the accuracy and efficiency of enterprise information retrieval. Particular attention is given to converting natural language questions into structured SQL queries, interpreting user intentions, identifying relevant database elements, and generating contextually appropriate responses.

Keywords:

artificial Intelligence, Large Language Models, Natural Language Processing, database querying, enterprise search.

Introduction

The rapid development of artificial intelligence and digital information technologies has significantly changed the way organizations store, manage, and retrieve information. Modern enterprises generate and process large volumes of data through various information systems, databases, and digital platforms. As the amount of stored information continues to increase, traditional database search methods may become less convenient, particularly for users who do not have technical knowledge of database structures or query languages. Conventional database management systems generally require structured queries, such as SQL, which can create difficulties for employees who need to access specific information quickly and efficiently. In this context, the integration of Large Language Models (LLMs) into database management and information retrieval processes represents a promising approach to improving the accessibility and usability of enterprise information systems. These technologies make it possible to interpret human language, understand user intentions, and establish more natural interaction between users and complex data environments [1].

An intelligent enterprise search system requires the coordinated integration of natural language processing, database connectivity, query generation, and information retrieval mechanisms. Large Language Models can analyze user requests, identify relevant entities and conditions, and transform natural language questions into structured database queries. The generated queries can then be executed within the connected

database to retrieve relevant information and present the results in an understandable format. Particular attention must be given to query accuracy, database schema interpretation, data security, response reliability, and the prevention of incorrect or unauthorized operations. The development of such a system also involves selecting an appropriate software architecture, establishing communication between the language model and the database, and implementing validation mechanisms to ensure reliable query execution. The proposed approach aims to simplify information retrieval, reduce dependence on specialized technical knowledge, improve operational efficiency, and support the digital transformation of enterprise information management processes [2].

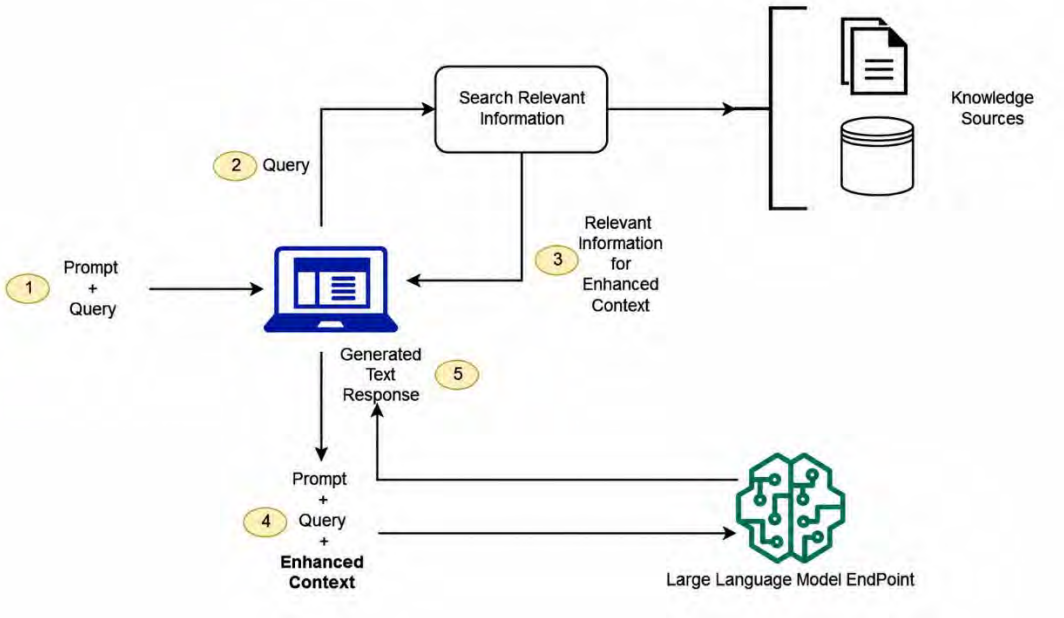


Figure 1 – Workflow of the proposed aı-based enterprise database querying system using Large Language Models (LLM)

The figure illustrates the workflow of an artificial intelligence-based enterprise search system that enables users to interact with databases through natural language queries. Initially, the user provides a prompt and query through the system interface. The system analyzes the request and searches the connected knowledge sources and databases to identify relevant information. The retrieved information is then used to enrich the original query by providing additional context. Subsequently, the enhanced prompt, together with the retrieved context, is transmitted to the Large Language Model (LLM) endpoint for processing. The language model interprets the request, processes the available information, and generates a relevant textual response. Finally, the generated response is presented to the user through the application interface. This approach improves information accessibility, simplifies database interaction, and reduces the need for users to have specialized knowledge of database query languages. [3].

One of its main advantages is the ability to bridge the gap between complex database structures and ordinary user communication. Instead of requiring employees to understand SQL syntax or database schemas, the system allows them to formulate questions in natural language. The information retrieval component plays an important role in identifying relevant data from multiple knowledge sources and providing additional context to the language model. This integration helps minimize irrelevant responses and improves the relevance of generated information. Furthermore, the architecture provides a flexible foundation for connecting different database systems, expanding enterprise knowledge resources, and implementing intelligent search functionalities. Such an approach can be particularly useful in organizations where employees need fast access to large amounts of structured and unstructured information [4].

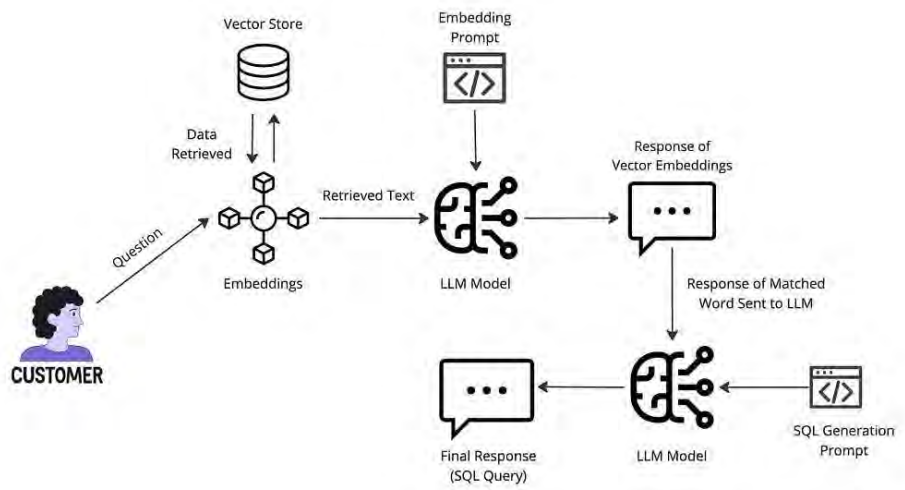


Figure 2 – Architecture of an AI-based enterprise database querying system using vector embeddings and Large Language Models

The figure illustrates the integration of vector databases, embedding techniques, and Large Language Models to enable intelligent enterprise information retrieval and SQL query generation. The process begins when a customer submits a question in natural language. The question is converted into a vector representation through an embedding mechanism, allowing the system to identify semantically similar information stored in the vector database. The retrieved data is then transferred to the Large Language Model (LLM), which analyzes the relevant text and establishes the necessary context for understanding the user's request.

In the next stage, the retrieved information and matched contextual elements are processed to generate an appropriate SQL query. A specialized SQL generation prompt guides the language model in translating the interpreted request into a structured database command. The generated SQL query can then be used to retrieve specific records from the enterprise database. This architecture combines semantic search with natural language understanding, making database interaction more flexible and accessible. It also helps reduce the complexity of manual query writing, improves the relevance of search results, and provides an effective foundation for developing intelligent enterprise search applications [5].

Conclusion

The development of an extended artificial intelligence system for enterprise search using Large Language Models represents an important step toward improving information retrieval and database accessibility in modern organizations. The increasing volume of enterprise data and the growing demand for fast, accurate, and efficient information processing have highlighted the limitations of traditional database querying methods. The proposed approach addresses these challenges by integrating Natural Language Processing (NLP), Large Language Models (LLMs), vector databases, embedding techniques, and automated SQL query generation into a unified intelligent search architecture.

The system enables users to interact with enterprise databases using natural language without requiring advanced knowledge of SQL or database management technologies. By analyzing user questions, identifying relevant information, and converting natural language requests into structured database queries, the proposed solution simplifies the information retrieval process. The application of vector embeddings and semantic search mechanisms further improves the system's ability to identify relevant data based on the meaning and context of user requests rather than relying exclusively on exact keyword matches.

List of used literature:

1. Katsogiannis-Meimarakis, G., & Koutrika, G. (2023). A survey on deep learning approaches for text-to-SQL. The VLDB Journal, 32, 905–936. https://doi.org/10.1007/s00778-022-00776-8
2. Pourreza, M., & Rafiei, D. (2023). DIN-SQL: Decomposed in-context learning of text-to-SQL with self-correction. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2023). https://arxiv.org/abs/2304.11015
3. Liu, X., et al. (2024). A survey of NL2SQL with large language models: Where are we, and where are we going? arXiv preprint. https://arxiv.org/abs/2408.05109
4. Shi, L., Tang, Z., Zhang, N., Zhang, X., & Yang, Z. (2025). A survey on employing large language models for text-to-SQL tasks. ACM Computing Surveys, 58(2), Article 54. https://doi.org/10.1145/3737873
5. Hong, Z., Yuan, Z., Zhang, Q., Chen, H., Dong, J., Huang, F., & Huang, X. (2025). Next-generation database interfaces: A survey of LLM-based text-to-SQL. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 37(12), 7328–7345. https://doi.org/10.1109/TKDE.2025.3609486

© Sardarova I., Sardarli E., Khankishiyeva F., 2026

UDC 005.53

Sardarova I.,
Associate professor,
Azerbaijan State Oil and Industry University
Ismayılzada A.
Master's degree student
Azerbaijan State University of Economics
Baku, Azerbaijan

A DESCRIPTIVE ANALYSIS OF DASHBOARD USE AND DECISION PREPARATION IN AZERBAIJANI ENTERPRISES

Abstract

This article examines employees' reports of dashboard use and decision preparation in enterprises operating in Azerbaijan. Of 32 responses to an anonymous online survey conducted on 26 October 2026, 29 met the eligibility criterion and were included in the analysis. Descriptive statistics and cross-tabulation were used. A total of 18 participants reported using dashboards daily or several times a week, whereas 9 reported regular use in decision preparation. Among these 18 frequent users, 7 reported regular use in decision preparation. Skills shortages and cost were the most frequently selected barriers. The findings support assessing the frequency of dashboard use separately from its integration into decision processes. The sample does not support nationally representative estimates or causal conclusions.

Keywords:

Interactive dashboard, decision preparation, data visualization, descriptive survey, adoption barriers.

Introduction

Frequent use of a dashboard within an enterprise is not equivalent to its regular use in preparing decisions. An employee may consult a dashboard to monitor reports, find information, or prepare a presentation. Decision preparation, as used here, involves using indicators to identify a specific problem, compare alternatives, and justify a choice. Distinguishing these forms of use allows dashboard adoption to be assessed more precisely.

An interactive dashboard is a visual interface that brings indicators together in a single viewing

environment and enables users to explore information through filters and selections. Its evaluation should reflect its purpose and the circumstances in which it is used. Sarikaya et al. (2019) distinguish dashboards by design goals, levels of interactivity, and patterns of use. This approach provides a basis for examining technical availability separately from use within work processes.

This article aims to describe dashboard use, assessments of decision preparation, and barriers to adoption among survey participants employed by enterprises operating in Azerbaijan. The study draws on data collected on 26 October 2026. Its principal contribution is the cross-tabulation of usage frequency and use in decision preparation for the same respondents. The findings are not presented as a measure of digitalisation across enterprises or Azerbaijan as a whole.

Literature review and research questions

Visual presentation can direct a decision-maker's attention towards particular indicators and facilitate comparisons. At the same time, the selected scale, visual emphasis, and range of alternatives displayed can affect interpretation. Lurie and Mason (2007) discuss both the potential benefits of visual representation for decision processes and the risk of biased comparisons. A favourable opinion of a dashboard should therefore not be treated as independent evidence that a correct decision has been made.

Dashboard structure should also match its intended use. Based on a review of 144 dashboards, Bach et al. (2023) identified eight groups of design patterns and examined trade-offs in information layout and interaction. Their work systematises design choices. Whether a particular pattern saves time in a local enterprise must nevertheless be assessed using that enterprise's tasks and users.

Evaluation methods must be appropriate to the research question. Islam et al. (2024) compare approaches to evaluating visual analytics systems, including Likert-type responses, log data analysis, and qualitative and quantitative methods. Surveys can capture users' experiences and perceptions. Conclusions about task completion time or response accuracy, however, require observation of those outcomes.

Against this background, the article addresses three questions. How frequently do participants use dashboards, and how do they use them in decision preparation? How do they assess information transparency, the time required to prepare decisions, and the need for analytical support? How are training needs and barriers to adoption distributed? The answers are descriptive. No hypothesis tests are used to establish the statistical significance of an effect, and no causal effects are estimated.

Materials and methods

The study used an anonymous cross-sectional online survey conducted over a single day. Data were collected through Google Forms on 26 October 2026. Participants were recruited by convenience through fellow students, workplace colleagues, personal contacts, and individuals in managerial positions. No probability sampling frame was established. The total number of people invited and the number reached through each recruitment channel were not recorded, so a response rate cannot be calculated.

The initial data export contained 32 responses, and all participants indicated voluntary consent. The inclusion criterion was current employment in an enterprise operating in Azerbaijan. Three respondents who answered this eligibility question negatively were excluded from the main analysis, leaving 29 eligible responses. The unit of analysis was the individual respondent. Enterprise identifiers were not collected, so these 29 responses are not assumed to represent 29 distinct enterprises. The sample size was not determined through an a priori statistical calculation.

The questionnaire comprised 20 questions covering consent, employment status, sector and occupational profile, analytics tools, dashboard use, perceived benefits, assessments of time and financial outcomes, training, difficulties, and opinions of the AzerDash prototype. This article focuses on usage frequency and decision preparation. Accordingly, the analysis covers respondent characteristics, use, five statements about benefits, reporting time, training, and barriers. Opinions of the prototype and financial savings are not evaluated as separate impact outcomes.

For usage frequency, the responses 'Daily' and 'Several times a week' were combined into one group. Monthly use, use at the pilot stage, occasional use, and non-use were retained in the other group. A free-text response indicating occasional use was standardised as 'Occasionally' without changing its meaning. Use in decision preparation was measured by a separate question with the response categories 'Regularly', 'Sometimes', 'No', and 'Do not know'. These categories were not recoded into one another during the analysis.

The five benefit statements were assessed using five-point Likert-type responses, coded from 1 for strong disagreement to 5 for strong agreement. For presentation, codes 4 and 5 were grouped as positive, 3 as neutral, and 1 and 2 as negative assessments. Response distributions are reported for each statement separately. No single validated psychometric scale or overall effectiveness score was constructed. This approach is consistent with methodological discussion of the transparent presentation of ordinal response distributions (Sullivan & Artino, 2013).

Counts and percentages rounded to one decimal place were calculated. The main denominator was 29; denominators for subgroup results are reported separately. Usage frequency and use in decision preparation were compared in a cross-tabulation. Because the question about barriers allowed multiple selections, one respondent could appear in several categories. In the question about analytics tools, one respondent selected both 'None' and named tools. This question was not included in the article's main results, and that respondent's other answers were retained. All 29 eligible respondents answered the questions on use, benefits, training, and barriers.

Results

Respondent characteristics and usage frequency

Participants reported employment in IT and telecommunications (n = 11), banking and finance (n = 5), government and utilities (n = 5), manufacturing (n = 3), retail (n = 2), education and healthcare (n = 2), and other sectors (n = 1). IT and telecommunications accounted for 37.9% of the sample. Occupational roles comprised IT (n = 9), sales (n = 6), analytics, finance, management, and operations (n = 3 each), and human resources (n = 2). This sectoral and occupational composition should be considered when interpreting the results.

Work experience was less than 1 year for 6 participants, 1–3 years for 13, 4–7 years for 6, and 8 years or more for 4. Daily dashboard use was reported by 4 participants, and use several times a week by 14. The group using dashboards daily or several times a week therefore comprised 18 respondents (62.1%). Table 1 presents the full distribution of usage frequency.

Table 1

Frequency of dashboard use

Usage frequency	Number	Percentage (%)
Daily	4	13.8
Several times a week	14	48.3
Monthly	3	10.3
At the pilot stage	6	20.7
Occasionally	1	3.4
Does not use dashboards	1	3.4
Total	29	100.0

Source: The author's calculations based on the anonymous survey conducted on 26 October 2026. n = 29. 'Occasionally' is the standardised label for a free-text response. Percentages are rounded.

Usage frequency and decision preparation

Regular use of dashboard indicators in decision preparation was reported by 9 respondents (31.0%), while

15 (51.7%) reported sometimes using them. Two respondents (6.9%) answered negatively, and 3 (10.3%) selected 'Do not know'. In total, 24 respondents (82.8%) selected either 'Regularly' or 'Sometimes' for use in decision preparation. This combined proportion does not measure dashboard usage frequency or the magnitude of any effect on decision preparation.

Using the unrounded proportions, the share reporting daily use or use several times a week exceeds the share reporting regular use in decision preparation by 31.0 percentage points. However, this difference between overall proportions does not fully describe their relationship at the individual level. The cross-tabulation shows that, among the 18 respondents who used dashboards daily or several times a week, 7 (38.9%) reported regular use in decision preparation and 8 (44.4%) reported sometimes using them. Two answered negatively, and 1 selected 'Do not know'. Table 2 combines the responses of the same participants.

Table 2

Cross-tabulation of usage frequency and use in decision preparation

Dashboard use	Regularly	Sometimes	No	Do not know	Total
Daily or several times a week	7	8	2	1	18
Other frequencies and non-users	2	7	0	2	11
Total	9	15	2	3	29

Note: Cells show the number of respondents. Columns refer to use in decision preparation. The other frequency group comprises monthly users (n = 3), users at the pilot stage (n = 6), an occasional user (n = 1), and a non-user (n = 1). Source: The author's calculations based on the raw survey responses.

In the other frequency group, the 2 respondents who reported regular use in decision preparation both described their dashboard use as being at the pilot stage. These responses were not automatically treated as errors. A dashboard at the pilot stage may be used regularly for a particular decision task; respondents may also have interpreted the questions differently. No follow-up clarification was obtained, so neither explanation can be established from the survey.

The main observation from the cross-tabulation is that dashboard usage frequency does not fully coincide with use in decision preparation. A larger number of respondents using dashboards daily or several times a week does not imply an equivalent level of integration into decision processes. As no statistical hypothesis test was applied to this cross-tabulation, the result remains a descriptive observation.

Perceived benefits and reporting time

Each of the statements about reducing the time required to prepare decisions, identifying problems sooner, and facilitating comparisons through year and sector filters received positive assessments from 23 respondents (79.3%). Increased information transparency received positive assessments from 21 respondents (72.4%), while reduced reliance on a separate analyst for reporting received positive assessments from 19 (65.5%). Table 3 presents neutral and negative responses alongside the positive assessments.

For the statement about reduced reliance on an analyst, 10 respondents (34.5%) selected a neutral response. The reasons for these responses were not investigated separately. This measure does not establish how much reliance on analysts has actually changed. No conclusion is therefore drawn that analytical work has been replaced or labour demand has declined.

Table 3

Assessments of statements about dashboard benefits

Statement	Positive n (%)	Neutral n (%)	Negative n (%)
Improves information transparency	21 (72.4)	8 (27.6)	0 (0.0)
Reduces the time required to prepare decisions	23 (79.3)	6 (20.7)	0 (0.0)

Statement	Positive n (%)	Neutral n (%)	Negative n (%)
Helps identify problems earlier	23 (79.3)	5 (17.2)	1 (3.4)
Year and sector filters make comparisons easier	23 (79.3)	4 (13.8)	2 (6.9)
Reduces reliance on a separate analyst for reporting	19 (65.5)	10 (34.5)	0 (0.0)

Note: n = 29 for each statement. Positive assessments combine codes 4–5, neutral assessments correspond to code 3, and negative assessments combine codes 1–2. Percentages may not sum to 100.0 because of rounding. Source: The author's calculations.

Changes in report preparation time were assessed through a separate retrospective question rather than a general statement about benefits. A decrease in time was reported by 13 respondents (44.8%), no change by 8 (27.6%), and an increase by 5 (17.2%); 3 respondents (10.3%) could not assess the change. The 44.8% reported here does not measure the same outcome as the 79.3% who agreed that dashboards reduce the time required to prepare decisions. The first question concerns a respondent's observation of reporting time, whereas the second records agreement with a general statement. Both results are subjective responses; no time savings were measured in minutes. One respondent who reported not currently using dashboards selected an increase in reporting time. As previous dashboard experience was not asked about separately, this response cannot be explained more precisely. It was retained in the overall distribution.

Training needs and barriers to adoption

Additional training was considered necessary by 14 respondents (48.3%) and unnecessary by 8 (27.6%); 7 respondents (24.1%) were unsure. Uncertain responses were not counted directly as a demand for training. Nevertheless, an initial skills assessment could help determine appropriate training content for these respondents.

Skills shortages and cost were the most frequently selected barriers, each identified by 16 respondents (55.2%). Technical integration and management support were each selected 13 times (44.8%), and data quality was selected 10 times (34.5%). Seven respondents (24.1%) reported no difficulties. The denominator for each percentage was 29. Because multiple responses were permitted, the percentages sum to more than 100%. The frequency with which a barrier was selected does not measure its objective cost or the magnitude of its impact.

Discussion

The findings support retaining two separate measures when evaluating dashboard use: the frequency with which a dashboard is used and the regularity with which it is consulted during decision preparation. The main observation in this sample is that only some respondents who used dashboards daily or several times a week reported regular use in decision preparation. However, the 8 respondents in that group who reported sometimes using dashboards for this purpose also indicate that dashboards cannot be considered entirely separate from their decision processes.

This observation is consistent with distinguishing dashboards by their purposes and patterns of use (Sarikaya et al., 2019). Frequent consultation may serve a monitoring task, while use in decision preparation may depend on other work processes. The survey did not collect information about decision types, the allocation of decision authority, or dashboard access logs. It therefore cannot identify the organisational reasons for the difference. Recording specific decision examples in future research could help address this gap.

Positive responses to the benefit statements describe participants' perceptions of dashboards. They do not identify which design element produced a particular outcome. The design choices systematised by Bach et al. (2023) could help define alternatives for comparison in future tests. The present survey does not establish that a particular colour, chart, or filter improves decision quality.

The difference between general perceptions of usefulness and respondents' observations of reporting time illustrates the importance of selecting appropriate evaluation measures. Favourable attitudes, task speed,

and response accuracy should be assessed as separate outcomes. The range of methods used to evaluate visual analytics systems also supports this distinction (Islam et al., 2024). Surveys of users' perceptions can be complemented by usage logs documenting behaviour and by observations of performance on predefined tasks.

One practical implication is to document the relationship between a decision and the indicator intended to support it. An enterprise could specify the decision, the relevant indicator, and the action to be considered in response. For example, an alert about declining sales could identify the periods and product groups that should be examined rather than merely display the decline. This is a practical proposal arising from the distinction between use and decision preparation, not an intervention tested in the survey.

A second implication is to link training to specific work tasks. The 14 respondents who reported a need for additional training and the 16 who selected skills shortages as a barrier cannot be assumed to form the same group, because these measures came from different questions. A training plan could begin with assessments of tasks such as applying a filter, explaining an indicator, and checking a comparison. Using comparable tasks after training would make changes in learning easier to assess.

Responses concerning cost, integration, and data quality also suggest that the organisational aspects of technical adoption should be assessed. When defining a pilot, an enterprise could agree in advance on the data source, update frequency, indicator definition, and person responsible. Visual results should be checked before they inform a decision: the presentation directs attention, and misleading comparisons remain possible (Lurie & Mason, 2007). The effectiveness of these proposals requires a separate implementation study.

Limitations and future research

The principal limitation is the non-probability sample of 29 respondents. Data collection over a single day and recruitment through personal networks may have introduced self-selection bias. The sample was not designed to match the sectoral composition of enterprises in Azerbaijan, and individual sector groups were small. The percentages therefore apply only to the surveyed respondents. Without enterprise identifiers, independence and coverage at the organisational level also cannot be assessed.

A second limitation is reliance on self-reports, which may reflect recall errors, social desirability, and differing interpretations of 'dashboard'. Use and perceived benefits were measured in the same questionnaire at the same time, without independent corroboration. The questionnaire did not undergo separate psychometric validation. Responses combining pilot-stage use with regular use in decision preparation suggest that clearer definitions could improve future surveys.

No control group, measurements before and after dashboard adoption, task completion times, error counts, or financial indicators verified against enterprise records were available. The study therefore cannot establish effects on decision quality or productivity. As no sample size calculation was conducted in advance, the data should not subsequently be used to support broader statistical claims for which the study was not designed (Lakens, 2022).

Future research should define its target population and sampling frame in advance and distinguish the enterprise and respondent levels. A specified reference period for usage frequency and a concrete example of decision preparation could improve respondents' understanding. A comparative task study could present the same information in table and dashboard formats, measuring completion time and the proportion of correct responses. Its sample size should be planned in advance based on the primary outcome and required precision.

Conclusion

Among the 29 eligible respondents employed by enterprises operating in Azerbaijan, 18 reported using dashboards daily or several times a week, whereas 9 reported regular use in decision preparation. Of the 18 frequent users, 7 reported the latter. The two forms of use did not fully coincide, supporting separate monitoring.

Although positive assessments of the benefit statements were common, only 13 respondents reported a reduction in reporting time. Skills shortages and cost were each selected by 16 respondents, and 14 reported a need for additional training. Adoption plans could therefore consider the decision task, users' skills, and the verification of information. The findings provide preliminary descriptive evidence; they do not establish national

prevalence, financial returns, or causal effects.

Data source and availability. The analysis uses the raw electronic export of the author's anonymous master's dissertation survey. Aggregate results appear in this article. The author retains the anonymous raw responses, which are not deposited in a public repository.

List of used literature:

1.Bach, B., Freeman, E., Abdul-Rahman, A., Turkay, C., Khan, S., Fan, Y., & Chen, M. (2023). Dashboard design patterns. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 29(1), 342–352. https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3209448

2.Islam, M. R., Akter, S., Islam, L., Razzak, I., Wang, X., & Xu, G. (2024). Strategies for evaluating visual analytics systems: A systematic review and new perspectives. Information Visualization, 23(1), 84–101. https://doi.org/10.1177/14738716231212568

3.Lakens, D. (2022). Sample size justification. Collabra: Psychology, 8(1), Article 33267. https://doi.org/10.1525/collabra.33267

4.Lurie, N. H., & Mason, C. H. (2007). Visual representation: Implications for decision making. Journal of Marketing, 71(1), 160–177. https://doi.org/10.1509/jmkg.71.1.160

5.Sarikaya, A., Correll, M., Bartram, L., Tory, M., & Fisher, D. (2019). What do we talk about when we talk about dashboards? IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 25(1), 682–692. https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2864903

Sullivan, G. M., & Artino, A. R., Jr. (2013). Analyzing and interpreting data from Likert-type scales. Journal of Graduate Medical Education, 5(4), 541–542. https://doi.org/10.4300/JGME-5-4-18.

© Sardarova I., Ismayılzada A., 2026

UDC 621.316.7:621.311

Sardarova I.,
Associate professor,
Agacanov N., Ismayilzade N.
Master's degree student
Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku, Azerbaijan

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR IMPROVING POWER QUALITY

Abstract

The increasing complexity of electrical power networks and the widespread integration of nonlinear loads, renewable energy sources, and power electronic devices have introduced new challenges in maintaining acceptable power quality levels. Voltage fluctuations, harmonic distortion, frequency deviations, and reactive power imbalance can negatively affect the performance of electrical equipment, increase energy losses, and reduce the reliability of power distribution systems. Addressing these problems requires the development of effective control solutions capable of monitoring electrical parameters and implementing corrective actions under different operating conditions. This research focuses on the development of a control system intended to improve power quality by regulating essential electrical parameters and reducing disturbances in power supply networks.

The study investigates the main factors influencing power quality and examines the application of modern control technologies for voltage stabilization, harmonic mitigation, and reactive power compensation. Particular attention is devoted to the analysis of electrical network characteristics, the selection of suitable measurement

devices, and the development of control algorithms capable of responding to variations in load demand and operating conditions.

Keywords:

power quality, automatic control system, voltage regulation, harmonic distortion, reactive power compensation.

Introduction

The transformation of conventional electrical networks into modern, digitally controlled power systems has created new requirements for the quality and continuity of electricity supply. Industrial enterprises, commercial facilities, and residential consumers increasingly depend on sensitive electronic equipment whose performance is strongly influenced by the characteristics of the supplied electrical energy. The growing use of variable-frequency drives, switching power supplies, electric vehicle charging stations, and distributed renewable energy resources has changed the operating conditions of electrical distribution networks. Consequently, power quality has become an essential consideration in the planning, operation, and modernization of electrical infrastructure. International standards, including the IEC 61000 series and IEEE 519, provide technical frameworks for evaluating electromagnetic disturbances and harmonic distortion in electrical systems. The development of advanced control solutions capable of identifying and compensating for undesirable electrical phenomena is therefore an important direction in electrical power engineering and industrial automation [1].

An effective power quality improvement system requires the coordinated application of electrical measurements, signal processing methods, control algorithms, and compensation equipment. Digital measurement devices and monitoring units can be used to calculate parameters such as root mean square voltage, total harmonic distortion, active and reactive power, and power factor. Depending on the identified disturbances, appropriate compensation technologies may include active power filters, static synchronous compensators (STATCOM), capacitor banks, and dynamic voltage restorers. The proposed approach is intended to support stable electrical network operation, improve equipment performance, reduce technical losses, and provide a foundation for the integration of advanced power quality management technologies into modern electrical distribution systems [2].

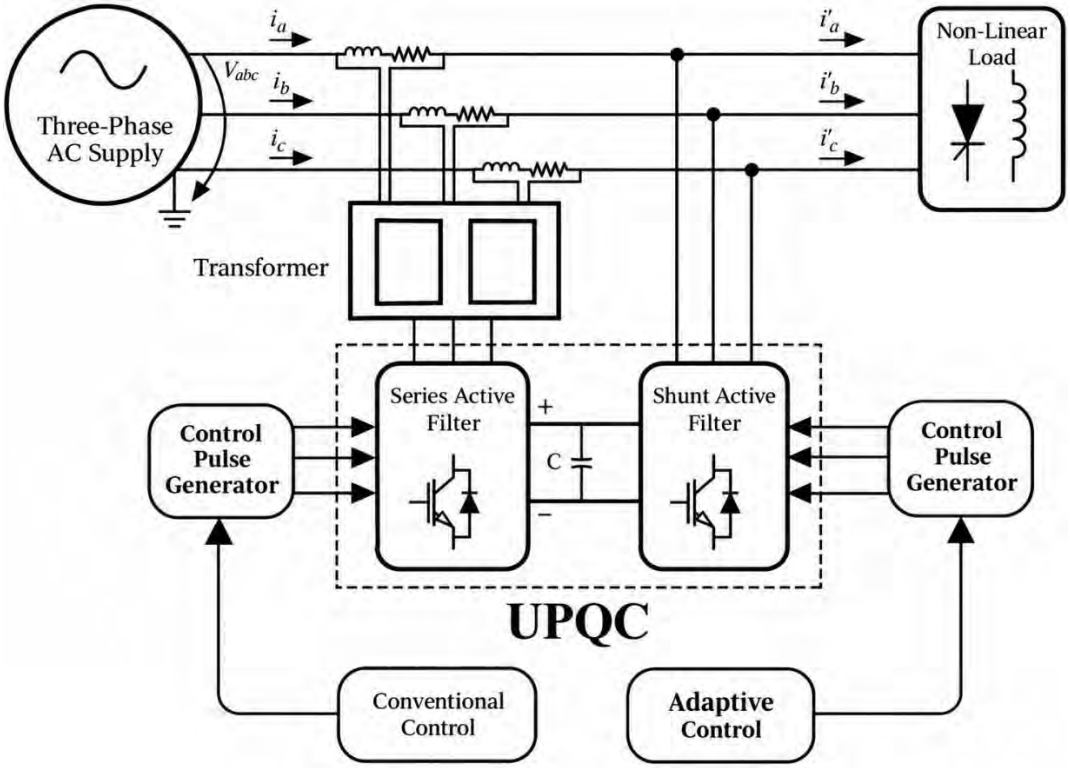


Figure 1 – Development of a UPQC-Based Control System for Improving Electrical Power Quality

Figure 1 presents the structural arrangement of a control system developed to improve electrical power quality through the application of a Unified Power Quality Conditioner (UPQC). The system consists of a three-phase AC power supply, a nonlinear load, series and shunt active power filters, a common DC-link capacitor, and control units responsible for generating switching signals. The series active filter compensates for voltage disturbances, including voltage sags, swells, and waveform distortions, while the shunt active filter reduces current harmonics, compensates for reactive power, and improves the power factor. Both filters operate in a coordinated manner to maintain acceptable voltage and current characteristics under varying load conditions. The proposed control architecture incorporates conventional and adaptive control methods to regulate the operation of power electronic converters and generate appropriate compensation signals. The adaptive control strategy provides the possibility of adjusting system responses according to changes in electrical network parameters and nonlinear load characteristics. The DC-link capacitor facilitates energy exchange between the converters and supports stable operation of the compensation system. The developed approach aims to reduce harmonic distortion, improve voltage stability, minimize electrical losses, and enhance the reliability of power distribution networks. Thus, the presented UPQC-based control structure provides a technical foundation for developing an effective power quality improvement system suitable for modern industrial and electrical energy applications [3].

The proposed power quality improvement system based on a Unified Power Quality Conditioner (UPQC) provides several technical and operational advantages for modern electrical distribution networks. One of its most important features is the simultaneous compensation of voltage and current disturbances through the coordinated operation of series and shunt active power filters. The series active filter injects compensating voltages to mitigate voltage sags, swells, and waveform distortions, while the shunt active filter reduces harmonic currents, compensates for reactive power, and improves the power factor. This combined configuration makes it possible to address multiple power quality problems within a single integrated system, reducing the need for separate compensation devices. By reducing harmonic distortion and improving electrical waveform characteristics, the proposed system can help decrease additional losses in electrical equipment, limit thermal stress, and extend the operational lifetime of sensitive industrial devices. The implementation of digital monitoring and power electronic control technologies also creates opportunities for continuous supervision, rapid disturbance detection, and improved coordination of compensation processes. Although the UPQC requires additional power electronic equipment and introduces its own operating losses, appropriate system design and control optimization can provide substantial improvements in power supply quality. Overall, the proposed control architecture offers a technically effective approach to enhancing voltage stability, improving current quality, supporting reliable equipment operation, and increasing the efficiency of electrical power distribution systems [4].

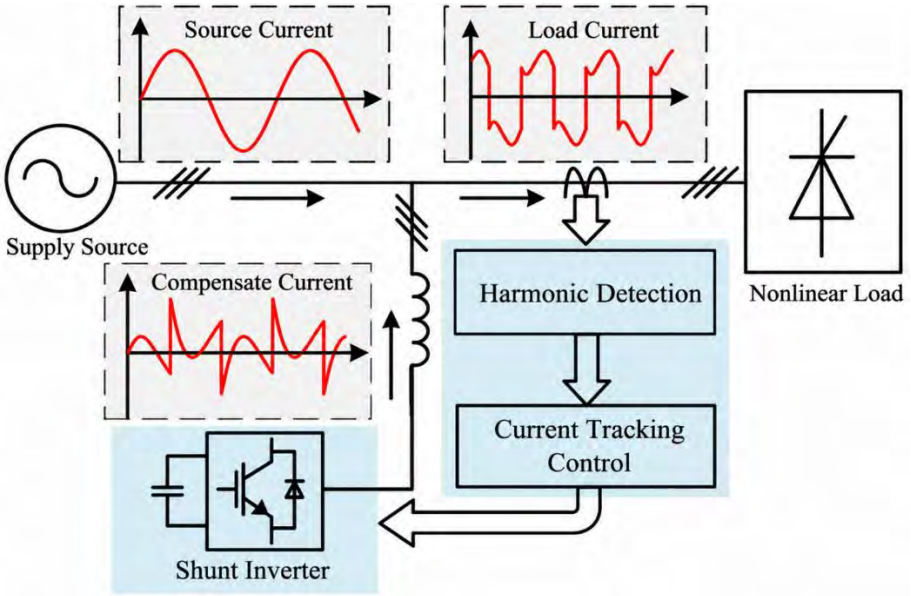


Figure 2 – Harmonic compensation and current control system for improving electrical power quality

Figure 2 illustrates the operating principle of a harmonic compensation and current control system designed to improve electrical power quality in distribution networks supplying nonlinear loads. The system incorporates a power supply source, a nonlinear load, a harmonic detection unit, a current tracking controller, and a shunt active power filter implemented through a power electronic inverter. Nonlinear loads generate distorted current waveforms containing harmonic components that can negatively affect power quality, increase electrical losses, and reduce the efficiency of connected equipment. To address these disturbances, the harmonic detection unit analyzes the load current and identifies the components requiring compensation. The current tracking controller processes the reference compensation signal and generates switching commands for the shunt inverter. The inverter injects compensating current into the electrical network through a coupling inductor, reducing the harmonic components drawn from the supply. As a result, the source current can approach a sinusoidal waveform, improving current quality and reducing total harmonic distortion (THD). The proposed control structure also supports reactive power compensation and power factor improvement when appropriate reference-current generation algorithms are implemented. The integration of harmonic detection, feedback control, and power electronic compensation provides a technical approach to maintaining acceptable electrical parameters under varying load conditions. Consequently, the presented system contributes to the research objective of developing an effective control system for improving power quality, enhancing electrical network reliability, reducing harmonic-related losses, and supporting efficient operation of modern power distribution systems [5].

Conclusion. The development of a control system for improving electrical power quality is an important engineering approach to addressing disturbances associated with modern power distribution networks. The increasing application of nonlinear electrical loads, power electronic converters, and renewable energy technologies has created additional requirements for maintaining voltage stability, reducing harmonic distortion, and ensuring reliable electricity supply.

List of used literature:

1. Bollen, M. H. J. Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions. IEEE Press, 2000.
2. Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso, S., Beaty, H. W. Electrical Power Systems Quality. 3rd Edition. McGraw-Hill Education, 2012.
3. Akagi, H., Watanabe, E. H., Aredes, M. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning. 2nd Edition. Wiley-IEEE Press, 2017.
4. Khadkikar, V. Enhancing Electric Power Quality Using UPQC: A Comprehensive Overview. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 27, No. 5, pp. 2284–2297, 2012.
5. IEEE Standards Association. IEEE Std 519-2022: IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE, 2022.

© Sardarova I., Agacanov N., Ismayilzade N., 2026

UDC 681.515:536.5

Sardarova I., associate professor,
Agacanov N., Valizadeh G., master's degree student
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

DEVELOPMENT OF A TEMPERATURE CONTROL SYSTEM USING A PID CONTROLLER

Abstract

Temperature control plays a significant role in modern industrial automation systems, where accuracy, stability, and efficient operation are essential for maintaining the quality and reliability of technological processes. This research focuses on the development of an automated temperature control system based on a

Proportional–Integral–Derivative (PID) controller. The primary objective is to achieve precise temperature regulation, minimize deviations from the desired setpoint, and improve the dynamic performance of the control system under varying operating conditions.

The study examines the fundamental principles of PID control, including the influence of proportional, integral, and derivative components on system stability, response time, and steady-state accuracy. Particular attention is given to the mathematical modeling of the temperature control process, the selection of appropriate control parameters, and the implementation of feedback mechanisms using temperature sensors and heating elements.

Furthermore, the research considers different PID tuning methods and evaluates their effectiveness in reducing overshoot, settling time, and temperature fluctuations. The proposed control system is designed to provide reliable temperature regulation while supporting energy-efficient operation and minimizing unnecessary power consumption.

Keywords:

PID controller, temperature control, automatic control system, feedback control, system stability.

Introduction

The continuous development of industrial automation technologies has significantly increased the importance of accurate and reliable temperature control in modern technological processes. Temperature regulation is a critical factor in various industrial applications, including manufacturing, chemical processing, food production, heating systems, and thermal equipment. Maintaining temperature within predefined limits is essential for ensuring product quality, operational safety, energy efficiency, and overall system performance. However, temperature control processes are often influenced by external disturbances, thermal inertia, changing environmental conditions, and variations in system parameters. These challenges create a need for advanced control strategies capable of providing stable and precise temperature regulation. Among the available control methods, the Proportional–Integral–Derivative (PID) controller remains one of the most widely applied solutions due to its relatively simple structure, effectiveness, and adaptability to different industrial processes [1].

The development of a PID-based temperature control system requires a comprehensive understanding of thermal dynamics, feedback control principles, and controller parameter optimization. The proportional component provides an immediate response to temperature deviations, while the integral component eliminates steady-state errors, and the derivative component helps improve transient performance by responding to the rate of change of the control error. The appropriate adjustment of these parameters is essential for minimizing overshoot, reducing settling time, and maintaining system stability under different operating conditions. Furthermore, the integration of temperature sensors, control algorithms, and heating elements enables continuous monitoring and automatic adjustment of thermal processes. Mathematical modeling and simulation techniques can also be employed to analyze system behavior and evaluate controller performance before practical implementation. This study aims to develop and investigate an automated temperature control system using a PID controller, with particular emphasis on improving control accuracy, dynamic response, operational reliability, and energy efficiency in industrial automation applications [2].

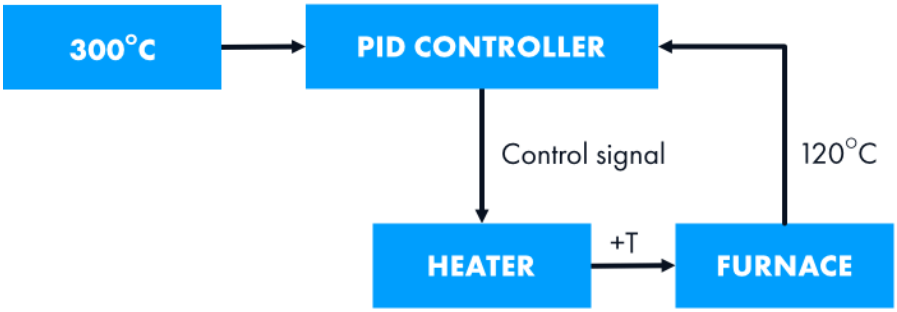


Figure 1 – Block Diagram of a PID-Based Temperature Control System

The figure illustrates the operating principle of a temperature control system based on a Proportional–Integral–Derivative (PID) controller. The system is designed to maintain the furnace temperature at a predefined setpoint of 300°C by continuously monitoring and adjusting the heating process. The PID controller receives information about the desired temperature and the actual furnace temperature, which is initially measured at 120°C. Based on the difference between these values, the controller calculates the control error and generates an appropriate signal to regulate the heating element. The proportional component responds to the current temperature error, the integral component reduces accumulated deviations, and the derivative component helps improve system stability by considering the rate of error change. The heating element adjusts its thermal output according to the control signal, gradually increasing the furnace temperature toward the required setpoint. Through continuous feedback, the controller updates its output to minimize temperature fluctuations, reduce steady-state errors, and maintain stable operating conditions. This closed-loop control approach provides accurate temperature regulation, improved dynamic response, and efficient operation in industrial heating applications [3].

The PID-based temperature control system offers several advantages in terms of accuracy, stability, reliability, and operational efficiency. One of its primary benefits is the ability to maintain the desired temperature with high precision by continuously adjusting the heating power according to the difference between the setpoint and the measured temperature. The feedback mechanism enables the system to respond automatically to temperature variations and external disturbances, reducing the need for manual intervention. Furthermore, the proportional, integral, and derivative components work together to improve dynamic performance, minimize steady-state errors, reduce overshoot, and shorten settling time when properly tuned. Another important advantage is the potential for improved energy efficiency, as the controller regulates the heating element according to the actual thermal requirements of the system, avoiding unnecessary energy consumption. Additionally, PID controllers are relatively simple to implement, cost-effective, and compatible with various industrial automation devices. Their flexibility allows them to be applied in different temperature-dependent processes, including industrial furnaces, heating equipment, and manufacturing systems. Overall, the proposed PID-based control approach can enhance temperature regulation accuracy, improve process stability, reduce operational costs, and support reliable and efficient industrial operations [4].

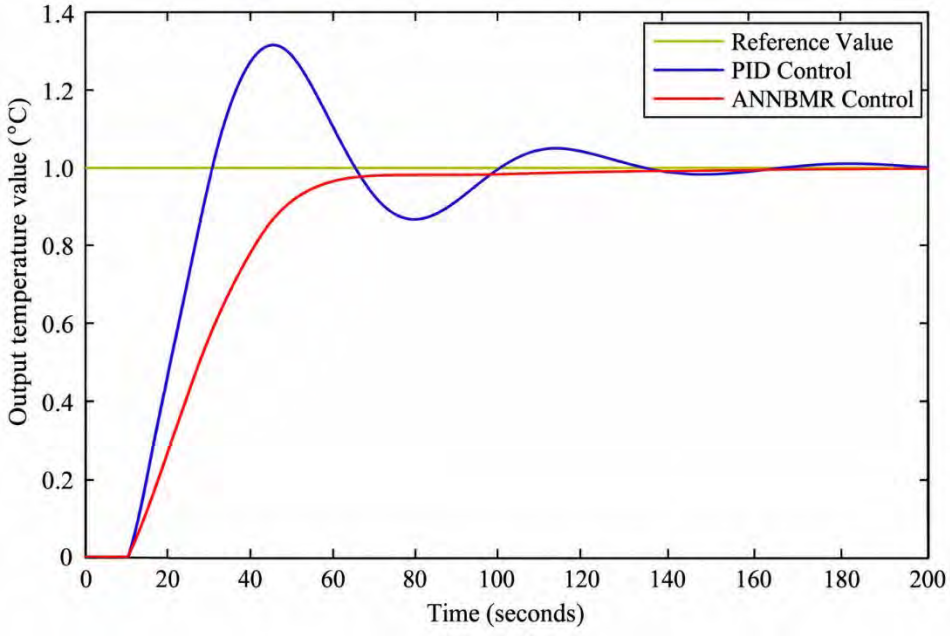


Figure 2 – Comparison of Temperature Control Performance Using PID and ANNBMR Controllers

The figure illustrates the dynamic temperature response of a heat exchanger system controlled by two different control strategies: a conventional Proportional–Integral–Derivative (PID) controller and an Artificial Neural Network-Based Model Reference (ANNBMR) controller. The graph presents the variation in output temperature over a period of 200 seconds, with the reference value representing the desired operating temperature. The PID controller, represented by the blue curve, demonstrates a rapid initial response but experiences significant overshoot, reaching approximately 1.3 times the reference value before gradually decreasing. This behavior is followed by damped oscillations, indicating that the controller requires additional time to achieve stable temperature regulation. In contrast, the ANNBMR controller, represented by the red curve, provides a smoother response with practically no overshoot and significantly reduced oscillations. Although its initial response is slower than that of the PID controller, it approaches the reference value more gradually and maintains stable operating conditions. The comparison highlights the importance of controller design and parameter optimization in temperature regulation systems. The results illustrated in the graph suggest that advanced control strategies can improve transient response characteristics, reduce temperature fluctuations, and enhance overall system stability. Furthermore, the observed behavior emphasizes the necessity of proper PID parameter tuning to achieve accurate and reliable temperature control in industrial thermal processes [5].

Conclusion. The development of a temperature control system using a Proportional–Integral–Derivative (PID) controller represents an effective approach to improving the accuracy, stability, and reliability of industrial thermal processes. This study has examined the fundamental principles of PID-based temperature regulation, emphasizing the importance of feedback control, mathematical modeling, and appropriate controller parameter adjustment. The analysis demonstrates that the coordinated operation of proportional, integral, and derivative components enables the control system to respond to temperature deviations, minimize steady-state errors, and improve dynamic performance under varying operating conditions.

List of used literature:

1. Åström, K. J., & Hägglund, T. (1995). PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. 2nd Edition. Instrument Society of America (ISA), Research Triangle Park, North Carolina. Wiley

2. Åström, K. J., & Hägglund, T. (2006). Advanced PID Control. ISA – The Instrumentation, Systems and Automation Society, Research Triangle Park, North Carolina.Lunds universitet

3. Ogata, K. (2010). Modern Control Engineering. 5th Edition. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.Pearson

4. Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A., & Doyle, F. J. III. (2011). Process Dynamics and Control. 3rd Edition. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey. Wiley

5. Ziegler, J. G., & Nichols, N. B. (1942). Optimum Settings for Automatic Controllers. Transactions of the ASME, 64(8), 759–768. DOI: 10.1115/1.4019264.

© Sardarova I., Agacanov N., Valizadeh G., 2026

UDC UDC 681.5:658.5

Sardarova I., associate professor,
Agacanov N., Mutallimov E., master's degree student
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR A PACKAGING AND SORTING LINE

Abstract

Packaging and sorting processes play a significant role in modern industrial automation systems, where

accuracy, productivity, and operational reliability are essential for ensuring efficient production and maintaining product quality. This research focuses on the development of an automatic control system for a packaging and sorting line. The primary objective is to improve production efficiency, minimize human intervention, reduce operational errors, and ensure accurate product classification and packaging under different operating conditions.

The study examines the fundamental principles of automated packaging and sorting systems, including the application of Programmable Logic Controllers (PLCs), industrial sensors, conveyor mechanisms, and electromechanical actuators. Particular attention is given to the design of the control system architecture, the development of operational algorithms, and the integration of sensors for product detection, identification, and classification according to predefined parameters such as size or other physical characteristics.

Furthermore, the research considers the implementation of automated control algorithms, real-time monitoring, and feedback mechanisms to ensure synchronized operation of sorting and packaging equipment.

Keywords:

automatic control system, packaging and sorting line, programmable logic controller (PLC), industrial automation, conveyor system, sensor technology.

Introduction

The growing demand for high-speed production and efficient material handling has encouraged manufacturing enterprises to adopt intelligent solutions for packaging and sorting operations. In modern production facilities, these processes represent interconnected stages that directly influence production capacity, product distribution, and the overall organization of manufacturing activities. Packaging and sorting lines must handle products with different physical characteristics while maintaining a continuous workflow and minimizing unnecessary delays. Traditional systems based on manual operations or partially automated equipment often experience limitations related to processing speed, classification accuracy, and coordination between individual mechanisms. The introduction of automated control technologies makes it possible to organize product movement, identify objects according to specified criteria, and perform packaging operations in a predetermined sequence. In this context, the development of an integrated control system represents an important engineering task aimed at improving the technological capabilities of industrial production lines. The combination of electronic control devices, mechanical transportation equipment, and digital information processing creates opportunities for establishing flexible production systems that can respond to changing operational requirements [1].

An automated packaging and sorting line consists of several functional units responsible for product transportation, detection, classification, separation, and final packaging. The interaction between these units must be organized through a centralized control structure that coordinates equipment operation according to a predefined technological algorithm. Programmable Logic Controllers (PLCs) can be employed to execute sequential control operations, process signals received from photoelectric, proximity, and other industrial sensors, and activate the corresponding actuating mechanisms. Depending on the characteristics of the products, sorting operations may be performed using pneumatic cylinders, mechanical diverters, or motor-driven devices. The packaging stage requires precise coordination between product arrival, positioning, counting, and package formation. An important aspect of system development involves designing the electrical control architecture, establishing logical relationships between individual operations, and implementing protective functions to prevent equipment collisions, product accumulation, and emergency situations. In addition, the use of Human–Machine Interface (HMI) systems allows technological parameters to be monitored and operating modes to be adjusted. The main purpose of this research is to develop a functional automatic control system that integrates the sorting and packaging stages into a unified technological process, determines the sequence of equipment

operations, and provides a technical basis for evaluating the productivity, accuracy, and reliability of the proposed industrial solution [2].

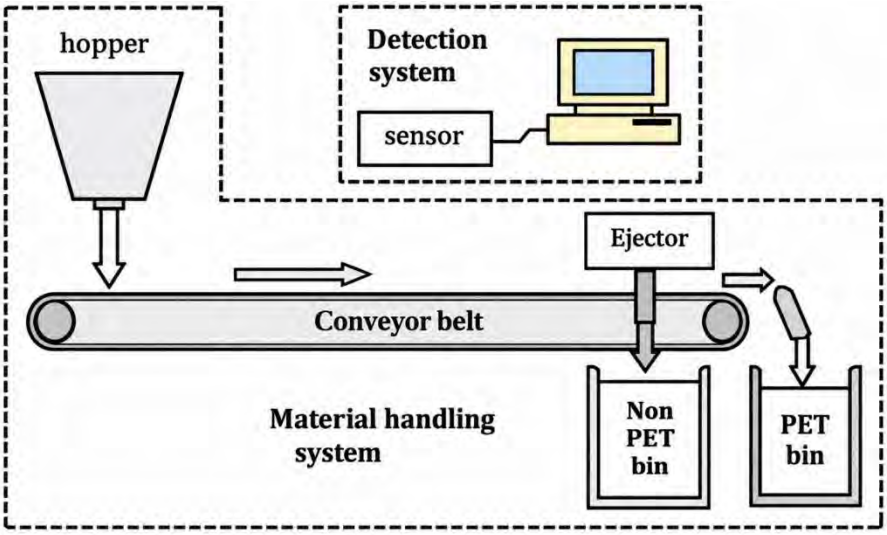


Figure 1 – Schematic diagram of an automated pet and non-pet material sorting system

Figure 1 illustrates the basic operating structure of an automated material sorting system designed to separate PET and non-PET materials. The process begins when materials are introduced through a hopper and transferred onto a conveyor belt. As the materials move along the conveyor, a detection system equipped with a sensor identifies their characteristics and transmits the collected information to a processing unit. Based on the detection results, the control system determines the appropriate sorting operation and activates the ejector mechanism when necessary. Non-PET materials are directed into a separate collection bin, while PET materials continue along the conveyor and are discharged into the designated PET bin. The coordinated operation of the conveyor, detection system, and ejector enables continuous material transportation and automated classification. This arrangement provides a basic technological framework for developing an integrated packaging and sorting control system, reducing manual handling and supporting more consistent sorting operations. [3].

The implementation of an automatic control system for a packaging and sorting line provides significant technological and economic benefits for industrial production facilities. A major advantage of the proposed system is the ability to establish a continuous and well-organized material flow by coordinating product feeding, transportation, identification, separation, and packaging operations within a unified control structure. The application of industrial sensors and programmable logic controllers enables products to be classified according to predetermined characteristics, thereby reducing sorting errors and improving the consistency of production operations. Unlike conventional manually operated systems, the automated approach allows repetitive tasks to be performed with greater speed and uniformity while reducing dependence on human intervention. Another important benefit is the possibility of adapting the control algorithms to different product categories, production volumes, and packaging requirements without extensive modifications to the mechanical infrastructure. The integration of conveyor mechanisms, pneumatic actuators, and electronic control devices also facilitates accurate product positioning and timely execution of sorting operations. In addition, automated monitoring and fault detection functions can help identify equipment malfunctions, prevent material accumulation, and reduce unexpected production interruptions. From an economic perspective, the optimization of equipment operating cycles and material handling procedures can contribute to lower labor requirements, reduced product losses, and more efficient utilization of available resources. The modular structure of the proposed system also creates opportunities for future expansion through additional sorting stations, packaging units, and advanced monitoring technologies. Consequently, the development of an integrated automatic packaging and sorting control system offers a practical approach to increasing production throughput, improving classification accuracy, enhancing

operational safety, and supporting flexible and cost-effective industrial manufacturing processes [4].

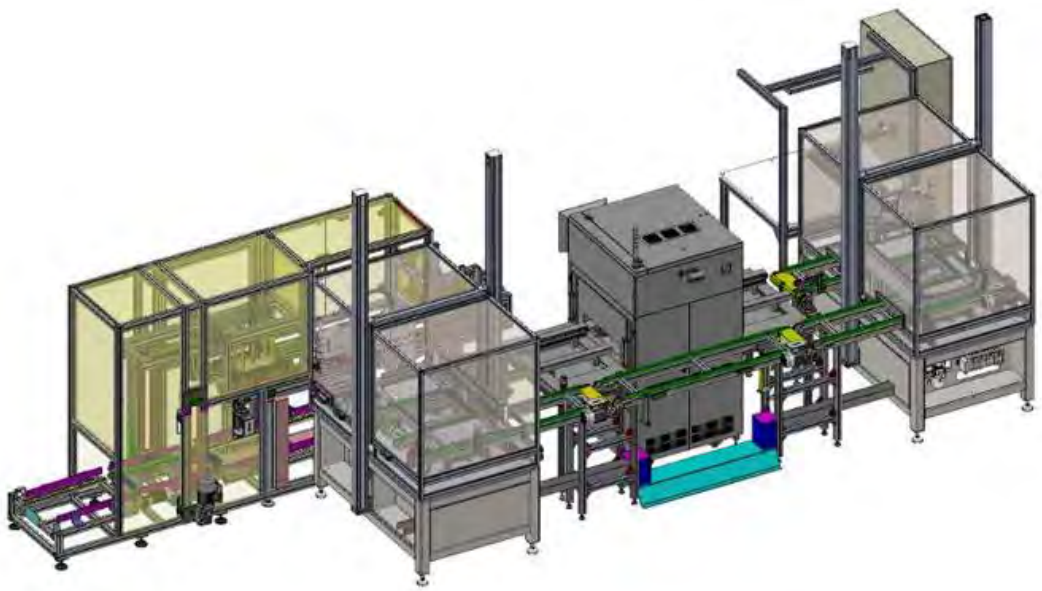


Figure 2 – Three-Dimensional model of an automated packaging and sorting production line

Figure 2 presents a three-dimensional engineering model of an automated packaging and sorting production line consisting of interconnected conveyor systems, processing stations, mechanical actuators, and protective enclosures. The illustrated configuration demonstrates the arrangement of industrial equipment designed to support continuous product transportation and coordinated technological operations. Conveyor mechanisms connect the individual processing units, allowing products to move sequentially between different stages of the production line. The enclosed stations accommodate automated handling and processing mechanisms, while the central equipment modules provide space for the integration of electrical and control components. The system can be operated using a Programmable Logic Controller (PLC), which coordinates conveyor movements, processes signals from industrial sensors, and controls actuating devices according to predefined operating algorithms. Transparent protective barriers and structural frames provide physical separation between moving machinery and operating personnel, contributing to industrial safety. The modular arrangement facilitates equipment maintenance, technological adjustments, and potential expansion of the production line. Overall, the presented model illustrates a practical mechanical configuration for implementing an integrated automatic control system aimed at improving production continuity, operational coordination, and the efficiency of industrial packaging and sorting processes [5].

Conclusion

The development of an automatic control system for a packaging and sorting line represents an important step toward improving the efficiency, flexibility, and reliability of modern industrial production processes. The proposed approach integrates conveyor mechanisms, industrial sensors, programmable logic controllers, and electromechanical actuators into a coordinated technological system capable of performing product transportation, identification, classification, and packaging operations. The application of automated control algorithms enables the synchronization of individual processing stages, reduces the dependence on manual operations, and creates opportunities for improving production consistency and minimizing operational errors.

List of used literature:

1. Bolton, W. Programmable Logic Controllers. 6th Edition. Newnes, Elsevier, 2015.

2. Petruzella, F. D. Programmable Logic Controllers. 5th Edition. McGraw-Hill Education, 2017.

3. Groover, M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. 5th Edition. Pearson, 2020.

4. Webb, J. W., Reis, R. A. Programmable Logic Controllers: Principles and Applications. 5th Edition. Prentice Hall, 2003.
5. Nise, N. S. Control Systems Engineering. 8th Edition. Wiley, 2019.

© Sardarova I., Agacanov N., Mutallimov E., 2026

УДК 004.41

Адзянов А.В.,
магистрант ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»
Уфа, Российская Федерация
Научный руководитель: Попов Д.В.
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Заведующий кафедрой "Цифровые технологии и моделирование"
Уфа, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЁРА МЕДИЦИНСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ UNITY

Аннотация

Представлена модульная архитектура трёхмерного тренажёра MedicalTwin на Unity. Описаны управление последовательностью восьми учебных действий, взаимодействие с объектами, теоретическое тестирование и сохранение результатов. По материалам технического аудита приведены результаты статической проверки и изолированных тестов. Определены границы подтверждённой функциональности и направления проверки приложения.

Ключевые слова:
виртуальный тренажёр, Unity, программная архитектура, медицинское образование, учебный сценарий, функциональное тестирование.

Введение

Трёхмерные тренажёры позволяют представить профессиональную процедуру как последовательность действий с интерактивными объектами. В медицинском образовании такое моделирование может дополнять теоретическую подготовку и занятия с манекенами. Обзоры виртуальных образовательных технологий показывают зависимость результатов от состава программы и условий сравнения [1; 2]. Выводы этих исследований нельзя автоматически переносить на отдельное настольное приложение.

Научно-техническая задача состоит в согласовании состояния виртуальной среды, допустимости действий и данных о прохождении. Цель работы — разработать функциональную архитектуру MedicalTwin, в которой контроль учебной последовательности отделён от визуализации, расчёта результата и хранения истории.

Материалы и методы

Использованы исходные файлы MedicalTwin_Training, настройки рабочих сцен и внутренний технический аудит от 16.11.2026. Версия редактора Unity 6.3 LTS — 6000.3.3f1; прикладная логика написана на C#. Методы включают анализ связей компонентов, проверку переходов учебного сценария и сопоставление реализации с результатами изолированных тестов. Полный интерактивный прогон и

испытания самостоятельной сборки в этот аудит не входили. После технических проверок автор отдельно выполнил ручную проверку основных функций в редакторе Unity.

Функциональная архитектура

Приложение разделено на сцены Menu, Quiz и 01_Preparation. Последняя объединяет три функциональные зоны практики; их не следует отождествлять с отдельными сценами сборки. Главное меню открывает практический тренажёр, теоретический тест и историю результатов, а также завершает работу приложения.

Архитектура организована вокруг общего состояния практической попытки. PlayerInteractor определяет объект взаимодействия, SimpleInteractable передаёт идентификатор действия, а TrainingFlow принимает решение о допустимости операции. TrainingActionJournal регистрирует событие, TrainingAssessmentCalculator рассчитывает оценку по журналу, TrainingJournalStore сохраняет данные. Интерфейс результатов использует отдельное представление истории, не изменяющее исходные записи.

Функциональные связи показаны на рисунке 1. Схема отражает потоки управления и данных, а не наследование классов. Разделение теоретической и практической ветвей позволяет хранить разные виды результатов без сведения их к одному показателю.



Рисунок 1 — Функциональная архитектура MedicalTwin

В банке теоретических заданий используется ScriptableObject QuizData. Для пользовательских результатов применяются сериализуемые структуры и JSON. Таким образом, учебные материалы и история прохождения имеют разные жизненные циклы: банк задаётся разработчиком, записи попыток создаются во время работы приложения.

Управление учебным сценарием

Практика включает подготовку, выполнение внутримышечной инъекции и утилизацию. Подготовка представлена шестью действиями: мытьё рук, обработка антисептиком, надевание перчаток, получение спиртовых салфеток, ампулы и шприца. Далее выполняются DoInjection и DoDisposal. Это упрощённая учебная модель, а не полный клинический протокол; инъекция и утилизация реализованы как отдельные обобщённые действия.

TrainingFlow хранит индекс ожидаемого подготовительного шага и флаги завершения инъекции и утилизации. Корректное действие регистрируется и изменяет состояние. Преждевременное либо повторное действие фиксируется как ошибка и не продвигает сценарий. Инъекция разрешается после всей подготовки, утилизация — после инъекции. После завершения всех восьми действий попытка получает статус Completed.

Объект выбирается лучом из камеры на расстоянии до 3 м. Нажатие E обрабатывает учебное действие; Q предназначена для перехода через доступную дверь. Подсказка и переход используют одну цель наведения. При паузе и после завершения процедуры обработка практических взаимодействий блокируется. Такая централизация связывает одно принятое действие с одним решением контроллера и одной записью журнала.

Тестирование знаний и хранение результатов

Теоретический банк содержит 15 вопросов: по три в каждой из пяти категорий. На попытку выбирается один вопрос каждой категории, затем порядок пяти заданий перемешивается алгоритмом Фишера — Йетса. Повторы внутри попытки исключаются структурой выборки. При пороге 77% и пяти равнозначных вопросах проходной результат составляет не менее четырёх правильных ответов, то есть 80%.

Практические и теоретические попытки сохраняются раздельно в каталоге Application.persistentDataPath. Для преобразования структур в JSON используется JsonUtility [3]. Запись выполняется через временный файл с последующей заменой основного; предусмотрена резервная копия .bak. Режим просмотра читает историю без перезаписи файлов. Незавершённые попытки сохраняются, но не получают итогового балла и не включаются в средний результат.

Результаты функциональной проверки

Подтверждённые результаты внутреннего аудита сведены в таблицу 1. Статические проверки, изолированные тесты с подменой Unity API и проверки в реальном редакторе имеют различный охват; поэтому они представлены раздельно.

Таблица 1

Подтверждённые результаты аудита

Объект проверки	Метод и результат
Программный код	Компиляция 43 C#-файлов: 0 ошибок и предупреждений
Три рабочие сцены	Статическая проверка: нет оборванных локальных ссылок и повторяющихся постоянных событий
Логика и данные	94 изолированные проверки с подменой Unity API пройдены
Банк вопросов	10 000 выборок в Unity: пять категорий, без повторов внутри попытки

Изолированный рендер интерфейса проверен при 1280×720 и 1920×1200. Проверки банка включали 10 000 выборок: в каждой сохранялись пять категорий и отсутствие повторов. Это проверка алгоритма формирования теста, а не эксперимент с обучающимися. Успешная компиляция также не подтверждает прохождение всей трёхмерной сцены.

При последующей ручной проверке автор прошёл все этапы практического сценария, проверил главное меню, теоретическое тестирование, просмотр результатов и завершение работы. Это качественная проверка основных функций; количественные показатели и исчерпывающее покрытие сценариев по её результатам не заявляются.

Ограничения реализации связаны с упрощением медицинской процедуры и отсутствием физической обратной связи. Проверка самостоятельной сборки на целевом компьютере остаётся отдельной задачей. Педагогическое исследование с контрольной группой не проводилось; эффективность формирования клинических навыков не установлена.

Заключение

Разработана модульная архитектура MedicalTwin, объединяющая трёхмерную среду, централизованный контроль восьми действий, отдельное теоретическое тестирование и сохранение истории. Аудит подтвердил согласованность проверенных связей и корректность изолированных функций. Дополнительная ручная проверка охватила основные функции в Unity; испытания самостоятельной сборки не подтверждены.

Список использованной литературы:

1. Foronda C. L., Gonzalez L., Meese M. M. et al. A Comparison of Virtual Reality to Traditional Simulation in Health Professions Education: A Systematic Review // Simulation in Healthcare. 2024. Vol. 19, No. 1S. P. S90–S97. DOI: 10.1097/SIH.0000000000000745.

2. Kim H.-Y., Kim E.-Y. Effects of Medical Education Program Using Virtual Reality: A Systematic Review and Meta-Analysis // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2023. Vol. 20, No. 5. Article 3895. DOI: 10.3390/ijerph20053895.

3. Unity Technologies. JsonUtility [Электронный ресурс]. URL: https://docs.unity3d.com/6000.3/Documentation/ScriptReference/JsonUtility.html (дата обращения: 16.11.2026).

© Адзянов А.В., 2026

УДК 004.42

Адзянов А.В.,
магистрант ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»
Уфа, Российская Федерация
Научный руководитель: Попов Д.В.
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Заведующий кафедрой "Цифровые технологии и моделирование"
Уфа, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В ВИРТУАЛЬНОМ ТРЕНАЖЁРЕ МЕДИЦИНСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ

Аннотация

Рассмотрен алгоритм оценки действий в тренажёре MedicalTwin. По исходному коду описаны регистрация событий, классификация ошибок, штрафная модель и формирование рекомендаций. Приведены результаты изолированных проверок расчёта и обработки истории. Интеллектуальная оценка реализована детерминированными правилами; её педагогическая эффективность и клиническая валидность весов не установлены.

Ключевые слова:

оценка действий, анализ ошибок, программные правила, обратная связь, журнал событий, медицинский тренажёр.

Введение

Итоговый факт завершения виртуальной процедуры не описывает путь её выполнения: пользователь может исправить несколько ошибок и всё же пройти сценарий. Для объективизации программной оценки необходимы единые правила регистрации событий, явная классификация

нарушений и воспроизводимый расчёт результата. Одновременно обратная связь должна объяснять, какое действие следует скорректировать. Значение содержательной обратной связи рассматривается в работе J. Hattie и H. Timperley [1].

В обзоре S. B. Issenberg и соавторов обратная связь и повторная практика выделены как значимые особенности медицинской симуляции [2]. M. Levin и соавторы систематизируют автоматизированную оценку по данным движений и другим наблюдаемым показателям [3]. В MedicalTwin объект оценки уже: регистрируются дискретные учебные действия и нарушения их порядка.

Цель исследования — разработать и проверить алгоритм анализа действий в MedicalTwin, связывающий журнал прохождения, штрафную оценку и рекомендации. Под интеллектуальной оценкой здесь понимается применение заданных программных правил к зарегистрированным событиям. Нейронные сети, машинное обучение и обученная модель в рассматриваемом алгоритме не используются.

Материалы и методы

Исследована реализация на C# в Unity 6000.3.3f1: TrainingFlow, TrainingActionJournal, TrainingAssessmentCalculator, структуры журнала и представление истории. Материалами исследования также служат внутренний технический аудит от 16.11.2026 и исходный набор регрессионных проверок. Методы — анализ условий классификации, формализация вычислений и разбор изолированных регрессионных проверок. Приведённые ниже численные примеры относятся к тестовым данным, а не к результатам обучения участников.

Регистрация и классификация действий

Контроллер сценария проверяет действие относительно текущего состояния. В практической модели шесть подготовительных операций предшествуют инъекции и утилизации. Разрешённое действие изменяет состояние; ошибочное регистрируется без перехода к следующему шагу. На паузе и после завершения попытки действия не поступают в эту обработку.

Запись события включает идентификаторы события и действия, порядковый номер, название, этап, признак правильности, тип ошибки и время от начала попытки. Попытка имеет собственный идентификатор, даты, статус, причину завершения и список событий. Время события вычисляется через Time.timeAsDouble; при остановке игрового времени на паузе оно не отражает полную длительность по настенным часам.

Тип нарушения определяется до расчёта балла. Для инъекции проверяются предшествующая подготовка и факт её выполнения; для подготовки — позиция выбранного шага относительно ожидаемого. Уже пройденный шаг классифицируется как повтор, более поздний подготовительный шаг — как нарушение порядка. Утилизация до инъекции образует отдельную категорию. Непредусмотренное действие служит остаточной категорией.

Пять категорий и значения, непосредственно заданные в коде, приведены в таблице 1. Эти величины являются параметрами прототипа. Они не получены из клинического исследования и не характеризуют доказанную тяжесть последствий медицинской ошибки.

Таблица 1

Правила штрафования ошибок

Категория ошибки	Штраф p_i	Коэфф.
Инъекция до завершения подготовки	15	3
Утилизация до инъекции	10	2
Нарушение порядка подготовки	5	1
Непредусмотренное действие	5	1
Повтор выполненного действия	3	0,6

После завершения процедуры новые действия блокируются, поэтому алгоритм не регистрирует повторную утилизацию завершённой попытки. Категории описывают поведение программной модели; они не охватывают дозировку, глубину введения и другие параметры, которые тренажёр не измеряет.

Расчёт результата

TrainingAssessmentCalculator выполняет чистый расчёт: читает журнал и возвращает новую структуру результата. Правильные события не штрафуются. Для каждой категории подсчитывается число ошибочных событий, затем вычисляется суммарный штраф. Математическая запись реализованного вычисления имеет вид

$$P = \Sigma_{i=1}^{5} n_i p_i; \quad S = \max(0, 100 - P).$$

где n_i — число ошибок категории i, p_i — фиксированный штраф, P — суммарный штраф, S — итоговый балл. В коде сумма накапливается как целое число типа long, затем результат ограничивается снизу нулём. Поля coefficient хранят значения 3; 2; 1; 1; 0,6. Расчёт использует непосредственно штрафы p_i; дополнительное умножение на коэффициент не выполняется.

Баллу от 90 соответствует уровень «Отлично», от 75 до 89 — «Хорошо», от 60 до 74 — «Удовлетворительно», менее 60 — «Требуется повторное обучение». Продолжительность попытки не участвует в формуле. Поэтому две завершённые попытки с одинаковыми наборами ошибок имеют одинаковый балл независимо от скорости выполнения.

Итоговая оценка выставляется только при статусе Completed, наличии списка событий и отсутствии неизвестных типов ошибочных событий либо пустых записей. Для Incomplete и InProgress значение hasFinalScore остаётся ложным; отсутствие оценки не приравнивается к нулю. Проверка структуры журнала в хранилище и допуск к вычислению выполняют разные функции: сам калькулятор не проверяет заново всю медицинскую последовательность, а опирается на статус контроллера и зарегистрированные события.

Формирование рекомендаций и история

Для каждой обнаруженной категории алгоритм добавляет заранее заданную рекомендацию один раз. Повторение ошибки увеличивает штраф, но не дублирует текст совета. Порядок рекомендаций фиксирован по убыванию штрафа за одно событие; для двух категорий с пятью баллами используется заданный порядок. Рекомендации зависят от текущей попытки, а не от обученной модели или автоматического анализа динамики нескольких прохождений.

Ранняя инъекция вызывает совет завершить все шесть подготовительных действий, ранняя утилизация — выполнять её после инъекции. При нарушении подготовки выводится её последовательность, при повторе — совет отслеживать выполненные действия. Если штрафуемых ошибок нет, сообщение учитывает статус: успешное завершение отличается от отсутствия ошибок в незавершённой попытке.

Практическая история сохраняет события и результат в JSON. При просмотре оценка пересчитывается по событиям, что позволяет обрабатывать прежние записи без сохранённого поля assessment. История сортируется по дате; средний и лучший баллы рассчитываются только для записей с доступной итоговой оценкой. Просмотр не изменяет данные. Версия алгоритма сохраняется как assessmentVersion = 1; при изменении правил потребуется отдельно определить политику сопоставления прежних и новых оценок.

Результаты проверки и обсуждение

Во внутреннем техническом аудите зафиксировано прохождение 32 изолированных проверок оценки. Для этих проверок Unity API и сериализация заменялись тестовыми реализациями, поэтому их результаты относятся к логике расчёта и тестовому сохранению, а не к полному запуску приложения. Исходный набор проверок содержит граничные баллы, повторяемость расчёта, прежний формат записей, неизвестные ошибки и завершение попыток.

На тестовых данных отсутствие ошибок даёт 100 баллов, одно нарушение порядка подготовки — 95. Ранняя инъекция и ранняя утилизация дают 75 баллов; два нарушения подготовки и повтор — 87. В тесте с 1000 ранних инъекций результат ограничен нулём. Проверены границы 90/89, 75/74 и 60/59, отсутствие итоговой оценки для незавершённых попыток и запрет оценки при неизвестном типе ошибки.

Повторный расчёт возвращает одинаковые данные, не меняя журнал; повторное завершение не удваивает штрафы. Для двух нарушений подготовки и повтора формируются две рекомендации. Отдельно в настоящем редакторе Unity проверены штатная JSON-сериализация, чтение историй без изменения файлов и отображение результатов. Полный интерактивный прогон рабочей сцены в этот аудит не входил. Последующая ручная проверка автором основных функций в Unity не подменяет изолированные проверки расчётных случаев.

Алгоритм обеспечивает прозрачную связь между ошибками и результатом, но объективность здесь ограничена воспроизводимостью программных правил. Штрафы и пороги требуют экспертной валидации; рекомендации пока основаны только на категориях одной попытки. Успех функциональных тестов не доказывает улучшения клинических навыков. Для этого необходимо отдельное педагогическое исследование.

Заключение.

Реализован детерминированный алгоритм, объединяющий событийный журнал, пять категорий нарушений, штрафной расчёт и обратную связь без повторяющихся советов. Изолированные проверки подтверждают расчётные правила и обработку предусмотренных пограничных случаев. Дальнейшая работа связана с экспертной проверкой весов, анализом повторяющихся ошибок между попытками и оценкой полезности рекомендаций в исследовании с обучающимися.

Список использованной литературы:

1. Hattie J., Timperley H. The Power of Feedback // Review of Educational Research. 2007. Vol. 77, No. 1. P. 81–112. DOI: 10.3102/003465430298487.

2. Issenberg S. B., McGaghie W. C., Petrusa E. R., Gordon D. L., Scalese R. J. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review // Medical Teacher. 2005. Vol. 27, No. 1. P. 10–28. DOI: 10.1080/01421590500046924.

3. Levin M., McKechnie T., Khalid S., Grantcharov T. P., Goldenberg M. Automated Methods of Technical Skill Assessment in Surgery: A Systematic Review // Journal of Surgical Education. 2019. Vol. 76, No. 6. P. 1629–1639. DOI: 10.1016/j.jsurg.2019.06.011.

© Адзянов А.В., 2026

УДК 62

Атаев Ю., преподаватель,
Сапаргелдиева Г., студент,
Мухамметвелиев Ю., студент,
Хайдаров Ы., студент,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

РАЗРАБОТКА НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ И ГЛИНИСТО-КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Аннотация

Рассмотрены особенности разработки трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ), приуроченных к

низкопроницаемым терригенным и глинисто-карбонатным коллекторам.

Ключевые слова:

трудноизвлекаемые запасы, низкопроницаемый коллектор, глинисто-карбонатные коллекторы, многостадийный гидроразрыв пласта, горизонтальная скважина, нефтеотдача, трещиноватость, CO_2.

К трудноизвлекаемым запасам относят нефть высоковязкую и с аномальными свойствами, запасы низкопроницаемых коллекторов, подгазовые зоны и тонкие оторочки, истощённые залежи и нетрадиционное сырьё; впервые их классификация была предложена в 1994 году Н. Н. Лисовским и Э. М. Халимовым, позднее закреплена временными критериями МПР РФ. С истощением традиционных запасов доля ТРИЗ в структуре добычи неуклонно растёт.

Главное свойство низкопроницаемых коллекторов — экстремально малый размер поровых каналов: гидро¬разрыв пласта остаётся фактически единственным способом создания путей фильтрации при проницаемости долей миллидарси. Для газа характерны проявление начального градиента давления и «внутреннее обводнение» — отжатие пластовых вод из глинистых пропластков при высоких депрессиях, снижающее фазовую проницаемость. Карбонатные коллекторы принципиально отличаются от терригенных: ёмкость связана с порами матрицы, а фильтрация — преимущественно с трещинами и кавернами выщелачивания; глинистые минералы повышают пластичность пород и подавляют развитие трещин. В глинисто-карбонатных отложениях (доманик Татарстана, глинистые карбонаты США) проницаемость матрицы составляет 0,001–1 мД, а вязкость нефти заметно выше, чем в аналогичных зарубежных объектах, что осложняет прямое копирование зарубежного опыта. Трещиноватость при этом несёт двойную роль: она повышает продуктивность, но приводит к опережающему обводнению скважин при заводнении — подчёркнуто для залежей Ромашкинского месторождения, где прорывы воды контролируются зонами тектонической трещиноватости и положением глинистого пропластка у водонефтяного контакта.

Базовая модель разработки низкопроницаемых объектов — горизонтальные скважины с многостадийным ГРП, вытеснившие обращённые девятиточечные системы с наклонно-направленными скважинами; дебит ГС с МГРП в среднем вчетверо выше вертикальных без стимуляции. Современный ГРП — индивидуально проектируемая технология: от выбора точек инициации трещины и жидкостей разрыва до подбора проппанта по геомеханическим моделям. Для карбонатных и глинистых коллекторов эффективны кислотные и комбинированные обработки: кислотный комплексообразующий реагент АФК, в отличие от соляной кислоты, равномерно проникает в высоко- и низкопроницаемые зоны, разрушает структуру глин и повышает проницаемость керна на 2–3 порядка. Опыт моделирования МГРП на доманиковых отложениях Татарстана показывает, что при 5 стадиях варианты убыточны, при 10 стадиях прибыльны кислотный и комбинированный ГРП, а при 20 стадиях эффективны все три типа с ЧДД. Перспективны закачка CO_2 (совмещённая с ГРП и нацеленная на вытеснение метана в газовых коллекторах), нестационарное заводнение и применение горячих рабочих жидкостей при высокой вязкости нефти. Вовлечение ТРИЗ требует нового технологического уровня: плотной сейсморазведки, «цифрового керна» для виртуальных экспериментов, автоматизированного бурения по геолого-гидродинамической модели и высокотехнологичных отечественных флотов ГРП, работающих при давлениях свыше 1000 атм. Существенную роль играет государственная поддержка: доманиковые, баженовская, абалакская и хадумская свиты освобождены от НДПИ на 15 лет, что делает пилотную разработку ГС+МГРП экономически целесообразной. Оценка эффективности внедрения инновационных технологий при этом требует комплексного инвестиционного анализа (NPV, IRR, срок окупаемости).

Разработка низкопроницаемых и глинисто-карбонатных коллекторов — главный резерв прироста добычи на зрелых месторождениях. Ключевые условия успеха: детальное изучение трещиноватости и глинистости разреза, адаптация МГРП к конкретным геологическим условиям (а не механический перенос

зарубежного опыта), контроль обводнения по трещинам и переход к цифровым моделям на всех стадиях проектирования.

Список использованной литературы:

1. Лисовский Н.Н., Халимов Э.М. О классификации трудноизвлекаемых запасов // Вестник ЦКР Роснедра. 2009. № 6. С. 33–35..

2. Багринцева К. И. Карбонатные породы-коллекторы нефти и газа. М.: ГЕОС, 2012. 296 с.

© Атаев Ю., Сапаргелдиева Г., Мухамметвелиев Ю., Хайдаров Ы., 2026

УДК 62

Бабаева Э., преподаватель,
Керимов Ы., студент,
Мерданов Н., студент,
Мергенов Р., студент,
Научный руководитель: Гулмаммедов Р., старший преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

БИОМАРКЕРНЫЕ И ИЗОТОПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛЮИДОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРИТОКОВ В МНОГОПЛАСТОВЫХ СКВАЖИНАХ

Аннотация

Рассмотрен геохимический метод разделения продукции многопластовых скважин, основанный на естественных различиях состава флюидов отдельных пластов.

Ключевые слова:

геохимический анализ нефти, фингерпринтинг, биомаркеры,
гопаны, стераны, изотопный состав углерода.

При совместной эксплуатации нескольких пластов единой сеткой скважин продукция смешивается в стволе, и получаемая нефть приобретает геохимические свойства, пропорциональные вкладу каждого пласта в добычу. Традиционные методы контроля — промыслово-геофизические исследования (ПГИ) и многофазные расходомеры — требуют остановки или вмешательства в работу скважины и дают значительную неопределённость при малых долях вклада. Альтернативой служит геохимический анализ флюидов: начиная с работ Кауфмана и соавторов показано, что тонкие различия состава нефтей соседних пластов устойчиво регистрируются газовой хроматографией и служат основой количественного разделения добычи. Преимущества подхода — отсутствие вмешательства в добычу, низкая стоимость, возможность частого мониторинга и применимость к горизонтальным скважинам, где механические профилемеры малоинформативны. «Фингерпринт» нефти формируется унаследованными от материнской породы и условий генерации характеристиками. Биомаркеры — стераны, гопаны, терпаны — отражают тип исходного органического вещества, обстановку осадконакопления и термическую зрелость, а их соотношения (Pr/Ph, Pr/н-C_{17}, гаммацерановый индекс, распределение C_{27}–C_{29} стеранов) существенно различаются для нефтей разных пластов одного месторождения [5]. На практике для разделения добычи чаще используются целые молекулы: нормальные алканы (например, nC_{19}–nC_{22}), ароматические соединения C_8–C_{10}, изопреноиды. В методике Shell (MDGC) количественно измеряются одиннадцать ароматических соединений в диапазоне C_8–C_{10}, а различия нефтей отображаются в виде звёздчатых диаграмм по 12 отношениям пиков. Устойчивость маркеров — ключевой фактор

применимости: на Пильтун-Астохском месторождении выбранные геохимические маркеры не менялись со временем и не реагировали на изменение пластового давления и закачку газа и воды. В биодеградированных залежах разделение опирается на различия степени деградации: в расчленённых резервуарах нефть нижних зон, контактирующих с водонефтяным контактом, более биодеградирована, что создаёт естественный контраст составов. Изотопные методы дополняют молекулярные при близком составе нефтей. Отношения $\delta^{13}C$ целых нефтей, изо- и н-алканов разделяют нефти из разных материнских толщ; для газа — изотопный состав углерода и водорода метана, меняющийся от -70‰ (бактериальный) до -30‰ (термогенный) и имеющий характерный тренд с глубиной. Для разделения притоков пластовых вод и выявления обводнения используются изотопы кислорода и водорода воды, а также стронция: изотопные составы $^{87}Sr/^{86}Sr$, микроэлементный состав попутных вод являются консервативными маркерами пути закачиваемой воды в пласте. Комбинирование изотопных и молекулярных данных повышает разрешающую способность разделения, особенно в многопластовых системах с близкими по генезису нефтями. Расчёт вкладов основан на уравнении смешения: компонентный вектор добытой нефти Xmix представляется как линейная комбинация векторов эталонных проб (end members) Xi с долями ai:

$$X_{mix} = \sum_i a_i X_i, \sum_i a_i = 1$$

При двух пластах задача сводится к решению системы линейных уравнений по отношениям пиков; при трёх и более — к оптимизационной регрессии с оценкой неопределённостей. Современные подходы оперируют не абсолютными высотами пиков, а отношениями соседних пиков, что снижает ошибки воспроизводимости отбора и анализа.

Геохимическое разделение притоков превратилось из исследовательской процедуры в штатный инструмент контроля разработки многопластовых месторождений. Его задачи шире простого разделения добычи: контроль выработки запасов и локализация остаточных запасов, выявление межпластовых перетоков через геологические «окна», оценка эффективности геолого-технических мероприятий, уточнение геологических и гидродинамических моделей. Дальнейшее развитие связано с экспресс-анализом в полевых условиях (портативная ИК-спектроскопия с регрессионной моделью даёт ошибку менее 2% для бинарных смесей), интеграцией геохимического мониторинга с ПГИ и 4D-сейсмикой, а также со стандартизацией методик отбора проб и оценки неопределённостей вкладов.

Список использованной литературы:

1. Cubitt J. M., England W. A. (eds.). The Geochemistry of Reservoirs. — London: Geological Society, 1995. — (Special Publication No. 86). — 321 p.

2. Novel Method of Production Back-Allocation Using Geochemical Fingerprinting // SPE-160812. — Society of Petroleum Engineers, 2012.

© Бабаева Э., Керимов Ы., Мерданов Н., Мергенов Р., 2026

УДК 37.022

Байлиев Б.Н., преподаватель,
институт Телекоммуникаций и информатики Туркменистана,
г. Ашхабад, Туркменистан

ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ В STEM-ОБУЧЕНИИ

Аннотация

Рассмотрены исследовательский метод и метод инженерного проектирования как основные формы организации самостоятельной деятельности студентов в STEM-обучении.

Ключевые слова:
инженерное проектирование, исследовательский метод, эксперимент, итерация, рефлексия.

Bailiev B.N.
Lecturer, Institute of Telecommunications and Informatics of Turkmenistan,
Ashgabat, Turkmenistan

ENGINEERING DESIGN AND STUDENT RESEARCH ACTIVITIES IN STEM EDUCATION

Abstract

The research method and the engineering design method are examined as primary forms of organizing students' independent activity in STEM education.

Keywords:
engineering design, research method, experiment, iteration, reflection.

Одной из целей STEM-обучения является формирование инженерного мышления — способности анализировать проблему, выдвигать и проверять варианты решения, оценивать компромиссы между требованиями. В традиционных лабораторных работах студенты нередко следуют готовой инструкции и получают заранее известный результат, что не развивает самостоятельности. Исследовательский метод и инженерное проектирование предлагают другую логику: результат заранее неизвестен, а путь к нему определяется самими обучающимися.

Инженерный цикл включает определение проблемы и критериев успеха; изучение существующих решений; генерацию нескольких вариантов; выбор варианта с обоснованием; построение прототипа; тестирование; анализ результатов и доработку. Принципиально важно, что этапы повторяются: первый прототип, как правило, не удовлетворяет всем требованиям, и именно анализ неудач даёт наибольший образовательный эффект. Преподавателю следует поощрять документирование решений, фиксацию принятых допущений и причин отказа от альтернатив.

Исследовательский метод строится на формулировании гипотезы, планировании эксперимента, сборе и обработке данных, интерпретации результатов и оформлении выводов. На младших курсах целесообразны небольшие задания с готовой постановкой, на старших — самостоятельный выбор темы и методов. Элементы исследования могут быть включены в лабораторные практикумы: например, студентам предлагается экспериментально сравнить два варианта настройки регулятора и обосновать выбор по заданным показателям качества (время переходного процесса, перерегулирование, точность).

Для реализации метода необходимы доступ к лабораторному оборудованию или симуляторам, чётко сформулированные критерии оценки и возможность консультаций. Оценивается не только конечный результат, но и качество процесса: обоснованность решений, корректность эксперимента, полнота документации. Завершающим этапом служит рефлексия — письменный или устный разбор того, что получилось, какие ошибки были допущены и как их можно устранить. Публичная защита результатов перед преподавателями и сокурсниками развивает навыки коммуникации и аргументации.

Инженерное проектирование и исследовательская деятельность превращают студента из исполнителя в активного участника познания. Они требуют от преподавателя изменения роли и внимательной организации процесса, но обеспечивают устойчивое усвоение знаний и развитие универсальных навыков.

Список использованной литературы:

1. Dym C.L., Agogino A.M., Eris O., Frey D.D., Leifer L.J. Engineering design thinking, teaching, and learning // Journal of Engineering Education, 2005, vol. 94, no. 1.

2. Чарыев А.Б., Атанепесов Б.Н. Характеристики современной методики преподавания «STEM» // Научный журнал «A Posteriori». — 2023. — С. 175.
3. Чарыев А.Б., Шайымов С.С., Атанепесов Б.Н. Методы современной методики преподавания «STEM» // Лучшая исследовательская работа 2023: сборник статей. — 2023. — С. 45.

© Байлиев Б.Н., 2026

УДК 62

Бакаев Н., студент,
Бердиев Б., студент,
Гурбанмырадова Б., студент,
Гурбанназаров О., студент,
Научный руководитель: Сейидова А., преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

ГЕОХИМИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛИТИЯ, НИОБИЯ, ТАНТАЛА, КОБАЛЬТА

Аннотация

Рассмотрены геохимические особенности лития, ниобия, тантала и кобальта и главные генетические типы их месторождений.

Ключевые слова:

литий; ниобий; тантал; кобальт; пегматиты LCT-типа; магматическая дифференциация; карбонатиты; пирохлор.

Li, Nb, Ta и Co входят в число критических минералов из-за растущего спроса со стороны аккумуляторной и аэрокосмической отраслей. Геохимически эти элементы ведут себя по-разному: литий — литофильный рассеянный щелочной элемент, концентрирующийся в поздних дифференциатах кислых магм; Nb и Ta — типичные высокозарядные элементы (HFSE), накапливающиеся в остаточных расплавах и щелочных сериях; кобальт — сидерохильный элемент, предпочитающий сульфидную фазу и поэтому следующий за Ni и Cu. Именно эта разница геохимического поведения предопределяет, какие геологические обстановки «работают» для каждого из металлов. Главные источники Li и Ta — пегматиты LCT-класса (литий-цезий-танталовый тип по классификации Чёрного и Эрита), генетически связанные с сильноколичественно дифференцированными пералюминиевыми гранитами. Фракционная кристаллизация, низкая вязкость расплава и накопление флюсов (Li, F, B, P) в остаточных порциях магмы создают условия, при которых растворимость манганотанталита превышает растворимость манганоколумбита: тантал вслед за Nb разделяется в остаточном расплаве независимо от их близкого несовместимого поведения. Эксперименты показали, что Li и F повышают растворимость оксидов Nb–Ta в гранитном расплаве, отодвигая их кристаллизацию к поздним стадиям и способствуя образованию Ta-минерализации именно в самых дифференцированных блоках.

Формирование крупных пегматитовых полей определяется глубиной и тектонической позицией очагов: по А.И. Гинзбургу, глубины образования гранитных пегматитов закономерно меняются от силиматических зон в приподнятых блоках к полнодифференцированным полосам — на больших глубинах.

Механизм роста кристаллов в пегматитах реализуется в условиях запрета на массовую кристаллизацию в объёме при наличии «пограничного слоя» у стенок камеры, что обеспечивает аномальную крупность и зональность минералов. Наибольшая рудоносность приурочена к альбит-сподуменовым и лепидолитовым зонам, где Nb-Ta сосредоточены в колумбите-танталите, а литий — в сподумене и лепидолите. В отличие от Ta, глобальная добыча ниобия практически полностью связана с карбонатитами и щелочными комплексами, где Nb концентрируется в пирохлоре. Карбонатиты определяются как магматические породы с более 50 % первичных карбонатных минералов и менее 20 % SiO_2; они формируются при малых степенях частичного плавления мантийного вещества и приурочены к внутриконтинентальным рифтогенным структурам. С карбонатитами связаны и значимые концентрации Ta (таналит), а также редких земель, апатита, флюорита и барита. В сопряжённых нефелиновых сиенитовых массивах общая геохимическая специализация на несовместимые элементы, включая Li, подтверждает единую мантийно-коровую эволюцию щелочных серий. Кобальт почти полностью извлекается из трёх типов месторождений: магматических Ni-Cu (Co)-сульфидных, стратиформных Cu-Co в осадочных породах и никель-кобальтовых латеритов.

Геохимия Li, Nb, Ta и Co диктует различие их генетических типов: Li и Ta концентрируются в LCT-пегматитах - предельных продуктах дифференциации пералюминиевых гранитов, обогащённых Li и F; Nb - в пирохлоре карбонатитов и щелочных комплексов мантийного происхождения; Co - в сульфидных и осадочно-стратиформных рудах. Перспективы расширения ресурсной базы связаны с совершенствованием геохимических моделей фракционирования HFSE в Li-F-богатых расплавах, количественной оценкой карбонатитовых провинций и повышением извлечения кобальта из руд полиметаллических типов.

Список использованной литературы:

1. Гинзбург А.И. О глубинах образования гранитных пегматитов // Известия АН СССР. Серия геологическая. — 1960. — № 6.

2. London D. Pegmatites // The Canadian Mineralogist, Special Publication 10. — Ottawa: Mineralogical Association of Canada, 2008. — 347 p.

© Бакаев Н., Бердиев Б., Гурбанмырадова Б., Гурбанназаров О., 2026

УДК 62

Батуева С.Г., преподаватель,
ГАПОУ «Зеленодольский судостроительный колледж»
Г. Зеленодольск Республика Татарстан

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИЗОБРЕТЕНИЙ И РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ СУДОСТРОЕНИЯ

Аннотация

В статье рассматриваются современные тенденции совершенствования судостроительной отрасли в контексте исследования и инновационных технологий при постройке судов, что является важным этапом технического прогресса, что обеспечивает повышение эффективности судостроительного производства и ускорения темпов роста производительности труда.

Ключевые слова:

судостроительная отрасль, инновационные технологии, практическая реализация, экономический эффект, технико-экономическое обоснование.

Batueva S.G., teacher
GAPOU «Zelenodolsk shipbuilding college»,
Zelenodolsk, Russia

SHIPBUILDING INDUSTRY, INNOVATIVE TECHNOLOGIES, PRACTICAL IMPLEMENTATION, ECONOMIC IMPACT, FEASIBILITY STUDY

Abstract

This article examines contemporary trends in the advancement of the shipbuilding industry, focusing on research and innovative technologies in vessel construction. This process represents a significant stage in technical progress, contributing to enhanced efficiency in shipbuilding production and an acceleration in the growth of labor productivity.

В морской судостроительной отрасли совершается интенсивное введение новых технологий, затрагивающих производство не только судового оборудования, но и процессы его изготовления. Значимой направленностью считается трансформация лидерства в инновациях от военного к гражданскому флоту, что разъясняется рядом условий [1].

Применение инноваторских технологий при постройке судов становится важным этапом в нынешней судостроительной сфере. Современные способы, а это автоматизированные действия и использование композитных материалов существенно повышают результативность и уменьшают период постройки, и к тому же дают возможность формировать сложные составляющие со значительной точностью, что уменьшает расходы на использованные материалы и упрощает их производство.

Технический прогресс неразрывно связан с развитием науки и эффективным использованием созданных на основе ее достижений технических средств производства и процессов создания плавучих сооружений, таких как суда и корабли.

Сегодня особое значение приобретают вопросы практической реализации научных разработок, масштабы и темпы внедрения современных технических средств, технологии производственных процессов и других достижений науки и техники, которые обеспечивают повышение эффективности судостроительного производства и ускорения темпов роста производительности труда.

Основные положения методики устанавливают единые методические принципы определения экономической эффективности и предназначены для технико-экономического обоснования выбора наилучших вариантов создания и внедрения новейшей техники, отражения показателей экономической эффективности в нормах, нормативных актах и планов предприятий, объединений, министерств, ведомств, расчета фактической эффективности новейшей техники, изобретений и рационализаторских предложений;

Методика является обязательной не только для судостроительной промышленности, но и для ряда других отраслей и служит основанием для разработки утверждения министерствами и ведомствами отраслевых методических указаний, учитывающих особенности расчетов экономической эффективности, изобретений и рационализаторских предложений в области судостроения, а также инструкций по оценке экономической эффективности создания и использования конкретных видов техники.

Потому как судостроение является одной из ведущих отраслей промышленности России, выполняющей стратегическую функцию по обеспечению национальной безопасности, развитию транспортной инфраструктуры и судоходства.

Именно судостроение стимулирует развитие металлургической, электротехнической, приборостроительной и смежных отраслей промышленности.

Экономический эффект новейшей техники представляет собой суммарную экономию всех производственных ресурсов, которую получает отрасль в результате производства в использовании этой

техники и которая в конечном счете выражается в увеличении национального дохода.

Разработанная методика устанавливает на морском транспорте единые методические принципы определения экономической эффективности и является обязательной для всех организаций и предприятий ММФ на всех стадиях создания и внедрения техники.

Под новейшей технологией понимаются впервые реализуемые на морском транспорте результаты научных исследований и проектно-конструкторских разработок, содержащие изобретения и другие научно-технические достижения, и направленные на создание и внедрение новых и усовершенствованных технических средств, систем и комплексов морского транспорта (судов морского флота и судового оборудования, средств механизации и автоматизации перегрузочных работ, судоремонта и др.), отличающихся более высокими техническими параметрами и экономическими показателями; технологических процессов перевозок, перегрузочных и других работ, методов производства, отличающихся более рациональным использованием техники, материальных ресурсов; методов и форм организации труда и управления производственными процессами, обеспечивающих экономию трудовых и материальных ресурсов; конструкций и материалов (лакокрасочных, энергетических, металлических, синтетических и др.), использование которых приводит к экономии материальных ресурсов, повышению эффективности и качества производства. Важное значение при определении экономического эффекта от внедрения новейших технологий и изобретений придается вопросам сопоставимости вариантов новой и базовой техники. Расчеты экономического эффекта должны быть основаны на сопоставлении: объема, качества и состава производимой продукции или работы; нормативов расчета технико-экономических показателей, принятых для выражения затрат и эффекта; социальных и экономических условий; времени затрат и получения эффекта. При этом разновременные и текущие затраты приводятся к одному и тому же времени для всех сравниваемых вариантов.

Измерители и показатели продукции (работы) технических средств морского транспорта, используемые в расчетах эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений, выбираются в зависимости от наличия исходной информации и этапа проведения расчетов. В зависимости от вида технических средств морского транспорта в расчетах принимаются соответствующие показатели его продукции (работы): по транспортному флоту в заграничном плавании — чистая валютная выручка и количество перевозимого груза (т); по грузовому транспортному флоту в каботаже — грузооборот (т-мили), количество перевозимого груза (т) и доходы от перевозки груза (руб.); по пассажирскому и грузопассажирскому флоту в заграничном плавании — чистая валютная выручка и число перевезенных пассажиров; по ледокольному флоту — доходы от перевозимых грузов и проводки транспортных судов; по техническому флоту — объем извлеченного и удаленного грунта и доходы от дноуглубительных работ; по служебно-вспомогательному флоту — доходы от операций с транспортным флотом; по местному транспортному флоту — доходы от перевозок грузов и пассажиров; по причалам и перегрузочному оборудованию морских портов — грузооборот порта (т); по крытым складам — грузооборот склада (т); по технологическому оборудованию СРЗ — объем валовой продукции (руб.), объем продукции в нормативной стоимости обработки (НСО); по судоподъемным сооружениям — суммарное приведенное массовое водоизмещение в грузу ремонтирующихся судов и объем доковых работ (руб. НСО). Согласно действующему положению, экономическая эффективность от применения новой техники должна отражаться в нормах, нормативах, плановых и отчетных показателях предприятий морского транспорта. Расчет экономического эффекта ведется на плановые объемы продукции, выполняемой с помощью новейшей техники каждого последующего года. Результаты расчетов учитываются в планах: объемов продукции или работы в натуральном и стоимостном измерениях; технико-эксплуатационных показателей работы технических средств морского транспорта; развития пропускной и провозной способности и производственных мощностей морского транспорта; обеспечения предприятий морского транспорта материальными и трудовыми ресурсами; финансовых показателей и эффективности работы и развития морского транспорта.

Основными показателями при сравнении вариантов являются: количество производимой продукции (работы) Q; доходная ставка на единицу продукции (работы) d; себестоимость продукции (работы) s; прибыль P; капиталовложения, необходимые для реализации мероприятий K; условное высвобождение работников ΔЧ; удельные затраты материалов, топлива и энергии на единицу продукции (работы) M; производительность технических средств (в соответствующих единицах) W; срок службы технических средств tсл; рентабельность γ.

В заключении необходимо заметить, что влияние новых технологий на планирование, построение и обслуживание судов представляется многофункциональным процессом. Такие новинки, как автоматизация и аддитивные технологические процессы значительно стимулируют проектные циклы, а также улучшают достоверность конструктивных решений. [2]

Тем не менее, вместе они порождают новые вызовы для судовых инженеров, сопряженные с потребностью непрерывного обучения и приспособления к меняющимся обстоятельствам.

От экспертов сегодня требуют не только технические знания, но и мастерство действовать в междисциплинарных командах, что тоже содействует инновациям.[3]

В окончательном результате, трансформация к новым технологиям в судостроении тянет за собою равно как существенные превосходства, так и значительные проблемы, что создает в данной сфере особенную активность и важность для последующих изучений и исследований.

Список использованной литературы:

1.Мясников Ю.Н. Методы прогнозирования технического состояния судового оборудования / В.С. Никитин, А.А. Равин, О.В. Хруцкий. Труды Крыловского государственного научного центра.-2018.№4 (386).-С.117.- 132

2.Дегтярев А.В. Аддитивные технологии в судостроении и перспективы их развития.-BeauBfssin (Mauritius): Lamp Academic Publishing? -2018.-177с.

3.Патров Ф.В. Использование инновационных технологий в судостроении, Yessenov University г. Актау, Казахстан. E-mail: fedor.patrov@yu.edu.kz.

4.Гнатков М.А., В.Х. Дубчак Научно- технический прогресс на морском транспорте –М:Транспорт, 1980-160с.

5.Гнатков М. А. Комплексное развитие морского флота и портов. М.,
В«Транспорт», 1965. 65 с.

6.Регулярный военно-Морской флот России. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://flot.com/

© Батуева С.Г., 2026

УДК 62

Гадиев Ф.Х.
студент второго курса магистратуры
Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация
Хасанов Р.А.
к.т.н., доцент кафедры БНГС
Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация

ВЫБОР ИНТЕРВАЛА ПОВТОРНОЙ ТОЛЩИНОМЕТРИИ НАПОРНЫХ ЛИНИЙ МОРСКИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Аннотация

Рассмотрено назначение повторного ультразвукового обследования коррозионно-опасных

участков напорных линий морской буровой установки. Предложен расчет по консервативному запасу толщины, заданному темпу утонения и доле времени до достижения допустимого предела. Для условного участка с измеренной толщиной 10,20 мм и пределом 8,40 мм введение запаса 0,20 мм сокращает расчетный интервал на 11,1 %. Проанализированы требования к повторяемости координат и выбору локального минимума. Дополнительно рассмотрены импульсные вихретоковые преобразователи и непрерывное ультразвуковое наблюдение. Определен состав карты назначения повторного контроля.

Ключевые слова:
морская буровая установка, напорная линия, коррозия, ультразвуковая толщинометрия, погрешность, интервал контроля.

Локальная коррозия и выбор зоны измерений

Наиболее поврежденная зона напорной линии может занимать небольшую часть ее длины. Участки под вводом реагента, отводы и застойные области требуют собственного маршрута измерений. В сообщении BSEE № 319 описан разрыв коллектора под точкой ввода химического реагента при потере около половины толщины стенки [1]. Этот случай относится к морскому добычному оборудованию; для буровой линии он показывает значение локализации обследуемой зоны по механизму повреждения.



Рисунок 1 – Поврежденный коллектор под точкой ввода реагента в материалах BSEE [1]

ГОСТ ISO 16809-2022 определяет общие положения ультразвукового контроля толщины [2]. Для повторных измерений фиксируют преобразователь, режим, скорость звука, температуру и состояние поверхности. Применительно к шельфу порядок обследования увязывают с программой управления целостностью [3]. Результат оформляют в координатной карте с сохранением исходных сигналов на участках неоднозначного отражения.

Расчетный порядок назначения срока

Приняты исходные условия демонстрационного примера: измеренный минимум h = 10,20 мм, заданная допустимая толщина hд = 8,40 мм, запас на погрешность u от 0 до 0,30 мм. Величина u задается как консервативная поправка к текущему результату. Для темпа утонения v рассмотрены 0,30 и 0,50 мм/год. Эти значения служат анализу чувствительности.

$$T = (h - u - h_д) / v; \quad I = k \times T.$$

Здесь T - расчетное время до предела, I - интервал повторного обследования. В примере принят k = 0,25 как инженерный запас времени. Для объекта коэффициент и срок согласуют с обязательной периодичностью, критичностью линии, доступом и документацией изготовителя. При $h - u \le h_д$ требуется непосредственная оценка пригодности участка.

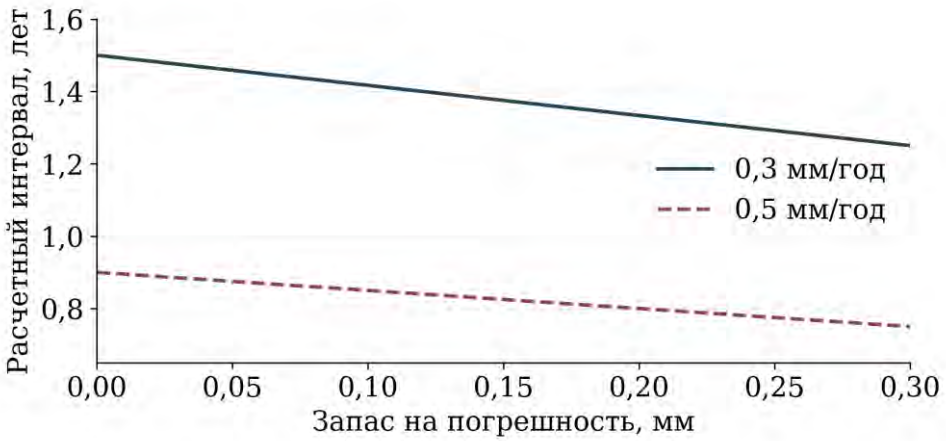


Рисунок 2 – Чувствительность интервала к запасу на погрешность при k = 0,25

Таблица 1

Расчет при запасе на погрешность 0,20 мм

Темп, мм/год	Время до предела, лет	Интервал, месяцев
0,30	5,33	16,0
0,50	3,20	9,6

При v = 0,50 мм/год интервал без поправки равен 10,8 месяца, с поправкой 0,20 мм - 9,6 месяца. Сокращение составляет 11,1 %. Если планирование ведется по целым месяцам, для данного сценария выбирают срок до девяти месяцев с учетом более жестких требований программы.

Повторяемость измерений и развитие средств контроля

Опорой для прогноза служит повторно найденный минимум толщины. При локальной коррозии замер в соседней неповрежденной точке способен скрыть развитие углубления. В карте указывают привязку к отводу, сварному шву или штуцеру, шаг сканирования, состояние покрытия и фактическую обследованную область. Переносной прибор показан на рисунке 3 [4].



Рисунок 3 – Переносной ультразвуковой дефектоскоп A1214 EXPERT [4]

В работе Е.А. Славинской, В.П. Лунина и М.А. Комягина 2025 г. сопоставлены три конфигурации импульсного вихретокового преобразователя [5]. Конечно-элементное моделирование выделило полутороидальный магнитопровод как перспективный для локальной внутренней коррозии. Результат относится к расчетной стадии разработки. Для напорной линии такой подход можно рассматривать как предварительный поиск областей утонения с последующим уточнением минимума доступным контактным методом.

F. Salgueiro и соавторы испытали систему ультразвукового наблюдения за потерей толщины в морской среде [6]. Работа ориентирована на морские ветроэнергетические сооружения. Для буровой линии полезен принцип сохранения длительного ряда измерений в фиксированных точках; состав датчиков и стойкость крепления требуют проверки для конкретного объекта.

В патенте RU2848988C1 предложен контроль толщины по многократным отражениям [7].

Применимость алгоритма оценивают по качеству донных сигналов и состоянию поверхности. При изменении реагента, расхода или температуры темп утонения пересматривают по новой серии наблюдений в рамках управления риском [8].

Практические рекомендации и выводы

Карта повторной толщинометрии должна содержать координату подтвержденного минимума, текущую толщину, поправку, основание допустимого предела, темп утонения, назначенный срок и условия внеочередного обследования. В рассмотренном сценарии рост темпа с 0,30 до 0,50 мм/год уменьшает интервал с 16,0 до 9,6 месяца. Поправка 0,20 мм сокращает интервал на 11,1 % относительно расчета по показанию прибора. Для локальной коррозии первоочередными действиями являются поиск минимума и обеспечение повторяемости его измерений.

Список использованной литературы:

1. BSEE. Safety Alert No. 319. Chemical Injection Point Corrosion Causes Production Header Failure. 29.02.2016. URL: https://bsee.gov/sites/bsee.gov/files/safety-alerts/safety/sa-319.pdf (дата обращения: 09.11.2026).

2. ГОСТ ISO 16809-2022. Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль толщины. Введен в РФ 11.03.2026.

3. ГОСТ Р 70791-2023. Специальные требования для сооружений континентального шельфа. Методы контроля и инспекции при управлении конструктивной целостностью.

4. Акустические Контрольные Системы. Ультразвуковой дефектоскоп A1214 EXPERT. URL: https://acs-international.com/product/a1214-expert/ (дата обращения: 09.11.2026).

5. Славинская Е.А., Лунин В.П., Комягин М.А. Сравнение конструкций импульсных вихретоковых преобразователей для контроля локальной коррозии промысловых трубопроводов // Вестник МЭИ. 2025. № 3. С. 49-55. DOI: 10.24160/1993-6982-2025-3-49-55.

6. Salgueiro F., Ribeiro M., Carvalho A. et al. Monitoring of Wall Thickness to Predict Corrosion in Marine Environments Using Ultrasonic Transducers // NDT. 2024. Vol. 2, No. 3. P. 255-269. DOI: 10.3390/ndt2030016.

7. RU2848988C1. Способ ультразвукового контроля толщины стенки трубы. Опубл. 22.10.2025.

8. API RP 580. Elements of a Risk-Based Inspection Program. 4th ed. American Petroleum Institute, 2023.

© Гадиев Ф.Х., Хасанов Р.А., 2026

УДК 62

Гадиев Ф.Х.
студент второго курса магистратуры
Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация
Хасанов Р.А.
к.т.н., доцент кафедры БНГС
Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация

КОНТРОЛЬ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ПЕРЕД МОРСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ С УЧЕТОМ ОХВАТА КРИТИЧЕСКИХ ЗОН

Аннотация

Рассмотрен выбор методов обследования резьбы бурильных труб при подготовке к морскому

бурению. Сопоставлены российские экспериментальные исследования, требования к использованным элементам бурильной колонны и современные вихретоковые датчики. Предложено оценивать программу через охват критических зон, выявляемость целевого дефекта и исполнение технического решения. В расчетном примере расширение охвата с 60 до 90 % повышает долю устраненных дефектов с 51,30 до 76,95 %. Рассмотрена проверка процедуры на представительном образце. Результат исследования - состав карты контроля резьбового соединения.

Ключевые слова:
морское бурение, бурильная труба, резьба, усталостная трещина,
вихретоковый контроль, охват.

Повреждение резьбы и условия обследования

Переменный изгиб и крутящий момент создают условия для усталостного разрушения замкового соединения. Обследование перед отправкой труб на морскую установку должно охватывать впадины резьбы, упорные поверхности и переходы сечения. Нормативные требования к морскому оборудованию [1] дополняют процедурой классификации использованных элементов колонны [2]. Критерии приемки выбирают по типу соединения и документации изготовителя.

А.Л. Бобров, С.А. Бехер и С.П. Шляхтенков сопоставили методы контроля на 25 строительных бурильных трубах диаметром 85 мм из стали 36Г2С [3]. Фотографии индикаций показывают расположение трещин во впадинах резьбы (рисунок 1). Для нефтяных бурильных труб отдельно проверяют профиль соединения, материал и доступ к контролируемой поверхности.

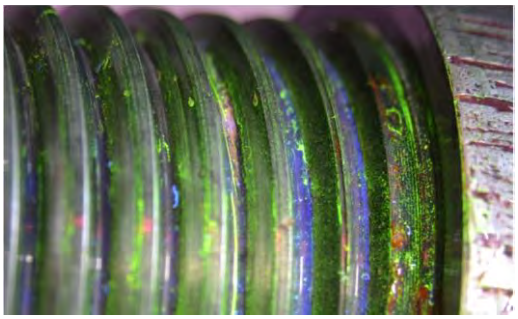


Рисунок 1 – Магнитопорошковые индикации в резьбе строительной бурильной трубы [3]

К.В. Власов и А.Л. Бобров в 2024 г. исследовали на образцах с искусственными дефектами [4] влияние температуры, химического воздействия и пластической деформации на вихретоковый сигнал. Для резьбы после эксплуатации это обосновывает настройку на сопоставимой поверхности и регистрацию сигнала на комплексной плоскости.

Расчет влияния охвата критических зон

Введены три условных показателя: c - доля целевых дефектов, приходящихся на зоны выполненного контроля; p - вероятность обнаружения дефекта в обследованной зоне; q - вероятность своевременного устранения выявленного дефекта. Для исходного числа дефектов D расчетное число устраненных составляет:

$$D_{уст} = D \times c \times p \times q.$$

Охват в модели относится к распределению опасных дефектов. Процент обследованной площади может служить его приближением лишь при обоснованном выборе зон. При равной длине пропущенный виток с высокой концентрацией напряжений и гладкий участок тела трубы имеют различный вклад в риск.

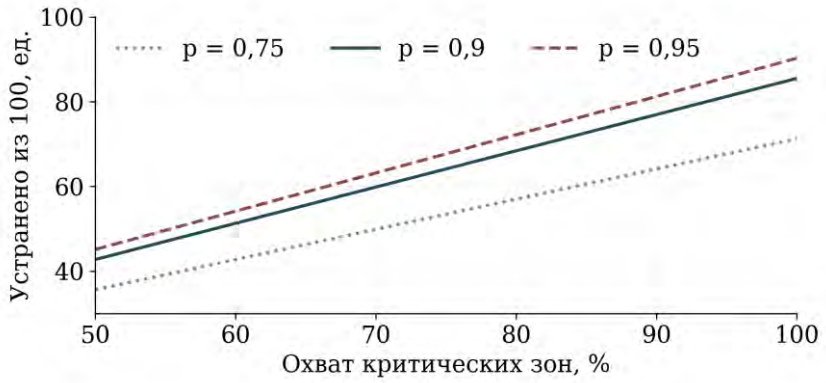


Рисунок 2 – Влияние охвата на число устраненных дефектов при q = 0,95

При D = 100, p = 0,90 и q = 0,95 повышение c с 0,60 до 0,90 увеличивает Dуст с 51,30 до 76,95. Остаток уменьшается с 48,70 до 23,05 условного дефекта, на 52,67 % относительно исходного остатка. Значения характеризуют заданный сценарий; связь с частотой аварий требует сведений о развитии повреждений и нагрузках.

При c = 0,60 повышение p с 0,90 до 0,95 увеличивает Dуст на 2,85. Расширение охвата в рассмотренном сценарии дает больший прирост.

Состав процедуры и подтверждение выявляемости

Для ферромагнитной резьбы поверхностный поиск выполняют магнитопорошковым методом с направлениями намагничивания, выбранными по ориентации ожидаемых трещин. Переносное ярмо показано на рисунке 3. Для внутренней резьбы и сложного доступа проверяют возможность установки полюсов и достаточность поля по принятой процедуре.



Рисунок 3 – Электромагнитное ярмо Y-2 для магнитопорошкового контроля [5]

Таблица 1

Записи в карте контроля резьбового соединения

Поле	Содержание записи
Объект	Номер трубы, тип резьбы, материал, история эксплуатации
Зоны	Впадины, упоры, переходы; выполненные и недоступные участки
Процедура	Метод, датчик, настройка, образец, критерий приемки
Результат	Координата индикации, подтверждение, действие и срок

В 2026 г. Y. Zhang и соавторы предложили гибкий дифференциальный вихретоковый массив с подмагничиванием для резьбы бурильных труб [6]. При выборе такого датчика проверяют повторяемость зазора и различимость дефектного и геометрического откликов. Специализированный ультразвуковой преобразователь для утолщенной концевой зоны раскрыт в патенте CN105973980A [7].

Подготовка персонала оценивается по ГОСТ Р ИСО 9712-2023 [8]. Демонстрация процедуры

проводится на соединении сопоставимой геометрии с целевыми дефектами и участками без дефектов. При независимых однородных испытаниях 29 обнаружений из 29 дают нижнюю одностороннюю 95%-ную границу вероятности 0,9019 [9].

Выводы

Для резьбовых соединений перед морским бурением предложена карта, связывающая контрольные зоны, параметры процедуры и исполнение решения. Расчет при p = 0,90 и q = 0,95 показал уменьшение остатка условных дефектов на 52,67 % после увеличения охвата с 60 до 90 %. Практическая рекомендация - сначала подтвердить выполнение контроля во всех назначенных критических зонах, затем уточнять выявляемость и контролировать закрытие опасных индикаций.

Список использованной литературы:

1. ГОСТ Р 70790-2023. Буровое и технологическое оборудование для строительства морских скважин. Основные требования.

2. API RP 7G-2. Inspection and Classification of Used Drill Stem Elements. 2nd ed. API, 2020.

3. Бобров А.Л., Бехер С.А., Шляхтенков С.П. Анализ эффективности методов неразрушающего контроля резьбовой части бурильных труб // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 3 (43). С. 10-15. DOI: 10.25699/SSSB.2022.43.3.012.

4. Власов К.В., Бобров А.Л. Влияние неоднородности физических свойств объекта контроля на чувствительность вихретокового метода // Вестник ИжГТУ. 2024. Т. 27, № 1. С. 55-62. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-55-62.

5. Magnaflux. Y-2 AC Electromagnetic Yoke. URL: https://magnaflux.com/NA/EN/Products/Magnetic-Particle-Inspection/Equipment/Y-2.htm (дата обращения: 09.11.2026).

6. Zhang Y., Wu J., Zheng D. et al. Flexible differential eddy current array sensor for thread defects of drill pipes based on biased magnetization // Nondestructive Testing and Evaluation. Published online 05.01.2026. DOI: 10.1080/10589759.2025.2609944.

7. CN105973980A. Ultrasonic inspection multi-purpose probe system for thickened area of drill pipe end in drill pipe inspection. Опубл. 28.09.2016.

8. ГОСТ Р ИСО 9712-2023. Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала неразрушающего контроля.

9. AFGROW. Handbook for Damage Tolerant Design. Section 3.1.2.3. Sample Size Requirements. URL: https://afgrow.net/applications/DTDHandbook/Sections/page3_1_2_3.aspx (дата обращения: 09.11.2026).

© Гадиев Ф.Х., Хасанов Р.А., 2026

УДК 004.896

Гараева О., преподаватель,
институт Телекоммуникаций и информатики Туркменистана,
г. Ашхабад, Туркменистан

СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Аннотация

Рассмотрены принципы построения систем технического зрения для манипуляционных роботов с использованием глубоких нейронных сетей. Проанализированы задачи обнаружения объектов, оценки их положения и ориентации, планирования захвата.

Ключевые слова

техническое зрение, свёрточные нейронные сети, обнаружение объектов,
захват, калибровка «глаз — рука».

Garaeva O., lecturer,
Institute of Telecommunications and Informatics of Turkmenistan,
Ashgabat, Turkmenistan

MACHINE VISION SYSTEMS AND DEEP LEARNING IN ROBOTIC SYSTEMS

Abstract

The principles for developing computer vision systems for manipulation robots using deep neural networks are examined. The tasks of object detection, estimation of object position and orientation, and grasp planning are analyzed.

Keywords:

computer vision, convolutional neural networks, object detection, grasping, eye-to-hand calibration.

Традиционные роботизированные ячейки рассчитаны на жёстко заданное положение деталей, что требует оснастки и ограничивает гибкость производства. Системы технического зрения позволяют роботу получать информацию о сцене и корректировать действия. Алгоритмы, основанные на ручном выделении признаков, чувствительны к освещению, бликам и перекрытиям. Глубокое обучение обеспечивает извлечение признаков непосредственно из изображений и существенно повышает устойчивость распознавания.

Типовая система включает камеру (RGB или RGB-D), модуль калибровки, модуль детектирования и сегментации, модуль оценки положения и модуль планирования захвата. Калибровка «глаз — рука» определяет преобразование между системой координат камеры и системой координат основания манипулятора; её точность непосредственно влияет на точность позиционирования. Для обнаружения объектов широко применяются одноэтапные детекторы семейства YOLO, обеспечивающие обработку в реальном времени, а для точной сегментации — сети типа Mask R-CNN и U-Net.

Для определения шести степеней свободы объекта используют регрессию положения по изображению, сопоставление с трёхмерной моделью либо обработку облаков точек. Планирование захвата реализуется двумя путями: аналитическим, основанным на модели объекта и геометрии схвата, и обучаемым, при котором сеть оценивает вероятность успеха захвата для кандидатов, полученных по глубинному изображению. Подходы второго типа, обученные на больших наборах синтетических и реальных данных, демонстрируют высокую долю успешных захватов ранее не встречавшихся объектов.

В производственных условиях надёжность снижается из-за изменения освещённости, отражающих поверхностей, загрязнения оптики и смещения камеры. Для повышения устойчивости применяют аугментацию данных, дообучение на данных конкретного предприятия, контроль уверенности предсказаний и аппаратные меры (защитное освещение, жёсткое крепление камеры). Дополнительную сложность создаёт требование к задержке: цикл «снимок — решение — движение» должен укладываться в такт технологического процесса, что накладывает ограничения на размер используемых моделей.

Системы технического зрения на основе глубокого обучения существенно расширяют возможности манипуляционных роботов, позволяя работать в слабоструктурированной среде. Практический успех определяется не только архитектурой сети, но и качеством калибровки, организацией данных и контролем надёжности. Перспективным направлением является сквозное обучение, объединяющее восприятие и управление.

Список использованной литературы:

1. Чарыев А.Б., Шайымов С.С., Атанепесов Б.Н. Методы современной методики преподавания «STEM» // Лучшая исследовательская работа 2023: сборник статей. — 2023. — С. 45
2. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // CVPR, 2016.
3. Багшиев А.А., Чарыев А.Б., Гарадурдыев М.Дж., “Определение динамической структуры манипулятора”. “современные исследования как фактор роста и развития” сборник статей VI Международной научно-практической конференции, состоявшейся 16 апреля 2024 г. 47-50 с.
4. Багшиев А.А., Ходжанепесов К.А., Чарыев А.Б., “Примеры использования искусственного интеллекта при управлении промышленным роботом-манипулятором”. Международный научно электронный журнал “Наука и мировоззрение” Сентябр 2024, №19.

© Гараева О., 2026

УДК 629.3.014

Герасенков А.С.
магистрант 2 курса БГТУ, г. Брянск, РФ
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-1448-142X
Научный руководитель: Пилюшина Г.А.
доктор технических наук, профессор, БГТУ, г. Брянск, РФ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАССЕЯННОЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация

Рассмотрена проблема прогнозирования остаточного ресурса тормозных колодок и дисков (барабанов) с учетом индивидуальных условий эксплуатации. Предложена концепция математической модели, интегрированной в мобильное приложение, которая на основе данных о массе автомобиля, геометрических размерах тормозных тел, а также данных акселерометра и системы OBD2 (с использованием фильтра Калмана) рассчитывает рассеянную энергию. Модель использует метод эмпирической идентификации: на основе замеров фактического износа при плановом техническом обслуживании вычисляются эффективные коэффициенты износа для каждого колеса. Предложен метод перевода рассеянной энергии в прогнозируемый остаточный пробег, что повышает удобство восприятия информации водителем.

Ключевые слова:

тормозные колодки, износ, рассеянная энергия, OBD2, акселерометр, фильтр Калмана, прогнозирование ресурса, математическое моделирование, мобильное приложение.

Введение

Надежность тормозной системы является критическим фактором безопасности дорожного движения. Традиционный подход к обслуживанию тормозных колодок основан на регламентном пробеге, что не учитывает реальный стиль вождения и условия эксплуатации (загрузку автомобиля, рельеф местности, интенсивность торможений). Существующие системы мониторинга (например, датчики износа) работают по факту достижения критического предела, не позволяя прогнозировать событие заранее.

Современные исследования показывают, что износ фрикционных материалов напрямую

коррелирует с энергией, рассеиваемой при торможении [1, 2]. При этом методы прогнозирования остаточного ресурса (RUL) на основе сбора и обработки сенсорных данных демонстрируют высокую эффективность для предиктивного обслуживания технических систем [4]. Целью данной работы является разработка математической модели и архитектуры программно-аппаратного комплекса, способного прогнозировать остаточный ресурс тормозных механизмов каждого колеса в понятных для водителя единицах измерения (километрах пробега), с адаптацией под конкретный автомобиль.

Основная часть

1. Архитектура сбора и первичной обработки данных

Устройство регистрации торможений (УРТ), описанное ранее [3], базируется на микроконтроллере ESP32, оснащенном встроенным модулем Bluetooth, акселерометром MPU-6050 и интерфейсом для подключения к бортовой диагностике (OBD2).

Для повышения точности оценки кинематических параметров автомобиля применяется комплексная обработка данных. Скорость автомобиля v_{OBD} считывается через OBD2 (с частотой опроса 10–20 Гц, что может быть недостаточно для быстрых переходных процессов). Продольное ускорение a_{acc} считывается с акселерометра с высокой частотой (не менее 100 Гц). Для устранения запаздывания OBD2 и накопления ошибки интегрирования акселерометра используется фильтр Калмана. Матрица состояния включает скорость и ускорение. На каждом шаге фильтр Калмана корректирует прогноз, полученный от акселерометра, с помощью абсолютных значений от OBD2. Полученный массив данных $\{v(t), a(t)\}$ является основой для расчета рассеянной энергии.

2. Математическая модель рассеянной энергии

Процесс сбора данных активируется при поступлении сигнала от цепи стоп-сигналов. Элементарная энергия dE, рассеянная при торможении за интервал времени dt, рассчитывается как:

$$dE = m \cdot a(t) \cdot v(t) \cdot dt \quad (1)$$

где m — полная масса автомобиля (кг), задаваемая пользователем в мобильном приложении (снаряженная масса + 2 пассажира + полный бак топлива); $a(t)$ — продольное замедление (м/с²); $v(t)$ — скорость (м/с).

Общая энергия за поездку или за межсервисный интервал E_{total} находится интегрированием (суммированием) элементарных энергий. Важно отметить, что E_{total} представляет собой суммарную энергию, рассеянную всей тормозной системой автомобиля.

3. Эмпирическая идентификация эффективного износа по колесам

Известно, что тормозные усилия распределяются между осями неравномерно (передние тормоза обычно воспринимают 60–70% нагрузки). Однако для прогнозирования ресурса нет необходимости вычислять точное динамическое распределение тормозных сил, которое зависит от загрузки и состояния подвески.

В предлагаемой модели используется подход параметрической идентификации. Пользовательский интерфейс мобильного приложения требует ввода следующих начальных параметров:

1. Масса автомобиля m.
2. Начальные геометрические параметры: толщина накладок h_{n0}, толщина дисков h_{d0} (или диаметр барабанов).
3. Критические (предельные) параметры: h_{n_crit}, h_{d_crit}.

При прохождении планового ТО (через 10–15 тыс. км пробега) водитель (автослесарь) проводит замер фактической остаточной толщины накладок и дисков (барабанов) для всех колес и вводит эти значения в приложение.

Система сопоставляет накопленную общую энергию E_{total} с фактическим износом каждого колеса Δh_{fact_i} и рассчитывает эффективный коэффициент износа для каждого тормозного механизма:

$$K_{eff_i} = \frac{\Delta h_{fact_i}}{E_{total}} \quad (2)$$

где i — индекс колеса (переднее левое, переднее правое и т.д.).

Данный коэффициент K_{eff_i} является интегральным показателем, который автоматически учитывает как физические свойства фрикционной пары, так и реальное распределение тормозных усилий на конкретном колесе данного автомобиля. Таким образом, система строит индивидуальную линейную зависимость остаточной толщины от рассеянной энергии для каждого из 4 колес: $h_i(E) = h_{n0_i} - K_{eff_i} \cdot E_{total}$.

Благодаря этому, на графиках будет наглядно видно, какие колодки изнашиваются быстрее. Например, если у автомобиля неисправен суппорт, эффективный коэффициент износа этого колеса будет аномально высоким, и система своевременно это выявит.

4. Перевод энергии в остаточный пробег (RUL)

Основным неудобством для водителя является оценка ресурса в джоулях. Для решения этой проблемы система производит пересчет на основе предположения о сохранении текущих условий эксплуатации. Зная суммарный пробег M_{total} за отчетный период и накопленную энергию E_{total}, вычисляется средняя энергия, рассеиваемая всей системой на 1 км пробега:

$$E_{avg} = \frac{E_{total}}{M_{total}} \quad (3)$$

Остаточный ресурс в энергии до достижения критического износа для конкретного колеса:

$$E_{rem_i} = \frac{h_{current_i} - h_{crit_i}}{K_{eff_i}} \quad (4)$$

Тогда прогнозируемый остаточный пробег до замены (Remaining Useful Life, RUL) в километрах рассчитывается как:

$$RUL_i = \frac{E_{rem_i}}{E_{avg}} \quad (5)$$

В мобильном приложении график зависимости $h(E)$ перестраивается в график зависимости $h(M)$, где по оси X откладывается прогнозируемый пробег в тыс. км, а по оси Y — остаточная толщина в мм. На графике отображаются зоны докритического (например, 10% от начальной толщины) и критического износа. Водитель получает информацию в привычном формате: «Осталось 5 000 км до замены передних колодок». Пример прогноза остаточного ресурса тормозных накладок для четырех колес показан на рисунке 1. На графике видны линии докритического и критического износа, а также точки замеров при прохождении ТО.

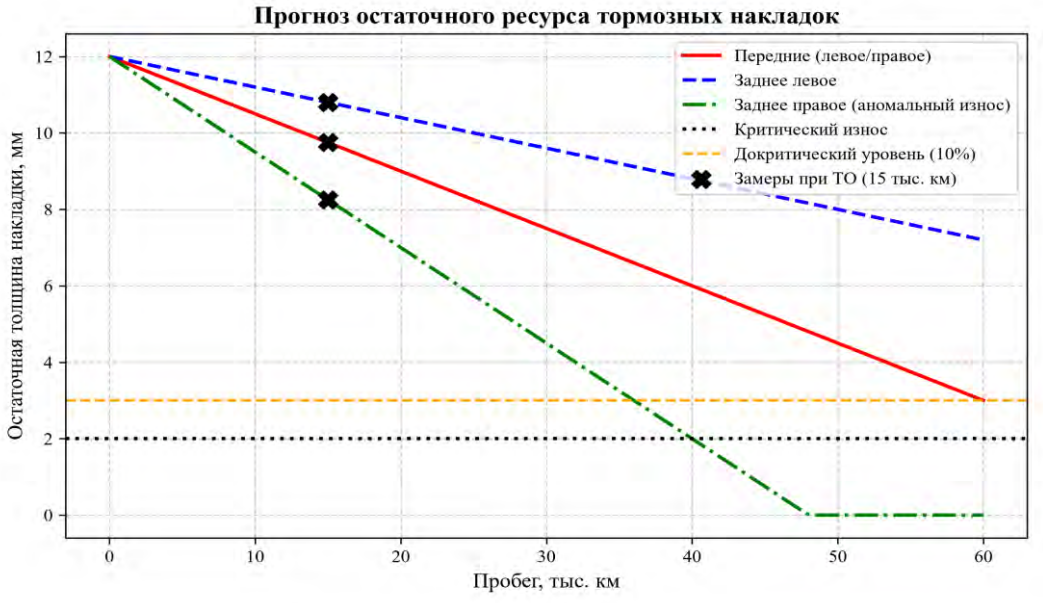


Рисунок 1 – Пример прогноза остаточного ресурса тормозных накладок. Источник: разработано автором

Как видно из рисунка 1, система строит индивидуальные линии тренда для каждого колеса. Аномально быстрый износ правого заднего колеса (зеленая штрихпунктирная линия) сигнализирует о возможной неисправности тормозного механизма (например, заклинивании суппорта) и требует внепланового ремонта, в то время как ресурс передних колодок (красная линия) позволяет прогнозировать их плановую замену в штатном режиме.

Заключение

Предложенная математическая модель и архитектура программно-аппаратного комплекса позволяют реализовать концепцию предиктивного обслуживания тормозной системы. Использование фильтра Калмана для объединения данных OBD2 и акселерометра обеспечивает высокую точность расчета рассеянной энергии. Применение метода эмпирической идентификации (расчет эффективных коэффициентов износа по данным ТО) позволяет отказаться от сложных расчетов распределения тормозных сил и автоматически адаптирует модель под индивидуальный стиль вождения и техническое состояние конкретного автомобиля. Предложенный подход полностью соответствует современным тенденциям в области прогнозирования остаточного ресурса (RUL) [4]. Пересчет рассеянной энергии в прогнозируемый остаточный пробег делает систему интуитивно понятной для водителя. Практическая значимость заключается в повышении безопасности дорожного движения за счет своевременного выявления неравномерного износа и снижении затрат на обслуживание.

Список использованной литературы:

1. Проников, А.С. Параметрическая надежность машин / А. С. Проников. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 559 с.

2. Jensen, K. M., & Santos, I. F. Estimation of brake pad wear and remaining useful life from fused sensor system, statistical data processing, and passenger car longitudinal dynamics // Wear. 2024. Vol. 538–539. P. 205220.

3. Герасенков, А.С. Устройство для регистрации интенсивности торможения автомобиля с целью прогнозирования ресурса тормозных колодок / А. С. Герасенков // Международный научный журнал «Инновационная наука». — 2026. — № 10-2-2. — ISSN 2410-6070.

4. Lei, Y., Li, N., Guo, L., Li, N., Yan, T., & Lin, J. Machinery health prognostics: A systematic review from data acquisition to RUL prediction // Mechanical Systems and Signal Processing. 2018. Vol. 104. P. 799–834.

© Герасенков А.С., 2026

УДК 62

Джомартов М.,
Преподаватель,
Хайдаров А.,
Студент,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ СОБИРАТЕЛЕЙ И ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ВЗАМЕН ТОКСИЧНЫХ ХИМИКАТОВ: СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА СТОЧНЫЕ ВОДЫ

Аннотация

Рассмотрены направления замещения токсичных флотореагентов биоразлагаемыми: собиратели на основе возобновляемого сырья, биосурфактанты микробного происхождения и биополимерные депрессоры.

Ключевые слова:
флотореагенты, собиратель, пенообразователь, биоразлагаемость, биосурфактант, рамнолипид, сурфактин, сточные воды.

Флотация остаётся ведущим методом обогащения тонковкрапленных руд, а её экологический след определяется прежде всего реагентным режимом. Классические ксантогенаты, дитиофосфаты и высокомолекулярные пенообразователи в природных условиях разлагаются медленно; их непрореагировавшие остатки и продукты деградации поступают в оборотные воды, хвостохранилища и, при нарушении водооборота, — в природные водные объекты, изменяя селективность флотации и осложняя водный баланс фабрики. Направление «зелёной химии» в обогащении объединяет два уровня решений: замещение реагентов возобновляемыми и биоразлагаемыми аналогами и управление реагентным режимом, минимизирующее вынос реагентов в стоки. Молекулы, структурно близкие к природным биомолекулам, биодеградируют с существенно большей скоростью, чем синтетические аналоги с разветвлённой углеводородной цепью. Наиболее естественный путь — возврат к собирателям из возобновляемого сырья. Жирные кислоты и их соли традиционно применяются при флотации несульфидных минералов и биодеградируют полностью, однако обладают невысокой селективностью; она повышается комбинированием с модификаторами и оптимизацией pH. M. Dephy и соавторы показали, что растительные масла обеспечивают селективную флотацию кальцита, апатита и кварца на уровне коммерческих реагентов при существенно лучшем экологическом профиле. Для сульфидных руд интенсивно изучаются биосурфактанты микробного происхождения. Рамнолипиды Pseudomonas aeruginosa испытаны как пенообразователи и собиратели при флотации медных руд и железорудных концентратов: они дают устойчивую мелкопузырчатую пену и сопоставимую с синтетическими реагентами флотируемость, оставаясь малотоксичными и биодеградируемыми. Сурфактин Bacillus subtilis эффективен как собиратель кальцита с извлечением около 80 % при нейтральном pH и минимальном расходе реагента - результат, сопоставимый с олеатами. Производство биосурфактантов пока уступает по экономике нефтехимическим аналогам, что ограничивает применение крупнотоннажными переделами. Отдельная группа - депрессоры, заменяющие токсичные цианиды, сульфид натрия и хромовые соли. C. A. Xoco и соавторы предложили биоразлагаемый депрессор пирита на основе полиглутаминовой кислоты и модифицированного крахмала: при совместном действии с известью достигается селективное разделение халькопирита и пирита при pH 9 с извлечением халькопирита свыше 80 % и потерями пирита менее 19 %. Такие реагенты принципиально меняют состав хвостохранилищ: исчезают свободный цианид и растворимые соли тяжёлых металлов, мигрирующие с дренажными водами.

Пенообразователи. Требования к пенообразователю двойственны: устойчивая пена в машине и её быстрое разрушение за пределами машины. Стандарт отрасли - метилизобутилкарбинол - уже отвечает критерию готовой биодеградации; сосновое масло биодеградируемо, но токсично и горюче. Перспективно расширение доли пенообразователей на основе ПЭГ и возобновляемого сырья; при этом методическое требование остаётся неизменным: подтверждение биодеградации по протоколу OECD 301 и токсикологическая оценка для водной биоты, поскольку возобновляемое происхождение молекулы само по себе не гарантирует её малой токсичности. Замена реагентов не отменяет водный менеджмент: минимальные дозировки, автоматическое дозирование по фактическому потреблению, контроль остаточных концентраций в оборотной воде. Принципиально, что биоразлагаемые реагенты делают применимой биологическую очистку стоков: биодеградируемые собиратели и пенообразователи служат субстратом для микроорганизмов аэробных биофильтров, тогда как стойкие ксантогенаты требуют предварительного окисления. Оценка судьбы реагентов в биосфере фосфатной отрасли показывает: при биодеградации порядка 10 % в месяц концентрации в грунтовых водах достигают референтных уровней за полгода — эффект, недостижимый для стойких синтетических молекул.

Замещение токсичных флотореагентов биоразлагаемыми – это процесс: выбор аналога по совокупности флотационной активности и экологического профиля, промышленные испытания на конкретной руде, пересмотр дозировок, мониторинг стоков. Наиболее зрелые решения — жирнокислотные и масляные собиратели, пенообразователи на основе ПЭГ и MIBC; перспективные, но пока дорогостоящие — биосурфактанты и биополимерные депрессоры. Успех определяется не только свойствами молекулы, но и дисциплиной водного менеджмента: экономным дозированием, контролем оборотных вод и биологической очисткой стоков, к которым новые реагенты открывают дорогу.

Список использованной литературы:

1. Aytar Çelik P., Çakmak H., Öz Aksoy D. Green bioflotation of calcite using surfactin as a collector // Journal of Dispersion Science and Technology. — 2021.
2. OECD Guideline for the Testing of Chemicals, Test No. 301: Ready Biodegradability. — Paris: OECD, 1992.

© Джомартов М., Хайдаров А., 2026

УДК 004.896

Джуманазаров Э.
преподаватель,
институт Телекоммуникаций и информатики Туркменистана,
г. Ашхабад, Туркменистан

ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ-МАНИПУЛЯТОРАМИ

Аннотация

Рассмотрены основные алгоритмы обучения с подкреплением (PPO, SAC, TD3), применяемые для управления промышленными манипуляторами.

Ключевые слова

обучение с подкреплением, PPO, SAC, TD3, функция вознаграждения, промышленный манипулятор.

Jumanazarov E.
Lecturer,
Institute of Telecommunications and Informatics of Turkmenistan, Ashgabat

REINFORCEMENT LEARNING IN CONTROL TASKS FOR INDUSTRIAL ROBOTIC MANIPULATORS

Abstract

The main reinforcement learning algorithms (PPO, SAC, TD3) used for controlling industrial manipulators are examined.

Keywords:

reinforcement learning, PPO, SAC, TD3, reward function, industrial manipulator.

Обучение с подкреплением (ОП) — раздел машинного обучения, в котором агент формирует стратегию управления в процессе взаимодействия со средой, стремясь максимизировать накопленное вознаграждение. Для манипуляторов этот подход привлекателен тем, что не требует точной

аналитической модели объекта и способен находить решения для задач, трудно поддающихся формализации классическими методами: сборка, вставка деталей, перемещение объектов в стеснённых условиях.

Постановка задачи

Управление манипулятором формализуется как марковский процесс принятия решений. Состояние включает углы и скорости сочленений, положение рабочего органа и цели, при необходимости — данные силомоментных датчиков и изображений. Действиями служат целевые скорости, моменты в сочленениях либо приращения положения рабочего органа. Функция вознаграждения обычно складывается из штрафа за расстояние до цели, штрафов за столкновения, превышение ограничений и энергопотребление, а также бонуса за выполнение задачи. Плохо подобранное вознаграждение приводит к нежелательному поведению, поэтому его проектирование требует итеративной проверки.

Алгоритмы

Алгоритм PPO ограничивает величину обновления стратегии, что обеспечивает устойчивое обучение и простоту настройки; он относится к методам «на стратегии» и требует значительного объёма взаимодействий. Алгоритмы SAC и TD3 используют воспроизведение накопленного опыта («вне стратегии»), поэтому эффективнее по числу обращений к среде; при этом SAC поощряет исследование за счёт энтропийной регуляризации, а TD3 снижает завышение оценок ценности с помощью двойных критиков и задержки обновления стратегии. Выбор алгоритма определяется стоимостью получения данных, требованиями к устойчивости и размерностью пространства действий.

Ограничения и направления развития

Основные проблемы промышленного применения: большое число необходимых взаимодействий, невозможность свободного исследования на реальном оборудовании без риска повреждений, трудность гарантировать безопасность выученной стратегии. Применяются обучение в симуляции с последующим переносом на реальный робот, обучение с ограничениями, предварительное обучение по демонстрациям и защитные фильтры, корректирующие команды, нарушающие допустимые пределы. Сочетание ОП с классическими регуляторами, при котором стратегия формирует лишь поправку к базовому управлению, повышает предсказуемость результата.

Заключение

Обучение с подкреплением является эффективным инструментом для управления манипуляторами в задачах, где аналитические модели недоступны или недостаточно точны. Практическое внедрение требует тщательного проектирования функции вознаграждения, использования симуляции и механизмов обеспечения безопасности. Дальнейшие исследования целесообразно направить на повышение эффективности использования данных и формальную проверку выученных стратегий.

Список использованной литературы:

1. Чарыев А.Б., Шайымов С.С., Атанепесов Б.Н. Методы современной методики преподавания «STEM» // Лучшая исследовательская работа 2023: сборник статей. — 2023. — С. 45.
2. Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement Learning: An Introduction. — Cambridge: MIT Press, 2018.
3. Ходжанепесов К.А., Сарыгулов С.Х., Чарыев А.Б., “Искусственный интеллект в образовании: возможности и перспективы”. Международный научный журнал “Символ науки”, # 6-2/2024. 133-135 с.
4. Багшиев А.А., Чарыев А.Б., Гарадурдыев М.Дж., “Определение динамической структуры манипулятора”. “современные исследования как фактор роста и развития” сборник статей VI Международной научно-практической конференции, состоявшейся 16 апреля 2024 г. 47-50 с.
5. Багшиев А.А., Ходжанепесов К.А., Чарыев А.Б., “Примеры использования искусственного интеллекта при управлении промышленным роботом-манипулятором”. Международный научно электронный журнал “Наука и мировоззрение” Сентябр 2024, №19.

© Джуманазаров Э., 2026

УДК 622.8:622.279

Зайцев М.О.
Студент 2 курса ТИУ
г. Тюмень, РФ
Сахапова Т.Р.
Студентка 2 курса ТИУ
г. Тюмень, РФ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕР ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ГАЗОВЫХ ПРОМЫСЛАХ

Аннотация

В данной статье рассматривается вопрос обеспечения промышленной безопасности на газовых промыслах в условиях Крайнего Севера. Проведен анализ причин возникновения аварий, предложен комплекс мероприятий, направленный на повышение уровня промышленной безопасности.

Ключевые слова:
промышленная безопасность, газовый промысел, предупреждение аварий, Крайний Север.

Добыча природного газа на территории Крайнего Севера увеличивает риск возникновения аварий из-за климатических особенностей. Продолжительная, холодная зима сказывается на статистике аварийных ситуаций. Из-за низкой температуры воздуха чаще происходит разгерметизация оборудования, износ металла. На рисунке 1.1 представлена статистика возникновения аварий на Крайнем Севере за 2020 – 2025 год в зависимости от времени года.



Рисунок 1.1 – Статистика возникновения аварий

В таблице 1.1 приведены результаты анализа аварийности на газовых промыслах в осенне-зимний период.

Таблица 1.1

Результаты анализа аварийности в осенне-зимний период

Тип аварии	Причина возникновения	Последствия
Разгерметизация трубопровода	Ледяные пробки, температурная усадка, хрупкое разрушение металла	Выброс газа, возгорание
Разгерметизация контрольно-измерительных приборов и автоматики	Замерзание конденсата в трубках, потеря эластичности уплотнителей	Локальная загазованность
Отказ запорной арматуры	Загустение смазки из-за низкой температуры воздуха, обледенение пневмоприводов	Отсутствие возможности локализовать аварию
Пожары на кустовых площадках	Нарушение техники безопасности при отогреве оборудования, перегрузка сетей	Открытие газового фонтанирования, переход огня на другие кусты, угроза жизни и здоровью работников

Для снижения вероятности возникновения аварий из-за причин, указанных в таблице 1.1 нами предложены следующие мероприятия:

1. Установка стационарных систем коррозийного мониторинга и вибродиагностики для своевременного определения состояния металла и дальнейшего предотвращения аварий, связанных с износом металла, вследствие воздействия пониженных температур.

2. Внедрение автоматических систем загазованности с лазерными датчиками, которые смогут моментально определить утечку газа при нарушении герметичности или отказе запорной арматуры. Автоматическую систему необходимо подключить к диспетчерскому пункту промысла, куда в режиме реальног времени будут передаваться все данные.

3. Внедрение VR-тренажеров для повышения квалификации работников. При помощи этих тренажеров возможно спроецировать реальные ситуации, которые могут возникнуть на промысле, и работники смогут отрабатывать алгоритмы локализации и ликвидации аварий.

4. Усиление входного контроля и внедрение единых цифровых нарядов-допусков. Это позволит исключить несогласованных действий при проведении ремонтых работ на территории опасного производственного объекта.

Таким образом, повышение уровня промышленной безопасности на опасных производственных объектах необходим для сохранения жизни и здоровья работников, населения. Также бесперебойная работа добывающих предприятий Крайнего Севера имеет стратегическое значение для энергетической безопасности и стабильности экономики страны. Внедрение цифровых технологий поможет существенно снизить уровень аварийности.

Список использованной литературы:

1. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116 - ФЗ (ред. от 08.08.2024) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025). [Электронный ресурс].
2. Пермяков В. Н. «Безопасность нефтегазохимических объектов»: учебное пособие / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тюменский индустриальный университет. — Тюмень: ТИУ, 2019. — 348 с.

© Зайцев М.О., Сахапова Т.Р., 2026

UDC 62-585.3

Исайева Т.М.,
Доцент,
Рагимов Р. Дж.
Магистрант
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности
Баку, Азербайджан

АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация

Асинхронные двигатели в силу своих конструктивных особенностей, простоты обслуживания и надежности широко применяются в различных отраслях народного хозяйства, в бытовых машинах и устройствах в качестве прямого привода и совместно с механическим приводом. Для регулирования

скорости вращения ротора двигателя используются различные методы и устройства, среди которых основное место занимают частотные преобразователи. Исходя из этого, рассмотрены различные принципы построения частотных преобразователей, проанализированы скалярное и векторные методы управления скоростью электроприводов с учетом области применения. Скалярное управление обычно применяется в маломощных электроприводах (вентиляторах, насосах), а векторное – в электроприводах большой мощности. Приведены рекомендации по выбору преобразователей с требуемыми характеристиками, рассмотрены методы широтно-импульсной модуляции в зависимости от принципа построения инверторов, показана целесообразность выбора простых, двухуровневых и многоуровневых инверторов для преобразователей, в которых для получения выходного переменного напряжения инвертора используются одиночная, множественная, синусоидальная и модифицированная широтно-импульсная модуляция. Каждый из методов применяется с учетом требований к форме выходного напряжения, степени искажения синусоиды в сочетании простоты (сложности) структуры и схемы преобразователя. Рассмотрены различные варианты силовых преобразователей с неуправляемым и управляемым выпрямителем, инвертором, трансформатором для повышения выходного напряжения.

Ключевые слова:

асинхронные двигатели, частотные преобразователи, широтно-имульсная модуляция, интертор, синусоида, скалярное управление векторное управление.

Isayeva T.M.,
Associate professor,
Rahimov R.C.
Master's degree student
Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku, Azerbaijan

ANALYSIS OF FREQUENCY CONVERTERS FOR ASYNCHRONOUS MOTORS

Abstract

Asynchronous motors due to their design characteristics, ease of maintenance, and reliability, are widely used across various economic sectors, as well as in household appliances and devices, serving both as direct drives and as components within mechanical drive systems. Various methods and devices are employed to regulate the rotor speed of these motors, with frequency converters playing a primary role. This text examines different design principles for frequency converters and analyzes scalar and vector control methods for electric drives, considering their specific applications. Scalar control is typically used for low-power electric drives (such as those for fans or pumps), while vector control is applied to high-power drives. Recommendations are provided for selecting converters with the necessary specifications, and pulse-width modulation (PWM) techniques are discussed in relation to inverter design. The text also evaluates the suitability of simple, two-level, and multi-level inverters, which utilize various PWM strategies - including single, multiple, sinusoidal, and modified PWM - to generate an AC output voltage. The choice of a specific method depends on requirements regarding the output voltage waveform and the allowable level of harmonic distortion, balanced against the complexity of the converter's structure and circuitry. Furthermore, various power converter configurations are explored, including those featuring uncontrolled or controlled rectifiers, inverters, and transformers designed to step up the output voltage.

Keywords:

asynchronous motors, frequency converters, pulse-width modulation, inverter, sine wave, scalar control, vector control

As is well known, asynchronous AC electric motors are used in virtually all sectors of the economy, as well as in household and industrial equipment. These motors are characterized by a simple, robust design; they lack commutator brushes and additional excitation windings, which eliminates the need for a separate power supply for such windings - and, consequently, removes the requirement for switching circuitry for them. The advent of new power electronics components - specifically, IGBT transistors - has further enhanced the reliability of speed control and the management of operating modes for asynchronous motors [1].

Frequency converters, or inverters, are widely employed to regulate the speed of electric drives based on asynchronous motors. Over the past 20–30 years, the circuitry, design, and functional capabilities of these electronic devices have undergone significant evolution. A simplified connection diagram for a frequency converter is shown in Fig. 1, where f – power supply frequency; UoutABC – output voltage of frequency converter; fout - frequency of output voltage; AM – asynchronous (induction) motor; M - torque on shaft, *v* – rotation speed.

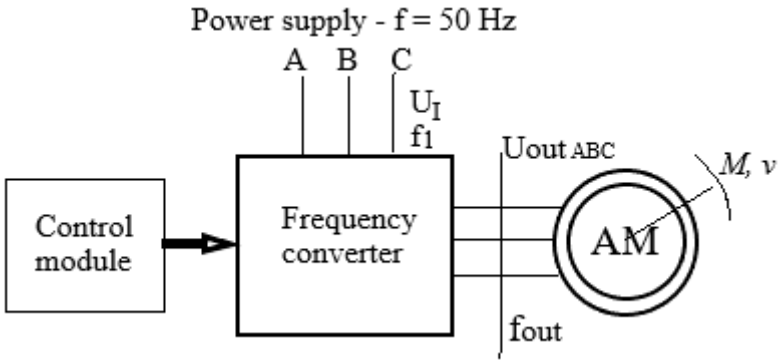


Figure 1 – Simplified connection diagram of a frequency converter to an induction motor

Current methods for controlling the rotational speed of induction motors—utilizing either scalar or vector control—allow for smooth adjustment of the drive shaft speed over a wide range without a significant reduction in motor shaft torque. Scalar control is typically employed in low-power electric drives (such as those for fans or pumps), while vector control is used in high-power applications [6, 8, 9].

Research indicates that frequency converters (FCs) are modern, high-tech devices that offer a broad speed-control range and advanced functional capabilities for managing induction motors. Consequently, such devices must possess high functional and hardware reliability, which in turn enhances the efficiency of controlling various electric drive systems [4–5].

Both single-phase and three-phase frequency converters provide a three-phase output voltage. This enables the connection of standard squirrel-cage induction motors - which typically feature three stator windings - and facilitates reversible motor operation.

A two-level inverter, which generates two output voltage levels (positive and negative), employs two switching elements per phase leg. Through pulse-width modulation (PWM), these elements switch between the voltage levels to produce rectangular pulses [10]. These pulses are filtered by the electric motor, which alters their waveform.

The primary advantages of multilevel inverters are as follows:

- Compared to two-level inverters, they allow for higher output voltage using low-voltage IGBT modules characterized by low voltage drop, low switching voltages, and high switching speeds; this enhances reliability and reduces device costs. This is further supported by the fact that the transistors operate at half the total voltage.

- They produce an output voltage waveform that is nearly sinusoidal, meaning the levels of non-fundamental harmonic components are significantly lower, which allows for smaller output filters.

Due to these advantages, three-level inverters offer higher efficiency than two-level inverters. For

instance, a three-level inverter generates three voltage levels—including zero—which are connected to the device output in sequence.

Inverters can be categorized based on their output voltage waveform: those with rectangular, sinusoidal, or modified output signals. Various pulse-width modulation (PWM) techniques are employed, including single (simple) PWM, multiple PWM, sinusoidal PWM, and modified sinusoidal PWM.

In single PWM, a single pulse is used during each half-cycle. The switching control pulse is generated by comparing a rectangular reference signal with a triangular carrier-frequency signal. The output voltage is determined by the frequency of the reference signal.

In multiple PWM, several pulses are used within each half-cycle of the output voltage instead of a single pulse; this helps reduce harmonics, which would otherwise cause distortion of the output signal.

In the sinusoidal PWM method—widely used in industrial applications—the reference signal is a sine wave. The switching control pulses for the power switches are generated by comparing a reference signal with a triangular carrier signal. The output signal has a frequency equal to that of the reference signal, and the output voltage is sinusoidal in shape.

The modified sinusoidal PWM method improves the harmonic characteristics of the output signal, which in turn allows for a reduction in the number of switching elements and a decrease in the associated switching losses.

Frequency converters equipped with microcontroller-based control units offer enhanced functionality, providing continuous monitoring and protection for both the electric motor and the converter itself against power interruptions and sharp fluctuations in the supply network.

Specialized interfaces are used to integrate analog sensors (such as those for temperature, motor shaft torque, or rotational speed). It should be noted that increasing the sampling interval leads to a loss of data, which is essential for identifying phase shifts and resonance phenomena within the electric drive system.

Currently, three types of power converter configurations are in use. The first and simplest consists of an uncontrolled rectifier, an inverter, and a transformer. While this two-stage architecture is straightforward, it lacks stabilization for the inverter's input voltage. Implementing microcontroller-based control is relatively simple, but this configuration offers poor resilience against fluctuations in the supply network.

The second configuration incorporates a step-up (boost) converter, which stabilizes the inverter's input voltage and reduces the required power ratings for subsequent stages. However, the addition of this third conversion stage lowers the power factor and increases voltage and current harmonics, while also making the control system more complex.

The third configuration differs from the first by employing an active rectifier. This improves the stability of the DC voltage at the inverter input, brings the power factor close to unity, and results in a nearly sinusoidal current. Furthermore, it enables energy savings through power regeneration (recuperation). On the other hand, this increases control complexity, and operational efficiency is reduced due to hard-switching. It is worth noting that the use of a controller helps optimize the performance of this configuration. Additionally, the third configuration offers superior electromagnetic compatibility, as it reduces waveform distortion in both the output voltage and current. Comparative analysis data indicate that circuits with a simple conversion structure exhibit a linearity in the range of 5–10% and are sensitive to temperature fluctuations; they lack dedicated circuitry for enhancing linearity or compensating for temperature-induced changes.

Conversely, circuits incorporating a reference oscillator offer high conversion accuracy and are straightforward to implement when used in conjunction with a controller-based control unit.

Conclusions

In applications with a stable mains supply voltage, it is advisable to use a simple circuit featuring an uncontrolled rectifier for power frequency converters. If the frequency converter’s output voltage is subject to stringent requirements, it becomes necessary to stabilize the DC voltage at the inverter input.

Thus, for low-power electric drives, simple circuits are a practical choice; while their control performance may be limited, they are sufficient to meet the needs of consumers using household appliances or low-cost equipment.

The use of bridge inverters in the frequency converters of industrial electric drives enables the achievement of optimal drive parameter values.

Reference:

1. Chandrakant Singh, Harshit Mohan. Speed Control of Industrial Motor Drives–Current Developments. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181 Published by http://www.ijert.org IJERTV13IS070043 Vol. 13 Issue 07, July-2024.
2. Chernysheva T.A., Anikin V.V., Chernyshev I.A., Chernyshev A.Yu. Frequency-Controlled Electric Drive for Centrifugal Pump Units in Oil Production. — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo-Engineering. — 2019. — Vol. 330. — No. 12. — pp. 168–178.
3. Filatov V.V. Two- and three-level inverters based on IGBT modules. Power Electronics. 37. 4, 2012, pp. 38–41.7. Rahman, Sharjil & Zainul Abidin, Aidil. (2016). A review on induction motor speed control methods. 10.13140/RG.2.2.31367.75680.
4. M. Tech. Scholar Sheesh Ram, Asst. Prof. Prateek Tiwari, Prof. Dr. Pramod Sharma Optimizing Induction Motor Speed: A Comprehensive Review of P, PI, and PID Controllers. Sheesh Ram. International Journal of Science, Engineering and Technology, 2024, 12:1. Sheesh Ram, 2024, 12:1 ISSN (Online): 2348-4098 ISSN (Print): 2395-4752.
5. Makarov V.G., Abbazov A.T., Karimov D.A. A Model of an Asynchronous Electric Drive with Frequency-Based Speed Control While Maintaining Constant Stator Flux Linkage (in Matlab). — Bulletin of the Technological University. — 2018. — Vol. 21. — No. 4. — pp. 167–173.
6. Makarov V.G., Khaybrakhmanov R.N. Multilevel Voltage Inverters: A Review of Topologies and Applications. — Bulletin of the Technological University. — 2016. — Vol. 19. — No. 22. — pp. 134–138.
7. Mr. Ankit Agrawal, Mr. Rakesh Singh Lodhi, Dr. Pragya Nema. A Review of Speed Control Methods of Induction Motor/ e-ISSN: 2278-1676p -ISSN: 2320-3331, Volume 13, Issue 3 Ver. II. (May. – June. 2018), pp. 09-14, DOI: 10.9790/1676-1303020914.
8. Shokhin V.V., Khramshin V.R., Kornilov G.P., Permyakova O.V. Modeling of a Vector Control System for an Asynchronous Motor with Coordinate Transformation in an Electric Drive. — Electrotechnical Systems and Complexes. — 2022. — No. 1 (54). — pp. 29–37.
9. Taranov M.A., Korchagin P.T. Multilevel and Cascaded Inverters. — Bulletin of Agrarian Science of the Don. — 2013. — No. 1 (21). — pp. 63–66.

© Исайева Т.М., Рагимов Р. Дж., 2026

УДК 37.022

Кулиева М., преподаватель,
институт Телекоммуникаций и информатики Туркменистана,
г. Ашхабад, Туркменистан

ОЦЕНИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ В STEM-ОБРАЗОВАНИИ

Аннотация

Рассмотрены особенности оценивания результатов обучения при реализации STEM-подхода.

Показано, что традиционные формы контроля, ориентированные на воспроизведение знаний, не позволяют оценить умения решать комплексные задачи и работать в команде.

Ключевые слова:

оценивание, рубрика, портфолио, формирующее оценивание, компетенции, командная работа.

Kulieva M.
Lecturer,
Institute of Telecommunications and Informatics of Turkmenistan,
Ashgabat, Turkmenistan

ASSESSMENT OF LEARNING OUTCOMES AND DEVELOPMENT OF COMPETENCIES IN STEM EDUCATION

Abstract

The specific features of assessing learning outcomes within the framework of a STEM approach are examined. It is shown that traditional forms of assessment, which focus on the reproduction of knowledge, are inadequate for evaluating the ability to solve complex problems and work in a team.

Keywords:

assessment, rubric, portfolio, formative assessment, competencies, teamwork.

Смена целей обучения требует изменения способов контроля. Если STEM-курс направлен на формирование способности проектировать, исследовать и сотрудничать, то экзамен, проверяющий только знание формул, не отражает достигнутых результатов. Оценивание должно охватывать как предметные знания, так и универсальные и профессиональные компетенции, а также учитывать процесс деятельности, а не только итоговый продукт.

Критериальное оценивание и рубрики

Рубрика представляет собой таблицу, в которой для каждого критерия (например, корректность модели, обоснованность выбора решения, качество эксперимента, оформление документации, презентация) описаны уровни достижения. Преимущества рубрик: прозрачность требований для студентов, единообразие оценки разными преподавателями, возможность давать конкретную обратную связь. Рубрики передаются студентам до начала работы, что позволяет им ориентироваться на критерии и самостоятельно оценивать промежуточные результаты. Для повышения объективности рекомендуется апробировать рубрику на нескольких работах и согласовать трактовку уровней внутри кафедры.

Формирующее оценивание и портфолио

Формирующее оценивание направлено не на выставление итоговой отметки, а на улучшение процесса обучения: преподаватель регулярно получает информацию о продвижении студентов и корректирует задания и консультации. Его формами служат контрольные точки проекта, краткие письменные отчёты, обсуждение промежуточных прототипов. Портфолио, включающее описания проектов, отчёты об экспериментах, программный код, рефлексивные заметки, показывает динамику развития студента и может использоваться при итоговой аттестации и при трудоустройстве.

Оценивание командной работы

Общая оценка за проект не всегда отражает индивидуальный вклад. Для его учёта применяют сочетание групповой оценки и индивидуальной (по результатам защиты, личных отчётов, взаимной оценки участников команды). Взаимное оценивание проводится по заранее заданным критериям (ответственность, вклад в результат, коммуникация) и сопровождается обсуждением результатов, чтобы оценка выполняла развивающую функцию. Важно предусмотреть процедуру разрешения конфликтов и пересмотра оценки.

Эффективная система оценивания STEM-курса сочетает критериальные рубрики, формирующую обратную связь, портфолио и оценку командной работы. Она должна быть согласована с целями и содержанием обучения и понятна студентам. Использование таких средств повышает ответственность студентов за результат и позволяет преподавателю получать достоверную информацию о качестве образовательного процесса.

Список использованной литературы:

1. Black P., Wiliam D. Inside the black box: Raising standards through classroom assessment // Phi Delta Kappan, 1998, vol. 80, no. 2.
2. Brookhart S.M. How to Create and Use Rubrics for Formative Assessment and Grading. — Alexandria: ASCD, 2013.
3. Чарыев А.Б., Шайымов С.С., Атанепесов Б.Н. Методы современной методики преподавания «STEM» // Лучшая исследовательская работа 2023: сборник статей. — 2023. — С. 45.

© Кулиева М., 2026

УДК 62

Максадова М.,
студент,
Оденязова А.,
студент,
Оразгылыджов Д.,
студент,
Овезова А.,
студент,
Научный руководитель: Мамметэминова А.,
преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

КИНЕТИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ЕЁ КАЛИБРОВКА НА ФАКТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЛЮИДОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аннотация

Рассмотрена кинетическая модель преобразования керогена как основа количественного прогноза генерации нефти и газа в бассейновом моделировании.

Ключевые слова:

кероген, кинетика нефтеобразования, энергия активации, частотный фактор, пиролиз, бассейновое моделирование.

Математическое описание превращения органического вещества (ОВ) осадочных пород опирается на схему параллельных реакций первого порядка, подчиняющихся уравнению Аррениуса. Базовые положения разработаны Тиссо и Эспиталье, описавшими керогены типов I–III распределениями энергий активации 42–334 кДж/моль: для керогена I преобладают прочные углерод-углеродные связи алифатических цепей, для керогена II — более слабые C–N, C–S и C–O связи, что сдвигает главную фазу

генерации нефти в область более низких температур. Именно различие кинетических спектров объясняет разный температурный интервал «нефтяного окна» в бассейнах с разнотипным исходным ОВ.

В классической постановке скорость деградации i-й компоненты керогена записывается как:

$$\frac{dX_i}{dt} = -A_i X_i \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right), X = \sum_i X_i$$

где X_i — доля компоненты с энергией активации E_i, A_i — предэкспоненциальный фактор. Ключевая проблема применения — экстраполяция кинетических параметров из лабораторных пиролиза (сотни минут при 300–550 °C) на геологические эпохи (десятки миллионов лет при 60–150 °C). Унгерер и Пеле показали, что параметры, определённые пиролизом незрелого керогена, применимы к условиям осадочных бассейнов при согласовании температурно-временных масштабов. Однако численные эксперименты выявили важный артефакт: при едином (усреднённом) частотном факторе высокоэнергетические реакции «подстраиваются» и завышают активационные пороги, искажая прогноз момента начала генерации; корректное описание низкоэнергетических связей в гетерогенном ОВ достигается только при распределении индивидуальных частотных факторов. Кроме того, кинетический отклик не детерминирован типом керогена по водородному индексу: обобщение данных по 81 нефтематеринской породе мира показало, что кинетические параметры зависят от палеофациальных условий накопления и стратиграфического возраста не менее сильно, чем от типа ОВ.

Второе направление — согласование кинетики с составом и свойствами реальных флюидов. Моделирование открытой системы (Pepper–Corvi) рассматривает источник как открытую систему, где наряду с генерацией протекают первичная миграция и крекинг нефти в газ, что позволяет воспроизводить фактическое соотношение нефть/газ и изменение плотности нефти с глубиной. Эксперименты в закрытой системе с определением стехиометрических коэффициентов реакций крекинга дают состав модельных продуктов (газ C_1–C_5, легкая нефть C_6–C_{15}, тяжёлые фракции C_{16}+), которые сравниваются с фактическими флюидами залежей. Для Баженовской свиты впервые получены составные кинетические спектры: с ростом зрелости максимум распределения энергий активации смещается с 51 до 53 ккал/моль (при A=1014c^{-1}), главные продукты деструкции керогена — жидкие углеводороды C_7–C_{10} (до 54% в максимуме нефтеобразования), а расчёт потенциала от незрелых проб при степени трансформации ОВ выше ~50% становится некорректным из-за изменения химической структуры керогена. Калибровка на фактические свойства флюидов (плотность, ГФ, изотопный и биомаркерный состав добытых нефтей) замыкает модель: расчётные профили генерации подгоняются до согласия с наблюдаемыми характеристиками пластовых нефтей, что позволяет уточнять фазовое состояние и прогноз распределения остаточных ресурсов.

Кинетика преобразования ОВ за полвека прошла путь от глобальных обобщённых спектров Тиссо–Эспиталье до составных (компонентных) моделей с учётом фаций, зрелости и миграции. Надёжность прогноза определяется тремя условиями: корректной экстраполяцией лабораторных параметров (распределённые частотные факторы вместо усреднённых), учётом начального состояния керогена (незрелые пробы) и калибровкой на фактические свойства флюидов конкретных месторождений. Перспективные направления — машинная оптимизация кинетических спектров по инверсии данных пиролиза и автоматическая подстройка моделей по промысловым данным о составе и плотности флюидов.

Список использованной литературы:

1. Tissot B., Espitalié J. L'évolution thermique de la matière organique des sédiments: applications d'une simulation mathématique // Revue de l'Institut Français du Pétrole. — 1975. — Vol. 30, № 5. — P. 743–777.

2. Tissot B. P., Welte D. H. Petroleum Formation and Occurrence. 2nd ed. — Berlin: Springer, 1984. — 699 p.

© Максадова М., Оденязова А., Оразгылыджов Д., Овезова А., 2026

УДК 004.8

Мартенюк А.В.,
Студент 2 курса БГТУ им. В. Г. Шухова,
г. Белгород, РФ
Научный руководитель: Коломыцева Е.П.,
Старший преподаватель, БГТУ им. В. Г. Шухова
г. Белгород, РФ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФЕДЕРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ПРИВАТНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ: КОМПРОМИСС МЕЖДУ ТОЧНОСТЬЮ И КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬЮ

Аннотация

В работе рассмотрена проблема обучения моделей машинного обучения на децентрализованных медицинских данных без нарушения конфиденциальности. Проведен сравнительный анализ алгоритмов федеративного обучения FedAvg и FedProx в условиях неоднородного распределения данных (non-IID). Оценено влияние дифференциальной приватности на точность модели. Выявлено, что FedProx обеспечивает более высокий F1-score при дисбалансе классов, однако введение шума ($\epsilon < 1$) критически снижает клиническую применимость модели.

Ключевые слова:
федеративное обучение, конфиденциальность, медицинские данные, дифференциальная приватность, FedAvg, FedProx, non-IID.

Martenyuk A.V.
2nd-year student of BSTU named after Shukhov,
Belgorod, Russia
Scientific supervisor: Kolomytseva E.P.,
Senior Lecturer, BSTU named after Shukhov
Belgorod, Russia

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION OF OPEN-SOURCE AND PROPRIETARY LLMS IN CODE GENERATION: METRICS AND PRACTICAL RECOMMENDATION

Annotation

This paper presents the problem of training machine learning models on decentralized medical data without violating confidentiality is considered. A comparative analysis of FedAvg and FedProx federated learning algorithms under non-IID data distribution is conducted. The impact of differential privacy on model accuracy is evaluated. It is revealed that FedProx provides a higher F1-score under class imbalance, but the introduction of noise ($\epsilon < 1$) critically reduces the clinical applicability of the model.

Keywords:
federated learning, privacy, medical data, differential privacy, FedAvg, FedProx, non-IID.

Современная медицина генерирует огромные объемы данных, которые могли бы значительно повысить точность диагностических моделей [5]. Однако централизованный сбор такой информации сопряжен с рисками утечки персональных данных и нарушением законодательства. Федеративное обучение (Federated Learning или FL) выступает парадигмой, решающей эту проблему: модели обучаются локально на устройствах клиник, а на центральный сервер передаются только обновления весов (градиенты), а не сами данные [1].

Несмотря на преимущества, FL сталкивается с двумя ключевыми вызовами. Во-первых, данные в разных клиниках статистически неоднородны (не независимые и не идентично распределённые, non-

independent and identically distributed или non-IID), что приводит к “дрейфу клиентов” (client drift) и замедлению сходимости. Во-вторых, передача градиентов все еще может раскрыть информацию о пациентах, что требует применения методов дифференциальной приватности (Differential Privacy или DP) [3]. Целью данного исследования является сравнительный анализ алгоритмов FedAvg [1] и FedProx [2] в условиях non-IID и оценка компромисса между точностью и уровнем конфиденциальности.

Методика симуляции федеративной сети. Для эксперимента использовался открытый медицинский датасет Pima Indians Diabetes Database (прогнозирование диабета). Симуляция федеративной сети проводилась с использованием фреймворка Flower [4] и библиотеки PyTorch. Данные были распределены между десятью виртуальными клиниками (узлами) с использованием распределения Дирихле (α = 0.5) для имитации сильного дисбаланса классов (non-IID).

В качестве базовой модели для бинарной классификации (наличие/отсутствие диабета) использовался многослойный перцептрон (MLP). Архитектура сети была выбрана эмпирически и включает следующие слои:

1. Входной слой: 8 нейронов, что соответствует количеству признаков в датасете (уровень глюкозы, индекс массы тела, возраст и др.).
2. Первый скрытый слой: 16 нейронов с функцией активации выпрямленной линейной единицы (Rectified Linear Unit или ReLU).
3. Второй скрытый слой: 8 нейронов с функцией активации ReLU.
4. Выходной слой: 1 нейрон с функцией активации Sigmoid, выдающий вероятность принадлежности к классу «болен».

Для обучения модели использовалась функция потерь бинарная кросс-энтропия (Binary Cross-Entropy), а в качестве оптимизатора - Adam с начальной скоростью обучения 0.001. Выбор такой архитектуры обусловлен необходимостью баланса между вычислительной эффективностью (что критично для локальных устройств клиник) и достаточной емкостью для извлечения нелинейных зависимостей из табличных медицинских данных. Оценка качества производилась по метрике F1-score, а также по времени сходимости.

Классический алгоритм FedAvg усредняет веса моделей пропорционально количеству данных на каждом узле. Однако при сильном дисбалансе классов (non-IID) локальные модели сильно смещаются в сторону своих локальных распределений, что приводит к «дрейфу клиентов» (client drift) и замедлению глобальной сходимости.

Алгоритм FedProx решает эту проблему путем добавления в локальную функцию потерь проксимального члена (proximal term), который штрафует модель за слишком сильное отклонение от глобальных весов. Задача локальной оптимизации для k-го клиента на раунде t принимает вид:

$$L_k(w) = F_k(w) + \frac{\mu}{2} \| w - w^t \|^2 \quad (1)$$

Где w - локальные веса модели;

Fk(w) - локальная функция потерь k-го клиента;

wt - глобальные веса на текущем раунде t;

μ - гиперпараметр, регулирующий силу проксимального штрафа.

Lk(w) - модифицированная функция потерь k-го клиента, которую мы минимизируем.

Результаты симуляции показали, что при сильном дисбалансе классов (non-IID) FedProx достигает целевого F1-score на 15-20% быстрее, чем FedAvg. Это подтверждает гипотезу о том, что проксимальный член стабилизирует обучение и предотвращает “дрейф” локальных моделей в сторону их собственных распределений данных.

Влияние дифференциальной приватности на точность.

Для защиты конфиденциальности в локальные обновления был добавлен гауссовский шум (DP-SGD). Уровень конфиденциальности задавался параметром ϵ (эпсилон): чем меньше значение, тем выше защита и больше шума добавляется.

Эксперименты показали резкое падение F1-score при снижении ϵ. При ϵ = 8 (слабая защита) падение

точности составило всего 2-3% по сравнению с базовой моделью без DP[3]. Однако при $\epsilon = 1$ (строгая защита) F1-score упал на 18–22%, что делает модель клинически неприменимой для задач диагностики. Динамика компромисса представлена в таблице 1.

Таблица 1

Компромисс между уровнем конфиденциальности и точностью модели

Уровень шума	F1-score по FedAvg	F1-score по FedProx	Падение точности относительно базиса
Без DP (∞)	0.78	0.82	0%
ϵ = 8	0.76	0.79	~3%
ϵ = 3	0.7	0.73	~10%
ϵ = 1	0.61	0.64	~20%

Источник: разработано автором на основе анализа литературы

Проведенное исследование подтвердило, что алгоритм FedProx является более предпочтительным выбором для федеративного обучения на неоднородных медицинских данных, обеспечивая более высокую и стабильную точность по сравнению с FedAvg. Однако введение строгих гарантий дифференциальной приватности (*ϵ <= 1*) приводит к критическому падению качества модели. Для решения этой проблемы в будущих исследованиях предлагается использовать методы персонализации (Personalized Federated Learning) или гибридные подходы, комбинирующие DP с генеративными моделями для аугментации данных, что позволит сохранить клиническую ценность при высоком уровне защиты.

Список использованной литературы:

1. McMahan B., Moore E., Ramage D., Hampson S., Arcas B. A. Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data // Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS). 2017. P. 1273-1282.
2. Li T., Sahu A. K., Zaheer M., Sanjabi M., Talwalkar A., Smith V. Federated Optimization in Heterogeneous Networks // Proceedings of Machine Learning and Systems (MLSys). 2020. Vol. 2. P. 429-450.
3. Abadi M., Chu A., Goodfellow I., McMahan H. B., Mironov I., Talwar K., Zhang L. Deep Learning with Differential Privacy // Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. 2016. P. 308-318.
4. Beutel D. J., Topal T., Mathur A., Qiu X., Parcollet T., Lane N. D. Flower: A Friendly Federated Learning Research Framework // arXiv preprint arXiv:2007.14390. 2020.
5. Rieke N., Hancox J., Li W., Milletari F., Roth H. R., Albarqouni S., et al. The future of digital health with federated learning // NPJ Digital Medicine. 2020. Vol. 3. Article 119.

© Мартенюк А.В., 2026

УДК 62

Михонина Д.А., Федорова А.В.
магистранты 1 курса СибГУ им. М.Ф. Решетнёва
Акционерное общество «Информационные спутниковые системы»
имени академика М.Ф. Решетнёва», г. Красноярск, РФ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Аннотация

В статье рассматривается вопрос повышения достоверности оценки технического состояния

автоматических космических аппаратов при наземной отработке. Действующая пороговая проверка позволяет выявлять явные нарушения, однако не всегда замечает скрытые изменения в поведении бортовых систем. Предложен способ дополнения существующей практики двумя вспомогательными контурами анализа: сопоставлением фактических показаний с ожидаемым поведением и выявлением нетипичных сочетаний телеметрических данных. Результатом работы является порядок формирования диагностической подсказки для испытателя.

Ключевые слова:

космический аппарат; наземная отработка; электрические проверки; испытательный комплекс; телеметрия; диагностика; предотказное состояние.

Michonina D.A., Fedorova A.V.

1st-year master's student of Reshetnev Siberian State University,

Krasnoyarsk, Russia

Joint-Stock Company «Academician M.F. Reshetnev» Information Satellite Systems».

IMPROVING THE MONITORING OF RELIABILITY AND SAFETY OF AUTOMATED SPACECRAFT BASED ON INTELLIGENT DATA PROCESSING FROM COMPREHENSIVE ELECTRICAL TESTS

Annotation

This article examines the issue of improving the reliability of assessing the technical condition of unmanned spacecraft during ground testing. The current threshold check identifies obvious violations, but does not always detect hidden changes in the behavior of onboard systems. A method is proposed for supplementing existing practice with two additional analysis loops: comparing actual readings with expected behavior and identifying atypical combinations of telemetry data. The result of this work is a procedure for generating diagnostic prompts for the tester.

Keywords:

spacecraft; ground testing; electrical checks; test complex; telemetry; diagnostics; pre-failure condition.

Введение

Современный автоматический космический аппарат объединяет электрические, механические, программные и информационные компоненты. Его исправность нельзя оценить только по отдельным измерениям: нарушение в одной подсистеме может проявиться через изменение режимов работы других. Поэтому наземная отработка остаётся важным этапом, на котором выявляются ошибки проектирования, изготовления, монтажа и программного обеспечения.

Особое значение имеют электрические проверки. Они позволяют убедиться, что аппаратура получает питание, принимает команды, передаёт телеметрическую информацию и взаимодействует с другими системами изделия. На предприятиях ракетно-космической промышленности такие проверки проводятся с использованием специализированных программно-аппаратных средств, которые автоматически регистрируют показания датчиков, результаты выполнения команд и временные характеристики процессов [1].

В АО «РЕШЕТНЁВ» применяется пороговый принцип оценки: полученное значение сравнивается с границей, установленной конструкторской и технологической документацией. Если величина выходит за разрешённый интервал, комплекс фиксирует нарушение. Такой способ прост, нагляден и позволяет быстро обнаруживать явные неисправности.

Однако не каждая проблема проявляется как резкое отклонение показания. Иногда ток, напряжение или температура остаются в допустимых пределах, но их поведение не соответствует

ожидаемому сценарию работы аппарата. Такие ситуации опасны, поскольку формально изделие выглядит исправным, хотя в нём уже может формироваться дефект.

Актуальность работы определяется необходимостью сократить риск пропуска скрытых нарушений, уменьшить время поиска их причин и повысить обоснованность решения о готовности аппарата к следующему этапу отработки.

Цель и задачи

Цель работы состоит в обосновании способа повышения достоверности оценки технического состояния автоматического космического аппарата при наземной отработке.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- проанализировать ограничения действующей пороговой проверки;
- рассмотреть отечественный и зарубежный опыт интеллектуальной обработки телеметрической информации;
- предложить способ дополнения пороговой проверки анализом ожидаемого поведения систем и нетипичных сочетаний данных;
- сформулировать порядок формирования диагностической подсказки для испытателя.

Методы

В работе использованы анализ научной литературы, сравнение отечественного и зарубежного опыта, системный анализ процесса наземной отработки космического аппарата и метод структурного моделирования технического состояния изделия.

Анализ литературы позволил выделить основные подходы к обработке телеметрии: контроль фиксированных границ, сопоставление фактических значений с расчётными или ранее наблюдавшимися, а также выявление нетипичных сочетаний параметров. Сопоставление практического опыта показало, что наиболее перспективным является не отказ от пороговой проверки, а её дополнение аналитическими контурами.

Системный анализ позволил рассмотреть космический аппарат как совокупность взаимосвязанных подсистем, а не как набор независимых измеряемых величин. Метод структурного моделирования использован для описания последовательности оценки состояния: от сбора данных к формированию диагностической подсказки.

Результаты

Три контура оценки состояния

Предлагаемый способ не отменяет действующую пороговую проверку, а дополняет её. Первый контур сохраняет прежнюю функцию: каждая измеренная величина сопоставляется с разрешённым диапазоном. Если значение выходит за границу, комплекс фиксирует нарушение. Именно этот контур уже применяется в АО «РЕШЕТНЁВ» и обеспечивает быстрое обнаружение очевидных проблем.

Второй контур предполагает сравнение фактического поведения параметра с ожидаемым. Ожидаемое поведение может быть задано технологической картой проверки, результатами предыдущих испытаний однотипного изделия или расчётной зависимостью. Например, при включении аппаратуры закономерно ожидается изменение потребляемого тока, появление определённых телеметрических признаков и завершение операции в установленное время. Если фактическая картина не соответствует ожидаемой, это становится основанием для дополнительного анализа, даже если отдельные значения находятся в допустимых пределах.

Третий контур предназначен для выявления нетипичных сочетаний данных. В его задачу входит анализ не одного показания, а совокупности признаков: скорости изменения величин, одновременного отклонения нескольких связанных каналов, повторяемости нарушения, длительности отклонения и несоответствия между командой и полученным откликом. Такой анализ позволяет замечать ситуации, которые не видны при контроле каждого параметра отдельно.

По итогам работы трёх контуров состояние аппарата может быть отнесено к одному из трёх вариантов: штатное, требующее дополнительного внимания или неисправное. Второй вариант особенно важен: он позволяет выделить аппараты и режимы, в которых необходимо провести уточняющие проверки до перехода к следующему этапу.

Порядок формирования диагностической подсказки

Работа предлагаемого способа строится следующим образом. Сначала испытательный комплекс собирает телеметрию, команды, ответы аппаратуры и сведения о времени выполнения операций. Затем данные приводятся к единой временной шкале, очищаются от помех и подготавливаются к анализу.

Далее выполняется обычная проверка допусков. Параллельно оценивается, насколько фактическое поведение каждой величины соответствует ожидаемому. После этого анализируются совместные изменения параметров и выявляются нетипичные сочетания.

Если нарушение подтверждается несколькими признаками, система формирует диагностическую подсказку. Она может указывать, например, на вероятную проблему в цепи питания, некорректную работу бортового комплекса управления, ошибку наземного оборудования или несоответствие фактической последовательности операций заданной программе.

Важной особенностью является то, что окончательное решение остаётся за испытателем. Система лишь ранжирует возможные причины и предлагает последовательность проверок. Такой режим внедрения снижает риск ошибочных действий и позволяет постепенно накапливать подтверждённые случаи для уточнения правил диагностики.

Ограничения внедрения

Предлагаемый способ нельзя внедрить мгновенно. Для его работы нужны упорядоченные архивы результатов прошлых проверок, корректно описанные технологические операции и согласованные перечни контролируемых величин. Без этого невозможно сформировать достоверное представление о нормальном поведении аппарата.

Кроме того, настройки для одного типа изделия не могут быть механически перенесены на другой. Аппараты различаются составом бортовой аппаратуры, архитектурой электропитания, назначением целевой нагрузки и порядком проведения проверок. Поэтому при переходе к новому изделию потребуется корректировка моделей, перечней признаков и правил формирования подсказок.

Существенным ограничением является и малое число подтверждённых отказов. Редкость нештатных ситуаций затрудняет обучение моделей, которые должны различать штатные и неисправные состояния [5, 8]. По этой причине на начальном этапе целесообразно применять методы, способные работать без большого количества заранее размеченных примеров неисправностей.

Также необходимо учитывать стоимость внедрения. Потребуются доработка программного обеспечения, организация хранения данных, привлечение специалистов по бортовым системам и испытаниям, а также обучение персонала. Затраты оправданы только при условии, что сокращение времени поиска неисправностей и снижение риска пропуска дефекта будут превышать расходы на сопровождение системы.

Заключение

Пороговая проверка, применяемая при наземной отработке космических аппаратов, остаётся необходимым инструментом контроля. Однако она не всегда позволяет заметить ранние признаки неисправности, особенно если отдельные величины остаются в разрешённых пределах.

Предложенный трёхконтурный способ позволяет дополнить существующую практику анализом ожидаемого поведения систем и нетипичных сочетаний телеметрических данных. Его применение даёт возможность раньше замечать скрытые нарушения, сокращать время поиска причин и повышать обоснованность решения о готовности аппарата к следующему этапу.

Практическое внедрение целесообразно начинать с наиболее значимых подсистем и использовать предлагаемый способ в качестве рекомендательной поддержки испытателя. Дальнейшее развитие

направления связано с созданием типовых шаблонов для однотипных изделий, накоплением базы подтверждённых случаев и оценкой эффективности метода на реальных результатах электрических проверок.

Список использованной литературы:

1. Бродский И. Э., Перевозников В. Н., Карташев С. М. Технический контроль и диагностика в испытаниях изделий ракетно-космической техники // Космическая техника и технологии. — 2025. — № 3 (50). — URL: https://sciup.org/tehnicheskij-kontrol-i-diagnostika-v-ispytanijah-izdelij-raketno-kosmicheskoj-143185381 (дата обращения: 27.10.2026).
2. Интеллектуализированная система контроля состояния космических аппаратов по телеметрическим данным // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2024). — Москва, 2024. — URL: https://vspu2024.ipu.ru/proceedings/3077.pdf (дата обращения: 27.10.2026).
3. Дорожко И.В. Применение алгоритмов машинного обучения байесовских сетей для решения задач диагностирования сложных технических систем с использованием дискретных диагностических признаков // Труды МАИ. — 2025. — № 144. — URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=186315 (дата обращения: 27.10.2026).
4. Carbone A. et al. A Hybrid Model and Data Driven Approach for Anomaly Detection and Diagnosis in Spacecraft Electrical Power Systems // ASCEND. — 2025. — URL: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20250005402 /downloads/Carbone_CPper_HybridAnomaly_ASCEND_20250005402.pdf (дата обращения: 27.10.2026).
5. Anomaly Detection in Spacecraft Telemetry: Forecasting vs. Classification // IEEE Space Computing Conference. — 2024. — P. 17–27. — DOI: 10.1109/SCC61854.2024.00009.
6. Health-AI // ESA Connectivity & Secure Communications. — 2024. — URL: https://resilience.esa.int/ archives/ projects/healthai (дата обращения: 27.10.2026).
7. Three years of ATHMoS // SpaceOps-2025. — URL: https://elib.dlr.de/219575/1/SpaceOps25-Three_years_of_ATHMoS.pdf (дата обращения: 27.10.2026).
8. A Review of Anomaly Detection in Spacecraft Telemetry Data // Applied Sciences. — 2025. — Vol. 15, № 10. — Article 5653. — URL: https://www.mdpi.com/2076-3417/15/10/5653 (дата обращения: 27.10.2026).
9. Crotti E., Colagrossi A. Machine Learning Approaches for Data-Driven Self-Diagnosis and Fault Detection in Spacecraft Systems // Applied Sciences. — 2025. — Vol. 15, № 14. — Article 7761. — DOI: 10.3390/app15147761.
10. Towards Adaptive and Robust Unsupervised Anomaly Detection in Satellite Telemetry // PHM Society Conference. — 2026. — URL: http://papers.phmsociety.org/index.php/phmap/article/view/4465 (дата обращения: 27.10.2026).
11. The OPS-SAT benchmark for detecting anomalies in satellite telemetry. — 2024. — URL: https://arxiv.org/pdf/2407.04730v1.pdf (дата обращения: 27.10.2026).

© Михонина Д. А., Федорова А.В., 2026

УДК 62

Мовламов Д., преподаватель,
Датдовов О., преподаватель,
Айлиев Ш., старший преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

ПОЛУЧЕНИЕ КВОТ УГЛЕВОДОРОДОВ ЗА СЧЕТ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ МЕТАНА

Аннотация

В статье рассматривается механизм формирования углеродных квот (углеродных единиц) за счёт

сокращения выбросов метана в нефтегазовом секторе. Показано, что утилизация метана и ликвидация утечек позволяют предприятиям не только выполнять климатические обязательства, но и генерировать обращаемые квоты с последующей их реализацией на внутреннем и внешнем рынках. Проанализированы ключевые источники выбросов, технологические решения и роль спутникового мониторинга в верификации результатов. Обоснована экономическая целесообразность метановых проектов для нефтегазовых компаний.

Ключевые слова:

метан; углеродные квоты, углеродные единицы, нефтегазовый сектор, парниковые газы, климатический проект, спутниковый мониторинг, глобальное метановое обязательство.

Метан — второй по значимости антропогенный парниковый газ: за 20-летний период его потеплительный эффект примерно в 28 раз выше, чем у диоксида углерода, при этом время жизни в атмосфере составляет 10–12 лет. По данным МЭА, сокращение выбросов метана из операций с ископаемым топливом — самый быстрый и рентабельный способ ограничить краткосрочное потепление. На COP26 в Глазго запущено Глобальное метановое обязательство — снизить антропогенные выбросы метана не менее чем на 30% к 2030 г. относительно уровня 2020 г. Одновременно ужесточаются регуляторные требования к экспортёрам углеводородов, в том числе правила ЕС по метановым выбросам, увязывающие доступ газа на европейский рынок с его метановым следом.

Под квотами в контексте данной статьи понимаются углеродные квоты и углеродные единицы — подтверждённые результаты климатических проектов, выраженные в тоннах CO_2-эквивалента. Предприятие, сократившее выбросы метана, вправе зарегистрировать климатический проект, пройти его валидацию и верификацию в аккредитованной организации и получить углеродные единицы в реестре. Излишки квот либо самостоятельного сокращения выбросов могут быть проданы компаниям, не уложившимся в установленные лимиты, что формирует прямой экономический стимул декарбонизации.

Практическую реализуемость механизма подтверждает опыт: климатический проект ООО «Газпром мобильные компрессорные станции», зарегистрированный в 2023 г. и предусматривающий предотвращение выбросов метана при подготовке участков магистральных газопроводов к ремонту, обеспечил выпуск почти 50 млн углеродных единиц.

Основные источники выбросов метана в нефтедобыче — факельные установки без оголовков бессажевого горения, резервуары хранения нефти («большое» и «малое» дыхания) и свечи рассеивания. Оснащение факелов оголовками бессажевого сгорания, применение устройств улавливания лёгких фракций и многоступенчатая сепарация продукции скважин позволяют сокращать выбросы метана до 99% по каждому направлению. Для газотранспортной системы ключевыми являются компримирование и отбор газа при ремонтных работах вместо стравливания в атмосферу.

Особую роль играет измеримость результата. Спутниковые методы (Sentinel-5P/TROPOMI, GHGSat, PRISMA) выявляют и количественно оценивают точечные «супер-эмиттеры» мегатоннажного масштаба: так, на западном побережье Туркменистана за 2017–2020 гг. обнаружено 29 крупных источников, из которых 24 — погасшие факелы, вентилирующие газ напрямую в атмосферу; их устранение признано «легкодостижимой» мерой климатической политики. Данные дистанционного зондирования становятся основой MRV-контура (мониторинг — отчётность — верификация) и необходимым условием признания квот на международных рынках.

Сокращение выбросов метана превращается из экологического обязательства в источник ликвидного актива: каждая предотвращённая тонна CO_2-эквивалента конвертируется в

верифицированную углеродную единицу, пригодную для торговли и зачёта квотных обязательств. Для стран и компаний с высокой метановой интенсивностью (оценки МЭА по ряду нефтедобывающих стран — свыше 5 млн т метана утечек ежегодно) потенциал монетизации квот и возвращаемого в товарный оборот газа сопоставим с объёмами затрат на модернизацию инфраструктуры. Дальнейшее развитие направления требует унификации методик количественного определения выбросов, расширения независимой верификации и гармонизации национальных реестров с международными.

Список использованной литературы:

1. Рощин П.В., Савельев А.А., Логинов А.А. и др. Технологические решения для сокращения выбросов метана на объектах нефтегазодобывающих предприятий // Экспозиция Нефть Газ. — 2025. — № 6. — С. 94–99.
2. Irakulis-Loitxate M., Gorroño J., Zavala-Araiza D., Guanter L. Satellites Detect Abatable Super-Emissions in One of the World's Largest Methane Hotspot Regions // Environmental Science & Technology. — 2022. — Vol. 56, № 4. — P. 2263–2272.

© Мовламов Д., Датдовов О., Айлиев Ш., 2026

УДК 62

Мовламов Д.,
Преподаватель,
Хуммиев А.,
Преподаватель,
Хайдаров Б.,
Преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

СОКРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ МЕТАНА ПУТЕМ ОЧИСТКИ БУРОВОГО РАСТВОРА ОТ МЕТАНА

Аннотация

В статье рассмотрен вопрос снижения эмиссии метана при строительстве нефтяных и газовых скважин за счёт очистки циркулирующего бурового раствора. Показано, что газопроявления при вскрытии газосодержащих горизонтов приводят к насыщению раствора метаном, который при традиционной схеме дегазации выбрасывается в атмосферу. Обоснована целесообразность применения вакуумных дегазаторов в сочетании с закрытой системой отвода уловленного газа, позволяющих снизить остаточное газосодержание раствора до 2% и менее. Систематизированы данные о характеристиках применяемых дегазаторов и сформулированы направления совершенствования технологии.

Ключевые слова:
метан; буровой раствор, дегазация, вакуумный дегазатор, газопроявления, выбросы парниковых газов.

Метан — парниковый газ с потенциалом глобального потепления примерно в 28 раз выше, чем у диоксида углерода, при сроке жизни в атмосфере около 12 лет. По оценке МЭА, выбросы метана в нефтегазовом секторе в 2020 г. составили около 70 млн т (~2,1 млрд т CO_2-экв.), при этом значительная

часть утечек может быть устранена с нулевыми чистыми затратами за счёт возврата уловленного газа в товарный оборот. Традиционно усилия сосредоточены на эксплуатационных и транспортных объектах, тогда как вклад этапа строительства скважин, в частности выбросов при дегазации бурового раствора, остаётся слабо изученным звеном углеродного следа бурения.При проходке газосодержащих пород и разведочном бурении в неисследованных разрезах пластовый флюид поступает в буровой раствор, насыщая его свободным и растворённым метаном.

Газированный раствор снижает плотность и нарушает противодавление на пласт, что создаёт риск газонефтеводопроявлений и открытых фонтанов; поэтому дегазаторы в обязательном порядке включаются в состав циркуляционных систем буровых установок согласно действующим правилам промышленной безопасности. Практика показывает, что промывка через дегазатор позволяет восстановить плотность раствора и снизить газопоказания при ликвидации газопроявлений.

Однако с климатической точки зрения принципиально то, куда отводится выделившийся газ. В атмосферных (низковакуумных) дегазаторах газ выбрасывается непосредственно в воздух, а вакуумный насос классической схемы направляет отсасываемый метан на факельную установку или в систему контроля выбросов. Поскольку при сжигании метана парниковый эффект снижается с 28 до 1 единицы CO_2-эквивалента, замена рассеивания газа на закрытый отвод с факельным сжиганием или утилизацией сокращает климатическую нагрузку узла дегазации более чем на 95%.

Дегазаторы буровых растворов делятся на низковакуумные (вентиляторные и вакуум-насосные) и вакуумные, при этом эффективность низковакуумных аппаратов в литературе убедительно не подтверждена, тогда как вакуумные дегазаторы признаются предпочтительными, особенно для российских условий бурения. Степень вакуума в камере (порядка 0,03 МПа) и время пребывания раствора — ключевые факторы глубины дегазации: практически полное удаление газа в аппаратах вакуумного типа достигается за 10–20 с, а остаточное газосодержание не превышает 2% при производительности 25–60 л/с. Промышленный пример — малогабаритный проточный дегазатор D-30 производительностью 30 л/с: в интенсивно вспенивающихся растворах остаточное содержание газа составляет не более 2%, в растворах с нестойкой газовой фазой — 0; конструкция без золотниковых и клапанных узлов упрощает обслуживание и повышает надёжность. Развитие направления видится в интеграции дегазатора с закрытым контуром: уловленная метаносодержащая смесь может либо сжигаться на бессажевом оголовке факельной установки, либо после доочистки направляться в топливную сеть буровой (энергоустановки, котлы), что одновременно сокращает выбросы и расход привозного топлива.

Очистка бурового раствора от метана — необходимое требование безопасности, которое одновременно является резервом сокращения выбросов парниковых газов на этапе строительства скважин. Переход от рассеивания газа в атмосферу к вакуумной дегазации с закрытым отводом и сжиганием/утилизацией уловленного метана снижает эмиссию CO_2-эквивалента узла дегазации в десятки раз без изменения основного технологического процесса. Для количественной оценки эффекта необходимы отраслевая методика инвентаризации выбросов при бурении и включение показателей дегазации в стандарты MRV-отчётности нефтегазовых компаний.

Список использованной литературы:

1. Новиков А. С., Новиков К. А. Строительство нефтяных и газовых скважин. — М.: Изд-во А. С. Новикова, 2021. — 775 с.

2. Рощин П. В., Савельев А. А., Логинов А. А. и др. Технологические решения для сокращения выбросов метана на объектах нефтегазодобывающих предприятий // Экспозиция Нефть Газ. — 2025. — № 6. — С. 94–99.

© Мовламов Д., Хуммиев А., Хайдаров Б., 2026

УДК 62

Мовламов Д.,
Преподаватель,
Хуммиев А.,
Преподаватель,
Байрамов М.,
Преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

РАЗРАБОТКА НОВЫХ СОСТАВОВ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНОГО СЫРЬЯ

Аннотация

Рассмотрены возможности создания новых рецептур буровых растворов на основе минерально-сырьевой базы Туркменистана. Показано, что Огланлинское (Балканский велаят) и Губадагское (Дашогузский велаят) месторождения глин способны служить сырьевой основой для приготовления бентонитовых порошков и органобентонита — загустителя растворов на углеводородной основе.

Ключевые слова:

буровой раствор, бентонит, Огланлинское месторождение, Губадагское месторождение, монтмориллонит, органобентонит, химическая обработка, Туркменистан.

Буровой раствор — важнейший элемент технологии бурения: он обеспечивает вынос шлама, охлаждение долота, создание гидростатического противодавления на пласт и стабилизацию стенок скважины. Качество рецептуры напрямую определяет сроки проводки скважин и риски осложнений — поглощений, осыпаний, газонефтеводопроявлений. Для Западного Туркменистана с его аномально высокими пластовыми давлениями, соляно-купольными структурами и зонами рапоносности вопрос подбора раствора имеет особое значение. При этом основу буровых программ республики составляют импортные бентонит и полимерные реагенты, тогда как собственная минерально-сырьевая база используется не в полной мере: только запасы Огланлинского месторождения бентонитовых глин оцениваются примерно в 14 млн т.

Глины Огланлинского месторождения (Балканский велаят) представлены монтмориллонитом с содержанием 65–80% по массе, что соответствует требованиям к сырью для производства бентонитовых порошков и органобентонитов; содержание песчаных примесей минимально, сырьё экологически чистое. Наиболее качественные разновидности используются промышленностью и пригодны для растворов, затворяемых в том числе солёной и минерализованной водой.

Иная картина наблюдается с Губадагским месторождением тонкодисперсных глин (Дашогузский велаят): по данным лабораторных исследований, глина относится к материалам низкого качества, а растворы на её основе с пресной, морской и койтендагской водой показали близкие объёмные характеристики. Однако обработка морской воды каустической содой позволила выделить пробу с объёмом выхода раствора до 4 м³, что свидетельствует о принципиальной возможности активации сырья простой щелочной обработкой. Свойства глин устойчивы к смене типа воды затворения — важное условие применения в регионах с различными геолого-гидрогеологическими условиями.

Первое направление — оптимизация рецептур глинистых растворов на водной основе. Разработка составов, адаптированных к конкретным геологическим формациям, снижает риск нестабильности стенок скважин и потерю проходимости; в качестве регуляторов реологических параметров (динамическое напряжение сдвига, условная вязкость, водоотдача) применяются кальцинированная сода, полимеры и

другие реагенты, синергетическое действие которых с бентонитом подтверждено для высокотемпературных условий. Второе направление — получение органобентонита из огланлинской глины для растворов на углеводородной основе. Модифицирование очищенной глины четвертичной аммониевой солью (цетилтриметиламмоний хлорид) методом ионного обмена с последующей сушкой и диспергированием в дизельном топливе позволило впервые в стране получить загуститель на основе местного сырья: в лабораторных испытаниях нефтяного раствора с оксидом кальция, эмульгатором, гидрофобизатором и баритом органобентонит показал высокие и стабильные реологические свойства, в том числе после термообработки при 150 °C.

Минерально-сырьевая база Туркменистана позволяет организовать производство основных глинистых компонентов буровых растворов внутри страны: качественный бентонит Огланлы — основу для порошков и органобентонитов, глины Губадага — после щелочной активации. Локализация производства сократит зависимость бурения от импорта, снизит стоимость строительства скважин и обеспечит контроль качества реагентов на всех этапах. Перспективным шагом является создание программно-методической базы подбора рецептур «местное сырьё — активация — целевые параметры раствора» применительно к типовым разрезам Западного и Центрального Туркменистана.

Список использованной литературы:

1. Деряев А. Р. Исследование свойств тонкодисперсных глин на месторождениях Туркменистана для разработки буровых растворов // Нефтяное хозяйство. — 2024. — № 3. — С. 46–50.
2. Деряев А. Р. Особенности прогнозирования аномально высоких пластовых давлений при бурении скважин на площадях Юго-Западного Туркменистана // SOCAR Proceedings. — 2023. — Special Issue No. 2. — P. 7–12.

© Мовламов Д., Хуммиев А., Байрамов М., 2026

УДК 62

Мовламов Д.,
Преподаватель,
Хуммиев А.,
Преподаватель,
Хаджыев А.,
Преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОСВОБОЖДЕНИЯ ЗАСТРЯВШИХ БУРИЛЬНЫХ КОЛОНН ПРИ БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Аннотация

В статье систематизированы основные методы освобождения застрявших (прихваченных) бурильных колонн. Показано, что прихваты являются наиболее частым видом аварий при бурении и обусловливают значительную долю непроизводительного времени.

Ключевые слова:

прихват бурильной колонны, жидкостные ванны, расхаживание, ясс,
гидроимпульсный способ, дифференциальный прихват.

Прихват — это потеря подвижности колонны труб в осевом направлении и вокруг своей оси при приложении нагрузок сверх собственного веса с учётом запаса прочности. Промысловый анализ по месторождениям Среднего Приобья за 2005–2009 гг. показал, что прихват бурильной колонны — один из самых распространённых видов аварий при бурении. По данным современных исследований, прихваты составляют более половины инцидентов при заканчивании скважин, а среднее время их ликвидации достигает 258 ч для бурильных колонн; в ряде случаев колонну извлечь не удаётся и скважину приходится перебуривать, оставляя в ней компоновки с телеметрическими системами. Этим обусловлена практическая значимость анализа методов освобождения застрявших колонн.

Прихваты традиционно разделяют на три группы: под действием перепада давления, вследствие заклинивания и при нарушении циркуляции промывочной жидкости. Практика показывает, что оставление колонны без движения более 5–20 минут может привести к осложнению прихвата, а типовые ошибки буровых бригад усугубляют аварию. Поэтому ключевой фактор успешности — фактор времени: определение верхней границы прихвата, восстановление циркуляции, расхаживание с допустимыми нагрузками и периодическое отбивание ротором должны выполняться по систематизированной схеме первоочередных действий. Место прихвата определяется по удлинению свободной части колонны расчётным путём либо прихватоопределителем, работающим на принципе магнитных меток на намагниченных участках труб.

1. Расхаживание и проворачивание ротором — простейший и первый метод, применимый при небольших затяжках и прихватах; нагрузки лимитируются прочностью труб и состоянием талевой системы.

2. Жидкостные ванны — наиболее распространённый способ при сохранении циркуляции. Нефтяная ванна устанавливается не позже 3–5 ч после возникновения прихвата; объём нефти рассчитывается из перекрытия интервала прихвата с подъёмом верхней границы на 50–100 м, эффективность повышают добавки ПАВ, продолжительность действия — не менее 15 ч. Водяная ванна применяется в устойчивых породах, кислотная — в карбонатных породах; для алюминиевых труб кислотные ванны запрещены.

3. Современные составы ванн. Перспективным направлением является применение многофункциональных реагентов: флотореагент-оксаль в комбинации с солевыми и кислотными ваннами рекомендован для ликвидации всех категорий прихватов, скорость пропитки им увлажнённой пористой среды выше, чем нефтью. Лабораторное тестирование составов на границе «металл — глинистая корка» показало, что ванна на основе гликолей превосходит традиционную углеводородную.

4. Гидроимпульсный способ — основан на резком снятии созданного в колонне давления, при котором поток жидкости размывает фильтрационную корку или сальник в зоне прихвата; эффективен при герметичной колонне.

5. Ударные механизмы (ясси) и взрывная «встряска» — ясси (ГУМ, ВУК) разрушают связь прихваченной части колонны со стволом за счёт накопленной ударной энергии; торпеда из детонирующего шнура «встряхивает» трубы и отрывает их от стенки, а при невозможности извлечения — ослабляет резьбовое соединение для отвинчивания свободной части ротором.

6. Развинчивание и обход. При неудаче колонну развинчивают по частям трубами с левой резьбой либо оставляют в скважине с уходом ствола в сторону. Для сохранения свободной части колонны в конструкцию включаются противоаварийные безопасные переводники-разъединители со степенью срабатывания до 99%.

Анализ показывает, что выбор метода освобождения застрявшей бурильной колонны определяется категорией прихвата, состоянием циркуляции и фактором времени: чем раньше начаты действия, тем выше вероятность успешной ликвидации. Наибольшей универсальностью обладают жидкостные ванны, эффективность которых растёт при переходе к целенаправленно синтезируемым составам. Устойчивая

тенденция — предупреждение аварий: снижение перепада давления, минимизация площади контакта колонны со стенкой, включение в компоновку яссов и разъединителей, что сокращает непроизводительное время строительства скважин.

Список использованной литературы:

1. Кузнецов В. Г., Липатов Е. Ю. Первоочередные действия при ликвидации прихвата бурильной колонны // Территория «Нефтегаз». — 2010. — № 12. — С. 20–23.
2. Mitchell R. Trouble-Free Drilling: Stuck Pipe Prevention. — 3rd ed. — The Woodlands, TX: Drillbert Engineering, 2014.

© Мовламов Д., Хуммиев А., Хаджыев А., 2026

УДК 62

Мовламов Д.,
Преподаватель,
Хуммиев А.,
Преподаватель,
Датдовов О.,
Преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

СВЕРХДЛИННЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ СКВАЖИНЫ И МНОГОСТАДИЙНЫЙ ГРП КАК БАЗОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОСВОЕНИЯ ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ

Аннотация

Рассмотрены современные тенденции применения сверхдлинных горизонтальных скважин (ГС) с многостадийным гидроразрывом пласта (МГРП) при вовлечении в разработку трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ). Показано, что рост длины горизонтального ствола и числа стадий ГРП остаётся основным технико-экономическим рычагом рентабельной разработки низкопроницаемых коллекторов, однако его эффективность определяется комплексом факторов: точностью позиционирования ствола в «окне» коллектора, качеством заканчивания, дизайном крепления трещин и схемой разработки.

Ключевые слова:

трудноизвлекаемые запасы; горизонтальная скважина; многостадийный гидроразрыв пласта; низкопроницаемый коллектор; баженовская свита; роторно-управляемая система; заканчивание скважин; импортозамещение.

В структуре остаточных запасов нефти устойчиво растёт доля ТРИЗ, сосредоточенных в низкопроницаемых (1–3 мД и менее) и неоднородных коллекторах [1]. Для таких объектов вертикальные скважины экономически неэффективны: базовым решением стало бурение протяжённых ГС с проведением МГРП — на отечественных месторождениях длина ствола достигает 1500–2000 м, число стадий — 12 и более [2].

Мировой опыт подтверждает высокую чувствительность добычных показателей к длине ствола: на сланцевых месторождениях США рост длины ГС с МГРП в 1,64 раза в 2015–2022 гг. сопровождался ростом дебитов в 2,44 раза, причём часть эффекта обеспечило параллельное увеличение интенсивности ГРП. Вместе с тем простой перенос формулы Джоши и её аналогов даёт заниженную оценку потенциала длинных стволов, что смещает проектные решения в сторону неоправданного ограничения их длины.

Промысловый анализ (Кондинское месторождение, объект АС10/1) показал, что оптимум определяется не максимумом параметров, а их согласованностью: для ГС длиной 1000 м рациональное число стадий ограничено 7–8, а дальнейшее наращивание числа ГРП без пропорционального роста длины ствола не даёт прироста эффективности [3].

Существенная проблема — быстрое падение дебитов сверхнизкопроницаемых коллекторов: на баженовской свите первые 6–12 месяцев работы дебиты снижаются на 70–80 % вследствие истощения пластового давления и деградации проводимости трещин. Это диктует специальные режимы вывода скважин на режим (плавное наращивание депрессии, контроль выноса проппанта) и учёт осложнений при механизированной добыче [2].

Бурение сверхдлинных стволов в условиях санкционных ограничений требует отечественных роторно-управляемых систем (РУС) и систем каротажа в процессе бурения (MWD/LWD). Перспективы создания российской высокотехнологичной компоновки низа бурильной колонны и опыт промышленных испытаний отечественных РУС показывают, что замещение зарубежных решений по геонавигации уже реализуемо.

В части заканчивания тренд — переход к растворимым и равнопроходным системам МГРП, позволяющим отказаться от фрезерования растворяемых элементов и сократить время освоения скважины. Для неоднородных разрезов актуальны селективные пакерные системы и компоновки типа fishbone, применяемые на многозабойных скважинах Восточной Мессояхи [1].

Выводы: 1. ГС с МГРП — базовая технология разработки ТРИЗ, однако её эффективность определяется согласованием длины ствола, числа стадий и удельной массы проппанта, а не максимизацией каждого параметра в отдельности; 2. Оптимальные параметры зависят от свойств объекта: для сверхнизкопроницаемых свит (Бажен) характерны длинные стволы и 15–25 стадий; для низкопроницаемых терригенных коллекторов рациональны умеренные длины (около 1000 м) с ограниченным числом ГРП; 3. Устойчивость технологии в долгосрочной перспективе обеспечивается импортозамещением РУС, телеметрии и оснастки МГРП, а также переходом от моделирования отдельных скважин к площадному моделированию участков с межскважинной интерференцией трещин.

Список использованной литературы:

1. Билинчук А.В., Крупеников В.Б., Наговицын В.М., Пильник С.В., Дацковский Е.В., Сугайпов Д.А. Современные технологии и оборудование для бурения горизонтальных скважин, многоствольных скважин и горизонтальных скважин с МГРП // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. — 2026. — № 5(401). — С. 49–60.

2. Ющенко Т.С., Демин Е.В., Хабибуллин Р.А., Сорокин К.С., Хачатурян М.В., Байков И.В., Гатин Р.И. Особенности эксплуатации скважин баженовской свиты с протяжённым горизонтальным стволом и многостадийным ГРП // PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти. — 2022. — Т. 7, № 1. — С. 72–88. — DOI: 10.51890/2587-7399-2022-7-1-72-88.

3. Анализ эффективности горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом пласта на примере Кондинского месторождения // Нефтегазовое дело. — 2023. — Т. 21, № 1. — С. 39–50.

© Мовламов Д., Хуммиев А., Датдовов О., 2026

УДК 62

Мовламов Д.,
Преподаватель,
Мезилова Г.,
Преподаватель,
Хуммиев А.,
Преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

НОВЫЕ СХЕМЫ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА НА СВЕРХНИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ПОРОДАХ

Аннотация

Рассмотрены новые технологические схемы многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП), применяемые при освоении сверхнизкопроницаемых коллекторов — прежде всего баженовской свиты и ачимовских залежей. Показано, что традиционные подходы к дизайну ГРП, ориентированные на создание доминирующей трещины, не обеспечивают рентабельной разработки пород с проницаемостью менее 0,1 мД: эффективность определяется созданием развитой сети микротрещин в объёме матрицы.

Ключевые слова:

гидроразрыв пласта, сверхнизкопроницаемый коллектор, баженовская свита, ачимовские отложения, трудноизвлекаемые.

Сверхнизкопроницаемые породы (проницаемость 0,01–0,1 мД и ниже) — дометаморфизованные глинистые и кремнисто-карбонатные отложения баженовской свиты, ачимовские толщи, тюменская свита — требуют принципиально иной логики стимуляции, чем терригенные коллекторы. Классический дизайн ГРП «доминирующая трещина большой проводимости» здесь не работает: приток ограничен не проводимостью трещины, а скоростью фильтрации из матрицы. Задача технологии — создать в объёме пласта максимально разветвлённую сеть каналов и увеличить площадь контакта с породой [1, 2].

Новые схемы закачки: переменная вязкость и жёсткие экраны

Ключевое новшество последних лет — схемы с чередованием закачки проппанта, смешанного с гелем высокой и низкой вязкости. Гель высокой вязкости создаёт сложную сеть микротрещин и предотвращает их смыкание, а гель низкой вязкости, закачиваемый следом, проникает в тонкие каналы и доводит проппант до забоя, предотвращая закрепление проппантной пробки в стволе. По данным «Роснефти», применение такой технологии на баженовской свите позволило получить дебиты до 200 т нефти в сутки — существенно выше типовых показателей для этих объектов [1].

Родственный приём — жёсткие проппантные экраны и демпфирующие среды: они локализуют зону первичного разрыва и перераспределяют энергию закачки на формирование разветвлённой сети. Эффект усиливается при точечных (mini-stage) ГРП с малыми объёмами на порт: большее число стадий меньшего объёма обеспечивает более равномерный охват ствола и снижает риск доминирования одной трещины [2].

Комбинированные воздействия и кислотные обработки

Для кремнисто-карбонатных разрезов перспективны кислотные обработки матрицы: кислота расширяет естественные микротрещины и создаёт дополнительные каналы фильтрации без закачки проппанта. Мировой опыт показывает, что комбинация кислотной обработки с ГРП на кислотной основе даёт больший прирост, чем последовательное применение этих операций по отдельности [3]. Для

участков со сложным напряжённым состоянием применяются комбинированные воздействия — сочетание гидроразрыва, кислотной обработки и вибрационных технологий, направленное на разрушение перемычек между пропластками.

Селективность и адаптация к неоднородности

Отдельное направление — селективная стимуляция в неоднородных разрезах: поинтервальная диагностика (спектральный шум, термометрия, ГДИ), выборочное повторное ГРП и temporarily отключение обводнившихся портов. На баженовской свите промысловые данные показывают, что после первых 6–12 месяцев работы дебиты скважин с МГРП снижаются на 70–80 %, поэтому повторные и селективные операции становятся обязательным элементом жизненного цикла скважины, а не разовой мерой.

Выводы:

1. Для сверхнизкопроницаемых пород целевой результат ГРП — не одиночная трещина, а разветвлённая сеть микроканалов; ключевая метрика — площадь контакта с матрицей.

2. Наиболее перспективные схемы: чередование проппанта с гелями высокой и низкой вязкости, жёсткие проппантные экраны, точечные МГРП с малыми объёмами на порт.

3. Для неоднородных разрезов обязательны селективные операции и повторные обработки на поздней стадии эксплуатации — быстрая динамика падения дебитов делает их экономически оправданными.

4. Дизайн ГРП следует выбирать по фактическим ФЕС и геомеханике объекта: универсальные «отраслевые» рецепты для сверхнизкопроницаемых пород не работают.

Список использованной литературы:

1. «Роснефть» разработала новую технологию гидроразрыва пласта [Электронный ресурс] // Neftegaz.RU. — 2024. — URL: neftegaz.ru.

2. Огнева А.С., Фёдоров А.Э., Антонов М.С., Смолянец Е.Ф., Сергейчев А.В. Эволюция развития технологий разработки трудноизвлекаемых запасов нефти США // Нефтегазовое дело. — 2020. — Т. 18, № 2. — С. 24–37. — DOI: 10.17122/ngdelo-2020-2-24-37.

3. Ali Daneshy. Hydraulic Fracturing of Hard Formations and the Geomechanics of Acoustic Non-Damaging Stimulation // SPE-214024-PA (accepted for publication, 2024). — DOI: 10.2118/214024-PA.

© Мовламов Д., Мезилова Г., Хуммиев А., 2026

УДК 62

Мовламов Д., преподаватель,
Атаев Ю., преподаватель,
Хуммиев А., преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ СКВАЖИНЫ И БУРОВОЙ УСТАНОВКИ: АРХИТЕКТУРА, ПРИМЕНЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Аннотация

Рассмотрены современные подходы к построению цифровых двойников (ЦД) скважины и буровой установки как элементов сквозной цифровизации строительства скважин.

Ключевые слова:
цифровой двойник; бурение; строительство скважин; буровая установка; автоматизация; телеметрия; центр управления бурением.

Цифровой двойник — это виртуальное представление актива, процесса или системы, фиксирующее параметры и поведение объекта в режиме реального времени с целью максимизации фондоотдачи основных фондов. Толчком к практическому распространению технологии стали мультисенсоризация отрасли (сенсоры нефтегазового интернета вещей передают до 1000 измерений в минуту) и накопление больших геоданных: объём данных, получаемых с одной скважины с распределёнными оптоволоконными сенсорами, превышает 10 ТБ в сутки. Типовой ЦД бурения строится на математических моделях двух классов: гидравлических (описание фильтрационных потоков и циркуляции раствора) и механических (крутящий момент, сопротивление движению колонны). Цель — моделирование процесса бурения и принятие ключевых решений в режиме реального времени, включая оценку рисков при бурении в сложной и неопределённой геологической среде, контроль спуска обсадных колонн и цементирования. ЦД обеспечивает непрерывное сопоставление прогнозных и фактических показателей, что позволяет выявлять отклонения и сбои на ранней стадии.

Значимый пример — цифровой комплекс полного цикла строительства скважин, реализованный совместно ООО «РигИнтел» и сервисными компаниями: Digital Twin обеспечивает все бизнес-процессы от планирования до сдачи скважины в эксплуатацию, создавая единое цифровое пространство для всех участников строительства — от буровой до центра управления бурением. Система адаптирована к существующему парку буровых установок; цифровая программа бурения формируется в инженерном симуляторе и конвертируется в набор показателей для автоматической проводки ствола по заданным траектории и режимам.

ЦД скважины — виртуальный аналог реального объекта, воспроизводящий его состояние в разные моменты жизненного цикла; фактически это структурированный массив данных, полученных на этапах проектирования, бурения, освоения и эксплуатации. Качественное наполнение модели объективной информацией повышает эффективность производственных процессов и достоверность прогнозов режимов работы скважины. Ключевое условие результативности — максимальная синхронизация технико-технологических процессов разработки и проектов строительства скважин: оперативная корректировка режимов бурения, сопоставление проектных решений с показателями в реальном времени и пополнение модели фактическими данными. В добыче цифровые двойники элементов системы «пласт — скважина — насосная установка» используются для предиктивного анализа работы оборудования в осложнённых условиях: умный ЦД должен соответствовать физическому оригиналу не менее чем на 95 %, а модель призабойной зоны должна учитывать влияние осложняющих факторов на наработку до отказа. Элементы цифрового двойника применяются и в управлении газодобычей крупных месторождений. Мировой опыт демонстрирует измеримый эффект: применение цифрового двойника при строительстве нетрадиционных скважин в Северной Америке позволило ускорить их сооружение за счёт симуляции операций и исключения непроизводительного времени. В проектах отмечается, что благодаря ЦД ускорено бурение сложных многозабойных скважин (более чем на 20 %), а оптимизация режимов бурения и добычи может повысить добычу на 20–25 % и почти вдвое сократить непроизводительные простои. Основные ограничения технологии: потребность в межфункциональных командах со специалистами по искусственному интеллекту, суперкомпьютерных мощностях и системах сбора и передачи больших данных; инерция IT-ландшафта заказчика; риск фрагментации решений разных вендоров. По оценкам авторов обзора ИПНГ РАН, применение цифровых двойников позволяет сократить количество ошибок при проектировании и анализе в 2–3 раза.

Выводы: 1. Цифровые двойники скважины и буровой установки образуют связку, покрывающую

весь жизненный цикл объекта; их ценность определяется качеством и непрерывностью синхронизации с фактическими данными; 2. Наибольший эффект достигается при интеграции ЦД с автоматизацией проводки ствола и центрами управления бурением — отечественные решения полного цикла уже реализованы; 3. Внедрение целесообразно вести поэтапно: сначала двойник процесса бурения и сопоставление план/факт, затем предиктивные модели оборудования, далее — платформенные решения уровня месторождения.

Список использованной литературы:

1. Сучок С.Н., Коренев Р.В., Кушманов П.В. Цифровой двойник бурения как операционная среда повышения эффективности процесса строительства скважин // Бурение и нефть. — 2021. — № 11. — С. 32–37.
2. Цифровые двойники и предиктивный анализ работы установок ЭЛН в осложнённых условиях // Neftegaz.RU. — 2021. — № 4.

© Мовламов Д., Атаев Ю., Хуммиев А., 2026

УДК 62

Мовламов Д.,
Преподаватель,
Сапаров Б.,
Преподаватель,
Хаджыев А.,
Преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ И ПЛАНИРОВАНИИ СКВАЖИН

Аннотация

Рассмотрены современные направления применения искусственного интеллекта (ИИ) и методов машинного обучения на двух этапах нефтегазового цикла — геологоразведочных работах и планировании скважин.

Ключевые слова:
искусственный интеллект; машинное обучение; нейронные сети;
геологоразведочные работы; сейсмическая интерпретация.

Эпоха «лёгкой нефти» завершилась: доля трудноизвлекаемых и сложно устроенных запасов в портфелях компаний растёт, а цена ошибки при размещении и проектировании скважин достигает сотен миллионов рублей на объект. Традиционный цикл «инженер перебирает варианты в симуляторах» перестал отвечать темпу принятия инвестиционных решений. Ответом стал переход к методам искусственного интеллекта: машинное обучение уже применяется для интерпретации сейсмических данных, прогноза свойств пород и массового проектирования скважин, а нейросетевые технологии переходят из категории экспериментальных в число обязательных инструментов повышения экономической эффективности геологоразведочных работ. Основная область применения ИИ в ГРР — комплексная интерпретация сейсмики, ГИС и керна. Архитектуры глубоких сетей (CNN, RNN, DNN) демонстрируют высокую точность в задачах классификации литофаций, прогнозирования коллекторских

свойств и картирования разломов, сокращая время интерпретации и снижая долю субъективного фактора. Практический пример — построение прогнозных кубов пористости и насыщенности на основе AVO-анализа, синхронной сейсмической инверсии и нейросетевого прогноза: для сложнопостроенных коллекторов Западной Сибири такой подход позволил обосновать нефтегазонасыщенные интервалы с вероятностной оценкой 50–95 % и наметить заложение поисковых скважин даже в условиях малой разбуренности площади.

Альтернативное направление — фациальное моделирование с машинным обучением: для пластов ПК19–20 нижней части покурской свиты нейросетевой прогноз распределения фаций подтвердился при бурении 17 скважин, причём наибольшее преимущество перед стандартным моделированием «коллектор/неколлектор» показано в прогнозе газонасыщенных толщин. Перспективен и переход от прямого анализа томографических изображений керна к компактным статистическим дескрипторам: нейросеть, обученная на корреляционных функциях порового пространства, предсказывает полный тензор проницаемости за доли секунды со средней ошибкой 16,6 % — это открывает путь к экспресс-оценке коллекторов при массовом анализе образцов.

Второй контур применения ИИ — проектирование скважин. «Газпром нефть» внедрила ИИ-агента для планирования бурения: система за час генерирует до тысячи вариантов расстановки и конструкций скважин, тогда как инженерная команда затрачивала на это около недели; расчёты ускорились в пять раз, агент обучен на терабайтах данных гидродинамических симуляций и объединяет машинное обучение со строгими законами физики пласта, учитывая взаимовлияние скважин. Технология протестирована на трёх промыслах ХМАО и ЯНАО. Более «классические» задачи — прогноз механической скорости проходки, подбор режимов бурения, раннее распознавание осложнений (поглощения, прихваты, ГНВП) по косвенным признакам и геонавигация при определении положения долота относительно продуктивного пласта. Отраслевые обзоры фиксируют, что внедрение ИИ-решений способно снизить затраты на бурение на 10–15 % и ускорить принятие решений за счёт обработки потоковых данных в реальном времени; систематизированный анализ архитектур нейросетей для задач нефтегазовой геологии приведён в.

Опыт внедрения выявляет системные риски. Во-первых, алгоритм находит статистические связи, которые эксперт-геолог забраковал бы (сбой датчика, смещение координат), — и цифровая ошибка конвертируется в реальные затраты. Во-вторых, качество прогноза определяется полнотой и чистотой обучающих данных, которых на ранних стадиях ГРР заведомо мало. В-третьих, сохраняется проблема доверия: специалисты скептически относятся к полностью автоматизированным рекомендациям, поэтому работоспособны гибридные схемы, где ИИ генерирует варианты, а человек принимает решение [6]. Наконец, массовое проектирование требует физической согласованности моделей: учёт изменения давления в соседних скважинах показал, что «чистый» ML без законов гидродинамики не работает.

Выводы: 1. ИИ в геологоразведке даёт измеримый эффект в прогнозе ФЕС, фациальном моделировании и экспресс-оценке свойств пород, снижая долю субъективного фактора и время интерпретации; 2. В планировании скважин ключевая ценность — массовая генерация и оптимизация вариантов с учётом межскважинной интерференции; успешные отечественные решения уже прошли промысловое тестирование; 3. Устойчивое внедрение возможно только при связке «ИИ + физика пласта + экспертный контроль» и управлении качеством обучающих данных.

Список использованной литературы:

1. Алфимов Г.Д. Развитие технологий искусственного интеллекта и машинного обучения в нефтегазовом комплексе // Экономика и бизнес: теория и практика.- 2024.- № 5-1.-С. 18-21.- DOI: 10.24412/2411-0450-2024-5-1-18-21.

2. Хусаинов Г.В. Интеграция фациальной модели и машинного обучения для прогнозирования коллекторских свойств // Деловой журнал Neftegaz.RU. — 2025. — № 11. — С. 44–49.

© Мовламов Д., Сапаров Б., Хаджыев А., 2026

УДК 62

Мовламов Д.,
Преподаватель,
Сапаров Б.,
Преподаватель,
Хуммиев А.,
Преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

ЗАМКНУТЫЙ ЦИКЛ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ И КОНТРОЛЬ МЕТАНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СКВАЖИН

Аннотация

Рассмотрены технологические и экологические аспекты организации замкнутого цикла буровых растворов и контроля метана при строительстве скважин.

Ключевые слова:

буровой раствор, замкнутый цикл, замкнутая циркуляционная система, очистка бурового раствора, регенерация, буровой шлам, дегазация, метан, мониторинг выбросов.

Бурение скважин остаётся основным видом работ при разведке и добыче углеводородов и одновременно — значимым источником техногенного воздействия: отходы бурения (шлам, отработанные растворы, сточные воды) сложны по составу и содержат нефтепродукты и токсичные реагенты. При этом при вскрытии газонасосных интервалов раствор насыщается метаном, создавая риски выбросов и аварий. Совместное решение двух задач — организации замкнутого цикла растворов и контроля метана — определяет современный облик экологически безопасного бурения.

Основу замкнутого цикла составляет многоступенчатая очистка: вибросита удаляют крупную фракцию выбуренной породы, песко- и илоотделители — частицы средней дисперсности, центрифуги — тонкодисперсную фракцию с восстановлением жидкой фазы. Опыт эксплуатации полупогружных буровых установок на Ленинградском и Южно-Киринском месторождениях шельфа показал эффективность многоступенчатой очистки 80–95 %; шлам и некондиционный раствор в герметичных ёмкостях вывозятся на берег для утилизации, а дорогостоящие растворы на углеводородной основе подвергаются регенерации для повторного использования. На суше пилотные проекты замкнутых систем циркуляции, реализованные в структуре «Газпрома» на Уренгойском и Заполярном месторождениях, дали степень регенерации жидкой фазы 85–90 %, экономию цемента 20–25 % при повторном использовании тампонажных смесей и экономический эффект 15–25 млн руб. на куст скважин при окупаемости оборудования за 2–3 буровых сезона. Экологический эффект складывается из исключения сброса загрязнённых жидкостей, сокращения землеотвода под шламовые амбары и снижения риска загрязнения грунтовых вод.

Перспективное направление интенсификации цикла — обработка раствора физическими полями. Омагничивание в постоянном магнитном поле (2200 Э) в замкнутом контуре увеличивает вязкость раствора до 20 %, снижает водоотдачу вдвое и повышает интенсивность выпадения шлама до 30 %; развиваются шестиступенчатые мобильные системы очистки с магнитозвуковым устройством. Замыкает цикл рециклинг шлама: из отходов бурения в полевых условиях с обжигом попутным газом получают алюмосиликатный пропант, что сокращает объём отходов и возвращает в оборот земли, занимаемые отвалами. Метан — парниковый газ с глобальным потенциалом потепления в 28–34 раза выше, чем у углекислого газа, а его среднеглобальная концентрация достигла 1934 ppb (около 265 %

доиндустриального уровня). В контуре бурения метан поступает из вскрываемых газонасыщенных пластов, накапливается в растворе и на устье скважины; обязательный элемент ЗЦС — дегазаторы, удаляющие газовые включения из раствора до его возврата в оборот, а также контроль загазованности в опасных зонах. Мониторинг метана развивается по трём уровням. Локальный — оптико-электронные сенсоры на узкополосных ИК-источниках: компактные, пожаробезопасные, с ультранизким энергопотреблением и сроком службы свыше 5 лет, интегрируемые в существующую инфраструктуру. Средний — распределённые беспроводные сенсорные сети, способные не только обнаруживать, но и локализовать утечку с точностью до 10 м на удалённых объектах. Глобальный — спутниковое детектирование: алгоритм обработки данных Sentinel-2 выявляет выбросы порядка 200–300 кг/ч и позволяет отслеживать «супер-эмиттеров» в реальном времени. Регуляторное давление усиливается: Регламент ЕС 2024/1787 вводит обязательные LDAR-обходы и ограничения на вентинг, стандарт OGMP 2.0 задаёт эталон измерения и отчётности.

Выводы: 1. Замкнутый цикл буровых растворов технически зрел: многоступенчатая очистка с регенерацией обеспечивает возврат 85–90 % жидкой фазы в оборот и окупается за 2–3 буровых сезона; 2. Контроль метана должен встраиваться в цикл изначально — от дегазации раствора и сенсоров загазованности на устье до распределённых сенсорных сетей и спутниковой верификации выбросов; 3. Наибольший эффект даёт интеграция: объединение данных очистки раствора, дегазации и мониторинга метана в едином контуре управления с отчётностью по международным стандартам MRV.

Список использованной литературы:

1. Третьяк А.Я., Литкевич Ю.Ф., Кривошеев К.В. Мобильная циркуляционная система для очистки бурового раствора // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море.- 2024.- № 4(376). - С. 15–20.
2. Момени М.А., Брусник О.В., Нургалиев А.И., Назарова А.А., Шадрина А.В. Технологии экологического мониторинга выбросов в нефтегазовой отрасли: сравнительный анализ и перспективы интеграции // Neftegaz.RU. - 2025. - № 10.

© Мовламов Д., Сапаров Б., Хуммиев А., 2026

УДК 62

Мовламов Д.,
Преподаватель,
Атаев Ю.,
Преподаватель,
Ханмырадов А.,
Преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

РЕМОНТНО-ИЗОЛЯЦИОННЫЕ РАБОТЫ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОНДА СТАРЫХ СКВАЖИН НА ВЫРАБОТАННЫХ ПЛОЩАДЯХ

Аннотация

Рассмотрены ремонтно-изоляционные работы (РИР) и технологии восстановления бездействующего фонда скважин на выработанных площадях поздней стадии разработки.

Ключевые слова:
ремонтно-изоляционные работы; ограничение водопритока;
бездействующий фонд; зарезка боковых стволов; сшитые.

Бóльшая часть активных запасов крупных месторождений выработана, и объекты находятся на поздней стадии разработки; при этом в застойных зонах и линзах остаётся значительное количество невыработанных запасов, а бездействующие и нерентабельные скважины достигают шестой части добывающего фонда. Поддержание добычи на зрелых площадях смещается к управлению фондом: изоляции воды, восстановлению герметичности, возврату скважин в работу и зарезке боковых стволов из существующих материнских стволов. Ремонтно-изоляционные работы (РИР) — комплекс мероприятий по улучшению работы скважин в аварийном состоянии или при преждевременном обводнении продукции; к основным задачам относятся отключение обводнённых пластов, селективная изоляция водопритока, ликвидация заколонных перетоков и восстановление герметичности эксплуатационной колонны.z Обязательные требования к тампонирующим составам: полное заполнение каналов поступления воды, образование барьера, устойчивого к действующей депрессии, химическая инертность к металлу и породе, низкая стоимость и экологическая безопасность. Методы делятся на неселективные и селективные. Для селективной изоляции водопритоков с карбонатными коллекторами разработаны безводные тампонажные растворы на углеводородной основе, подтвердившие высокие изоляционные свойства на месторождениях Оренбургской и Тюменской областей. В трещиноватых карбонатных коллекторах традиционные для терригенных разрезов технологии не универсальны: эффективны кремнийорганические тампонажные материалы, вязкопластичные силикатные гели и водонабухающие эластомеры в составе пакеров. Современный тренд — предварительно сформованные частицы-гели, решающие ключевую проблему in situ-систем — неконтролируемости гелеобразования в пласте: частицы закачиваются готовыми, заполняют промоины и трещины, а модификация наночастицами повышает термическую и солевую устойчивость составов в жёстких пластовых условиях. Опытно-промысловые испытания пенно-полимерного состава с гидрогелевым вспомогательным раствором в терригенных и карбонатных пластах (2024 г.) показали снижение обводнённости с 99 до 74 и 35% при росте дебита нефти с 0,2 до 2 т/сут . Промышленно подтверждённый пример сшитых полимерных систем — месторождения Северного моря и Кувейта, где обработки обеспечили снижение добычи воды на тысячи баррелов в сутки.

Работа с неработающим фондом строится как бизнес-процесс: актуализация причин бездействия, селекция кандидатов, формирование портфеля геолого-технических мероприятий. Рекомендуемые мероприятия подразделяются на «лёгкие» (смена ЭЦН, обработка призабойной зоны, восстановление циркуляции) и «тяжёлые» (ликвидация аварий, ликвидация негерметичности эксплуатационной колонны, зарезка боковых стволов, поинтервальные работы). На Самотлорском месторождении реализован системный подход: восстановление системы разработки в зонах локализации остаточных извлекаемых запасов (карты остаточных нефтенасыщенных толщин), формирование новых очагов заводнения с возвратом бездействующих скважин в добычу и переводами под закачку; из 42 предложенных очагов принято к реализации 18 участков с выполнением 24 мероприятий по выводу из бездействия. Зарезка боковых стволов из бездействующего фонда почти вдвое дешевле строительства новых скважин и позволяет вовлекать недренируемые запасы; системное применение технологии на зрелых площадях приравнивается по эффекту к открытию нового месторождения. При зарезках в осложнённых условиях применяются тампонажные составы и контейнерный способ изоляции водонасыщенных интервалов.

На выработанных площадях связка «РИР + восстановление фонда» становится главным инструментом поддержания добычи: изоляционные технологии снижают обводнённость и восстанавливают герметичность, а селекция кандидатов по картам остаточных запасов переводит бездействующий фонд из балласта в резерв. Ключевые условия успеха — дифференцированный выбор

изоляционных составов под тип коллектора, оценка взаимовлияния добывающих и нагнетательных скважин (эффект ОВП может быть «съеден» работой близлежащей скважины ППД) и экономическая селекция мероприятий. Первоочередные задачи — стандартизация критериев отбора скважин под РИР и ВБД, накопление корпоративной статистики успешности обработок по типам составов и дальнейшее развитие экологически безопасных, самодеградируемых изоляционных систем.

Список использованной литературы:

1. Муслимов Р. Х. Современные эффективные технологии разработки трудноизвлекаемых запасов нефти. — Казань: Фэн, 2016.

2. Управление неработающим фондом на зрелом месторождении (на примере Самотлорского месторождения) // Neftegaz.RU. — 2025. — № 8.1. — URL.

© Мовламов Д., Атаев Ю., Ханмырадов А., 2026

УДК 004.896

Овезова О.
преподаватель,
институт Телекоммуникаций и информатики Туркменистана,
г. Ашхабад, Туркменистан

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Аннотация

Рассмотрены методы построения адаптивных систем управления манипуляторами, функционирующих при изменении массы переносимого груза, трения и других параметров, а также при наличии внешних возмущений.

Ключевые слова:

адаптивное управление, неопределённость, нейро-нечёткая система, ANFIS, робастность, манипулятор.

Ovezova O.
Lecturer,
Institute of Telecommunications and Informatics of Turkmenistan,
Ashgabat, Turkmenistan

INTELLIGENT ADAPTIVE CONTROL SYSTEMS FOR MANIPULATORS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Abstract

Methods are examined for designing adaptive control systems for manipulators that operate under conditions of varying payload mass, friction, and other parameters, as well as in the presence of external disturbances.

Keywords:

adaptive control, uncertainty, neuro-fuzzy system, ANFIS, robustness, manipulator.

Манипуляционный робот является многосвязным нелинейным объектом, параметры которого

изменяются в процессе эксплуатации: масса и положение центра тяжести груза, трение в передачах, износ редукторов, температурные эффекты. Регуляторы с фиксированными коэффициентами при этом либо теряют точность, либо вынуждены работать с запасом, снижающим быстродействие. Адаптивные системы, настраивающие свои параметры в реальном времени, позволяют сохранить качество управления без повторной ручной настройки.

Классические и интеллектуальные адаптивные структуры

Классическое адаптивное управление строится на линейной параметризации динамики манипулятора и законе настройки оценок параметров, обеспечивающем устойчивость по Ляпунову. Его ограничением является необходимость точной структуры модели. Интеллектуальные методы снимают это требование: нейронная сеть аппроксимирует неизвестные нелинейности, а её веса настраиваются онлайн по сигналу ошибки слежения. Нечёткие регуляторы адаптируют положение и форму функций принадлежности либо базу правил; нейро-нечёткие системы (ANFIS) объединяют прозрачность нечёткого вывода и способность нейросетей к обучению.

Робастность и устойчивость

Ключевым требованием к адаптивному регулятору является ограниченность всех сигналов замкнутой системы. Для её обеспечения в законы настройки вводят модификации: проекцию весов, зону нечувствительности по ошибке, затухание (σ-модификацию). Скользящее управление, дополненное нейросетевой или нечёткой оценкой возмущений, уменьшает амплитуду высокочастотных колебаний (чаттеринг) за счёт снижения необходимого коэффициента переключающей составляющей. Такая структура сохраняет робастность к неучтённой динамике и обеспечивает плавность управляющих воздействий.

Результаты и ограничения

Моделирование и эксперименты, описанные в литературе, показывают снижение ошибки слежения при изменении массы груза в несколько раз по сравнению с регуляторами с фиксированными параметрами. Вместе с тем интеллектуальные адаптивные системы требуют аккуратной настройки скоростей адаптации, чувствительны к шуму измерений и увеличивают вычислительную нагрузку на контроллер. Для промышленного применения необходимы процедуры верификации, включающие проверку работы при предельных значениях параметров.

Заключение

Интеллектуальные адаптивные системы повышают точность и надёжность управления манипуляторами в условиях неопределённости. Наиболее обоснованным является сочетание базового регулятора, доказуемо устойчивого закона адаптации и обучаемого компенсатора. Перспективы связаны с онлайн-диагностикой износа и предиктивной адаптацией параметров регулятора.

Список использованной литературы:

1. Slotine J.-J.E., Li W. Applied Nonlinear Control. — Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1991.
2. Ходжанепесов К.А., Сарыгулов С.Х., Чарыев А.Б., “Искусственный интеллект в образовании: возможности и перспективы”. Международный научный журнал “Символ науки”, # 6-2/2024. 133-135 с.
3. Багшиев А.А., Чарыев А.Б., Гарадурдыев М.Дж., “Определение динамической структуры манипулятора”. “современные исследования как фактор роста и развития” сборник статей VI Международной научно-практической конференции, состоявшейся 16 апреля 2024 г. 47-50 с.
4. Багшиев А.А., Ходжанепесов К.А., Чарыев А.Б., “Примеры использования искусственного интеллекта при управлении промышленным роботом-манипулятором”. Международный научно электронный журнал “Наука и мировоззрение” Сентябр 2024, №19.
5. Чарыев А.Б., Шайымов С.С., Атанепесов Б.Н. Методы современной методики преподавания «STEM» // Лучшая исследовательская работа 2023: сборник статей. — 2023. — С. 45.

© Овезова О., 2026

УДК 62

Реджепова Г.,
Старший преподаватель,
Шохрадова М.,
Преподаватель,
Ашыров Ю.,
Студент,
Сейидов М.,
Студент,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

ОБЗОР И ОПТИМИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ СХЕМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Аннотация

Рассмотрены два направления интенсификации подготовки руды к обогащению: конусные дробилки нового поколения с изменяемой частотой эксцентрика, а также валковые прессы высокого давления, реализующие межчастичное разрушение материала в сжатой подушке.

Ключевые слова:

измельчение; конусная дробилка, валковый пресс высокого давления, HPGR, межчастичное разрушение, микротрещины.

Рост цен на энергию и переход к переработке бедных руд сделали энергопотребление измельчительного передела главной статьёй эксплуатационных затрат, что стимулировало два инновационных направления. Первое — конусные дробилки с расширенными возможностями управления: регулируемая частота и амплитуда эксцентрика, оптимизированные профили камер дробления, автоматическая подстройка разгрузочной щели по нагрузке и крупности продукта. Второе — валковые прессы высокого давления, переведшие измельчение из ударного режима в режим статического сжатия слоя материала. Современные конусные дробилки отличаются от предшественников не столько конструкцией, сколько степенью управляемости: регулировка частоты вращения эксцентрика, форма камеры, автоматическая система регулирования разгрузочной щели по фактической нагрузке превращают аппарат в управляемый элемент схемы, способный удерживать заданный гранулометрический состав при изменении свойств руды. Прикладной аспект — увязка механических свойств руды с производительностью и продуктом дробилки: работы по применению геомеханических характеристик к прогнозу поведения руды в дробильно-измельчительном переделе показали, что выбор режима дробилки по данным испытаний сокращает переизмельчение на этой стадии. В оптимизированных схемах дробилки третьей и четвёртой стадии работают в замкнутом цикле с грохотами на крупности 6–12 мм, что позволяет вывести из мельниц значительную долю разрушения практически без потерь энергии на излишнее истощение. Валковые прессы высокого давления. HPGR реализует принцип, сформулированный К. Шёнертом: разрушение материала в сжатом слое, где зёрна давят друг на друга, а не на поверхность валов. При удельных давлениях в десятки и сотни мегапаскалей происходит объемное межчастичное разрушение, и энергия затрачивается преимущественно на образование новых поверхностей, а не на нагрев и истирание футеровки. Шёнерт показал, что эффективность сжатия в таких аппаратах существенно выше, чем у ударно-истирающих механизмов, а продуктовый гранулометрический состав смещён в мелкие классы. Практические эффекты HPGR не ограничиваются прямым замещением стадии дробления. Первый - микротрещинообразование: сетка трещин в частицах снижает удельную

энергию последующего измельчения и повышает скорость выщелачивания и флотации. Второй - возможность перевода схемы на режим «дробление - HPGR - шаровая мельница» вместо циклов полусамоизмельчения, что исключает самый энергоёмкий передел; Третий - снижение чувствительности схемы к твёрдости руды, поскольку HPGR менее зависим от фракционного состава питания, чем самоизмельчение. Обзорные работы по технологии фиксируют накопленный промышленный опыт внедрений — от цементной отрасли до горнодобывающей - и стандартные ограничения: износ футеровки валов, требование к сухой или умеренно влажной руде, чувствительность к глинистым материалам.

Выбор между конусными дробилками и HPGR определяется не свойствами аппаратов самих по себе, а положением стадии в цепочке и свойствами руды. Конусные дробилки выигрывают при крупном питании, высокой абразивности и влажной глинистой руде; HPGR — при тонком дроблении (6–12 мм) и в схемах, где микротрещины дают прирост в последующем измельчении и извлечении. Комбинированные схемы - конусная дробилка третьей стадии, HPGR четвёртой, шаровые мельницы в замкнутом цикле с грохотами - минимизируют энергию на каждой стадии: каждая операция работает в оптимальном диапазоне крупности.

Инновационные схемы измельчения опираются на два аппаратных решения - управляемую конусную дробилку и HPGR — и одну методическую идею: перенос разрушения на наиболее энергоэффективный механизм для каждой крупности. Конусные дробилки нового поколения дают управляемость и стабильность гранулометрии на крупном питании; HPGR - энергосбережение и микротрещины на тонком. Оптимизированная схема не противопоставляет их, а комбинирует: дробилки - крупное дробление и грохочение, HPGR - тонкое, шаровые мельницы - доизмельчение до крупности раскрытия. При этом успешность внедрения определяется не столько характеристиками оборудования, сколько достоверностью испытаний руды на дробимость и износ - именно они и определяют реальный энергетический баланс схемы.

Список использованной литературы:

1. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. — М.: Недра, 1980.

2. Evertsson C.M. Cone Crusher Modelling and Simulation: PhD thesis. — Göteborg: Chalmers University of Technology, 2000.

© Реджепова Г., Шохрадова М., Ашыров Ю., Сейидов М., 2026

УДК 004.8:004.4

Сакр Дыя
Студент,
Самарский государственный технический университет,
Самара, Россия

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРОГРАММНОМ ОБРАТНОМ ИНЖИНИРИНГЕ: ВОЗМОЖНОСТИ, ОГРАНИЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЩЕЕ

Аннотация

В статье рассматривается применение искусственного интеллекта в обратной разработке программного обеспечения. Анализируются большие языковые модели и интеллектуальные агенты для анализа бинарного кода, декомпиляции и восстановления программной логики. Описано применение

технологий для обеспечения совместимости и цифрового сохранения, а также рассмотрены технические, правовые и этические ограничения. Подчеркивается необходимость проверки результатов инструментами и экспертной оценки.

Ключевые слова:

искусственный интеллект, обратная разработка программного обеспечения, большие языковые модели, анализ бинарного кода, декомпиляция, восстановление программного обеспечения, цифровое сохранение.

1. Введение

Программное обеспечение становится всё более зависимым от цифрового распространения, онлайн-сервисов и проприетарных платформ. В такой среде доступ к программному обеспечению не всегда гарантирует постоянное владение пригодной копией. Приложения и видеоигры могут зависеть от серверов аутентификации, специализированных сервисов, проприетарных файлов или аппаратного обеспечения, которое со временем становится устаревшим. После окончания официальной поддержки программное обеспечение, которое ранее работало, может стать труднодоступным или невозможным в использовании.

Эти разработки повысили важность сохранения программного обеспечения, совместимости и способности понимать существующие программные системы. Одним из технических подходов, поддерживающих эти цели, является обратный инжиниринг программного обеспечения. Он включает изучение существующей программы с целью получения информации о её структуре, функциональности и конструкции. Традиционно эта работа требовала специализированных знаний архитектур процессоров, ассемблеров, исполняемых форматов, отладки и анализа программ.

Недавние достижения в области искусственного интеллекта, особенно больших языковых моделей (LLM), открыли новые возможности для автоматизации частей этого процесса. LLM могут анализировать представления кода, объяснять незнакомые инструкции, выявлять возможные связи между функциями и помогать в восстановлении структур программ высокого уровня. Исследования, такие как LLM4Decompile, показывают, что модели также можно специально обучать для преобразования бинарного кода в исходно-подобные представления [2].

Однако практические возможности этих систем требуют тщательной оценки. Создание читаемого кода не обязательно означает, что исходная программа была восстановлена. Даже код, который компилирует и проходит ограниченный набор тестов, может существенно отличаться от оригинальной реализации. Следовательно, реверс-инжиниринг, поддерживаемый ИИ, следует рассматривать не как полную замену традиционным инженерным инструментам, а как развивающийся подход, сочетающий машинное мышление с устоявшимися методами анализа программ.

Цель этой статьи — изучить возможности и ограничения искусственного интеллекта в обратном инжиниринге программного обеспечения, с особым вниманием к бинарной декомпиляции, автоматизированному анализу программ, совместимости программного обеспечения и цифровому сохранению. В исследовании рассматриваются недавние исследования декомпиляции на основе LLM, оценивается роль традиционных аналитических инструментов в рабочих процессах с помощью ИИ и обсуждаются технические, практические и юридические проблемы, влияющие на применение этих методов.

Главный исследовательский вопрос: насколько искусственный интеллект может снизить технические барьеры для понимания, реконструкции и сохранения проприетарного программного обеспечения, и какие ограничения мешают его независимому и надёжному применению?

Рабочая гипотеза заключается в том, что методы с помощью ИИ могут снизить усилия, необходимые для выполнения отдельных задач обратного инжиниринга, особенно интерпретации кода и структурной

реконструкции. Тем не менее, надёжные результаты по-прежнему зависят от традиционных инструментов анализа, эмпирической валидации и человеческой экспертизы.

1.1. Методология исследования

В этом исследовании используется подход обзора литературы и сравнительного анализа. Исходные материалы включают рецензируемые исследования по бинарной декомпиляции на основе LLM, разработке бенчмарков и реверс-инжинирингу с помощью ИИ, а также техническую документацию для выбранных проектов в области обратного инжиниринга и соответствующие юридические документы.

Выбранные исследования рассматриваются по нескольким критериям: выполняемой задаче, роли искусственного интеллекта, традиционным инструментам или наборам данных, сообщаемым методам оценки и ограничениям, выявленным авторами. Особое внимание уделяется различию между читаемостью кода, повторным исполнением и поведенческой эквивалентностью, поскольку они представляют собой разные показатели качества реконструкции.

Технические проекты рассматриваются как иллюстративные примеры, а не как контролируемые экспериментальные доказательства. Аналогично, юридические документы рассматриваются для выявления отдельных юрисдикционных положений, касающихся анализа и сохранения программного обеспечения, а не для предоставления всесторонней юридической оценки.

В исследовании не проводятся оригинальные эксперименты и не воспроизводятся независимые результаты. Его вклад заключается в сравнительном исследовании современных подходов, их потенциальных применений и условий, влияющих на их надёжность.

2. Основы обратного инжиниринга программного обеспечения

2.1. Концепция и цели

Чикофски и Кросс предложили таксономию, которая проясняла взаимосвязь между реверс-инжинирингом и связанной с ней деятельностью в области программной инженерии, включая передокументирование, восстановление проекта, реструктуризацию и реинжиниринг [1]. В целом обратный инжиниринг изучает существующую систему для получения более высокого понимания её внутренней структуры и поведения.

В разработке программного обеспечения исходный код обычно преобразуется компилятором в машинные инструкции, которые могут выполняться процессором. Полученный исполняемый файл содержит информацию, необходимую для выполнения, но обычно не сохраняет всю информацию, присутствующую в исходном коде. Комментарии, описательные имена переменных, форматирование и некоторая высокоуровневая структурная информация могут быть удалены или преобразованы в ходе компиляции и оптимизации.

Реверс-инжиниринг пытается восстановить полезную информацию из полученной программы. В зависимости от цели это может включать идентификацию функций, понимание управляющего потока, восстановление структур данных, документирование интерфейсов или определение того, как работает конкретный объект.

Необходимо выделить несколько связанных методов:

- **Дизассемблер** преобразует машинные инструкции в представления на ассемблере. Он показывает инструкции процессора и их организацию, но обычно не восстанавливает исходный высокоуровневый исходный код.
- **Декомпиляция** пытается преобразовать скомпилированный машинный код в более высокоуровневое представление, например, псевдокод, подобный C. Результатом является приближение, а не обязательно исходный исходник.
- **Статический анализ** изучает программу без её выполнения. Он может выявлять структуры управляющих потоков, потоки данных, ссылки и потенциально подозрительные операции.
- **Динамический анализ** изучает поведение программы во время выполнения, например, с

помощью отладки, трассировки, мониторинга или контролируемого тестирования входных данных.

• **Эмуляция** воспроизводит поведение другой аппаратной или программной среды, чтобы программы, разработанные для этой среды, могли выполняться внутри эмулятора.

• **Бинарный перевод** преобразует инструкции или исполняемые представления из одного набора команд или среды выполнения в другую.

• **Портирование** адаптирует программное обеспечение на другую платформу. Для этого может потребоваться замена интерфейсов операционной системы, библиотек, графических систем или других компонентов, зависящих от платформы.

Хотя эти методы могут использоваться вместе, они решают разные задачи. Например, проект, переводящий исполняемые инструкции на другую платформу, не обязательно является эмулятором, а проект, портирующий программное обеспечение, не использует автоматически декомпиляцию или искусственный интеллект.

2.2. Технические ограничения бинарной реконструкции

Фундаментальная сложность программной декомпиляции заключается в том, что компиляция не является обратимым процессом в строгом математическом смысле. Во время компиляции высокоуровневые конструкции могут быть оптимизированы, комбинированы, перестроены или устранёны. Разные исходные программы могут создавать похожие или идентичные последовательности машинного кода.

В результате декомпилятор обычно не может восстановить все исходные детали на уровне исходного кода. Вместо этого он пытается построить программу, отражающую поведение анализируемого бинарного файла. Качество этой реконструкции зависит от таких факторов, как оптимизации компилятора, доступные метаданные, архитектура набора инструкций, сложность программы и наличие обфускации.

Традиционные среды обратного инжиниринга, включая Ghidra, предоставляют возможности для деассемблера, декомпиляции и анализа программ [13]. Эти инструменты могут создавать полезные представления исполняемого кода, но их вывод может требовать значительной ручной интерпретации, особенно при анализе сложных программ или незнакомых архитектур.

Это ограничение создаёт возможности для искусственного интеллекта. Языковые модели могут обрабатывать структурированные представления инструкций и фрагментов программы, предлагать объяснения и пытаться восстановить код более высокого уровня. Однако их результат должен оцениваться по поведению исходной программы, а не оцениваться исключительно по читаемости.

3. Разработка обратного инжиниринга программного обеспечения с помощью искусственного интеллекта

3.1. Крупные языковые модели для реконструкции бинарного кода в исходный код

Одним из самых значимых применений искусственного интеллекта в программном реверс-инжиниринге является использование больших языковых моделей для реконструкции более высокоуровневого исходного кода из скомпилированных бинарных файлов. Традиционные декомпиляторы, такие как Ghidra, анализируют машинные инструкции и пытаются создать более высокоуровневое представление программы. Хотя эти инструменты могут восстанавливать структуры управления, границы функций и определённые отношения данных, их выходные данные часто содержат искусственные имена переменных, сложные выражения и низкоуровневые конструкции, что затрудняет понимание и повторное использование полученного кода.

Крупные языковые модели предлагают дополнительный подход к этой задаче, поскольку они могут распознавать шаблоны программирования, выводить связи между инструкциями и генерировать синтаксически корректный исходный код. Вместо того чтобы полагаться исключительно на традиционные алгоритмы декомпиляции, LLM может использовать шаблоны, полученные из исходного кода и соответствующих бинарных представлений, для создания более читаемой реконструкции.

Важным примером такого подхода является LLM4Decompile, введённый Tan et al. (2024). Авторы разработали открытую серию языковых моделей с объёмом от 1,3 миллиарда до 33 миллиардов параметров, специально обученных для реконструкции бинарного кода в исходный код. Исследование рассматривает два подхода: прямую декомпиляцию из бинарного кода и уточнение кода, изначально созданного обычным декомпилятором.

Экспериментальная оценка использовала бенчмарки HumanEval-Decompile и ExeBench. Авторы сообщили о улучшении повторной исполняемости по сравнению с оценёнными базовыми линиями, включая GPT-4o и Ghidra. Их подход к уточнению также показал дополнительное улучшение по сравнению с моделями прямой декомпиляции. Эти результаты свидетельствуют о том, что языковые модели могут способствовать не только созданию исходно-подобных представлений, но и улучшению практической использования традиционных выводов декомпилятора [2].

Однако интерпретация этих результатов требует осторожности. Повторная исполняемость означает, что восстановленный код может быть скомпилирован и выполнен в условиях бенчмарка. Это не обязательно доказывает, что восстановленная программа поведенчески эквивалентна исходному бинарному коду во всех входных данных и средах выполнения. Кроме того, реконструированная функция не должна считаться точным восстановлением исходного кода. Компиляция удаляет информацию, такую как комментарии, исходное форматирование, а также часто имена переменных и функций. Следовательно, несколько реализации исходного кода могут создавать эквивалентный или почти эквивалентный машинный код.

Тем не менее, LLM4Decompile представляет собой важный шаг к обратному инжинирингу с поддержкой ИИ. Он демонстрирует, что языковые модели могут служить дополнительным слоем реконструкции, дополняя традиционные инструменты дизассемблера и декомпиляции, а не просто заменяя их.

3.2. Разработка бенчмарков и структурированная декомпиляция

После первых демонстраций декомпиляции на основе LLM исследования всё больше сосредотачивались на двух связанных проблемах: качестве наборов данных оценки и структурной корректности реконструированных программ.

Важным вкладом в первую задачу является Decompile-Bench, представленный Тан и др. на NeurIPS 2025. Авторы выявляют ограничение в ранних исследованиях декомпиляции: многие существующие бенчмарки опирались на относительно небольшие программные упражнения или синтетические двоичные соотношения с источником. Такие наборы данных не обязательно отражают сложность реального программного обеспечения, где оптимизации компиляторов, инлайнинг функций и различные конфигурации компиляции могут затруднять установление точных связей между исходными функциями и их скомпилированными аналогами.

Чтобы решить это ограничение, Decompile-Bench вводит крупномасштабный набор данных, содержащий примерно два миллиона пар функций с бинарными источниками, собранных из разрешённых проектов GitHub. Набор данных был создан в процессе, включающем гораздо большую коллекцию скомпилированных функций, и был разработан для предоставления более реалистичных материалов для обучения и оценки. Авторы также представили Decompile-Bench-Eval, который включает скомпилированные задачи программирования и новые проекты на GitHub, чтобы снизить риск загрязнения оценки, вызванного сталкиванием моделей, столкнувшихся с эталонными решениями во время обучения.

Авторы сообщают, что тонкая настройка с помощью Decompile-Bench обеспечивает примерно 20% улучшение повторной исполняемости по сравнению с предыдущим методом обучения на основе бенчмарков, описанным в их исследовании [3]. Этот результат подчёркивает важность качества обучающих данных и реалистичных условий оценки. Производительность декомпилятора ИИ зависит не

только от архитектуры языковой модели, но и от точности, разнообразия и репрезентативности примеров бинарных источников, используемых во время обучения.

Второе развитие касается внутренней структуры процесса реконструкции. В SK2Decompile, представленном на ICLR 2026, Тан и др. предлагают двухфазный метод, который отделяет восстановление структуры программы от восстановления значимых идентификаторов.

Первая фаза, называемая восстановлением скелета, сосредоточена на реконструкции структурной и семантической организации программы. Модель переводит бинарный код в промежуточное представление, используя общие заполнятели вместо попыток восстановить исходные идентификаторы. Этот этап акцентирует внимание на таких элементах, как поток управления и структуры данных. Второй этап, известный как именование идентификаторов или восстановление кожи, пытается присваивать значимые названия на основе предполагаемой семантики восстановленной программы.

Это разделение важно, поскольку структурная корректность и читаемость исходного кода представляют разные цели. Программа может содержать логически корректную структуру управляющего потока, при этом используя неинформативные имена переменных. В то же время читаемые идентификаторы не гарантируют, что восстановленная программа реализует правильное поведение. Решая эти цели на отдельных этапах, SK2Decompile пытается улучшить оба аспекта, не рассматривая их как единую задачу реконструкции.

Авторы сообщают о среднем улучшении уровня повторной исполняемости на 21,6% по сравнению с GPT-5-mini на наборе данных HumanEval и среднем улучшении метрики R2I на 29,4% по сравнению с идиомами на бенчмарке GitHub2025 [4]. Эти показатели относятся к различным параметрам оценки, метрикам и базовым показателям, поэтому их не следует интерпретировать как напрямую сопоставимые измерения.

В совокупности Decompile-Bench и SK2Decompile показывают, что прогресс в декомпиляции с помощью ИИ зависит не только от увеличения размера модели. Реалистичные наборы данных, надёжные процедуры оценки и разделение структурной реконструкции от восстановления идентификаторов также являются важными факторами. Эти разработки обеспечивают более прочную методологическую основу для оценки того, полезен ли код, созданный ИИ, для понимания и поддержки существующего программного обеспечения.

3.3. Агенты ИИ и интеграция с традиционными инструментами обратного инжиниринга

Дальнейшим развитием в реверс-инжиниринге с помощью ИИ является переход от отдельных языковых моделей к агентно-ориентированным системам. Вместо того чтобы получать бинарный файл и пытаться восстановить исходный код за одну операцию, агент ИИ может взаимодействовать со специализированными инструментами, анализировать промежуточные результаты, формулировать дополнительные вопросы и постепенно формировать понимание целевого приложения.

Этот подход особенно актуален, поскольку реверс-инжиниринг редко представляет собой одноступенчатый процесс. Понимание незнакомой программы может потребовать определения её исполняемого формата, поиска функций, анализа инструкций ассемблера, следования ссылкам, анализа строк, проверки зависимостей и наблюдения за поведением во время выполнения. Каждая операция может предоставить доказательства, помогающие определить следующий аналитический этап.

Примером такого подхода к интеграции является REA (Reverse Engineering Anything) — проект с открытым исходным кодом, который соединяет агентов ИИ с возможностями обратного инжиниринга через протокол Model Context Protocol (MCP). Согласно проектной документации, REA предоставляет интерфейс, через который агенты могут использовать проверенные инструменты, такие как Ghidra, Hopper и IDA, для нативного бинарного анализа. Проект также документирует рабочие процессы для анализа нескольких других типов программного обеспечения, включая приложения JavaScript и Electron, а также сборки .NET [5].

В этой архитектуре агент ИИ не заменяет самостоятельно базовый дизассемблер или декомпилятор. Вместо этого он запрашивает конкретные анализы через доступные интерфейсы. Инструменты возвращают информацию, такую как псевдокод, инструкции ассемблера, строки, символы, перекрёстные ссылки и другие наблюдения. Затем агент может использовать эти данные для изучения конкретных функций, объяснения поведения приложения или помощи в реализации аналогичной функции.

Эта модель предлагает несколько потенциальных преимуществ. Во-первых, она снижает необходимость реверс-инженера для ручной координации каждой аналитической операции. Во-вторых, позволяет совместно рассматривать результаты различных инструментов и этапов анализа. В-третьих, агент может использовать предыдущие наблюдения для формулирования более целенаправленных последующих запросов, а не для повторного анализа всей программы.

Однако интеграция на основе агентов также вносит ограничения. Качество выводов агента зависит от надёжности и полноты используемых им инструментов. Неправильная граница функций, вводящий в заблуждение вывод декомпилятора или неполное наблюдение во время выполнения могут влиять на дальнейшее рассуждение. Языковые модели также могут давать правдоподобные объяснения, которые недостаточно подкреплены доступными данными. Поэтому выводы должны быть прослеживаемы до реальных наблюдений, а важные выводы должны быть независимо проверены.

REA иллюстрирует новую практическую архитектуру для обратного инжиниринга с помощью ИИ, но не следует интерпретировать как доказательство того, что автономные агенты могут надёжно реверс-инжиниринг произвольного программного обеспечения. Его точнее понимать как оркестрационный слой, который связывает рассуждение на основе языковых моделей с устоявшимися аналитическими инструментами. Его ценность заключается в координации расследований и повышении доступности технических доказательств, в то время как базовый анализ и окончательная валидация остаются зависими от специализированного программного обеспечения и человеческой экспертизы.

3.4. Сравнительная оценка современных подходов

Вышеупомянутые разработки представляют собой три взаимодополняющих направления в развитии обратного инжиниринга программного обеспечения с помощью ИИ.

Первое направление сосредоточено на реконструкции кода. LLM4Decompile демонстрирует, что языковые модели могут переводить бинарные представления в код более высокого уровня и уточнять результаты традиционных декомпиляторов. Второе направление сосредоточено на качестве и оценке реконструкции. Decompile-Bench удовлетворяет необходимость реалистичных данных обучения и оценки бинарных источников, тогда как SK2Decompile отделяет структурное восстановление от именования идентификаторов. Третье направление сосредоточено на автоматизации рабочих процессов и интеграции инструментов. Агентные системы, такие как REA, соединяют языковые модели с устоявшимся программным обеспечением для обратного инжиниринга и позволяют им проводить многоступенчатые исследования.

Эти направления следует рассматривать как дополняющие, а не конкурирующие подходы. Улучшенные модели реконструкции позволяют создавать более полезные представления кода, лучшие наборы данных поддерживают более надёжную разработку моделей, а агентные системы облегчают применение этих возможностей в крупных исследованиях.

В то же время ни одно из этих разработок не устраняет фундаментальные ограничения программного обратного инжиниринга. Реконструированный исходный код может существенно отличаться от исходной реализации, успех бенчмарков не гарантирует корректности в производственных средах, а автоматизированные объяснения могут содержать необоснованные предположения. По этой причине наиболее перспективным подходом является сочетание рассуждений с помощью ИИ, традиционного статического и динамического анализа и независимого тестирования.

С точки зрения сохранения и совместимости программного обеспечения эти разработки особенно

актуальны. Они могут сократить время и специализированные знания, необходимые для понимания недокументированного или неподдерживаемого программного обеспечения, облегчая изучение устаревших приложений, выявление зависимости и восстановление выбранной функциональности. Тем не менее, способность понимать или восстанавливать программу не даёт автоматически юридического права на её модификацию, распространение или эксплуатацию. Техническая осуществимость и юридическое разрешение должны рассматриваться отдельно.

4. Практическое применение обратного инжиниринга программного обеспечения с помощью искусственного интеллекта

4.1. Цифровое сохранение и доступ к устаревшему программному обеспечению

Одним из важных применений программного обратного инжиниринга является сохранение цифровых материалов, зависящих от устаревшего или неподдерживаемого программного обеспечения. Со временем приложения могут стать недоступными, поскольку их исходные операционные системы, аппаратные платформы, сервисы аутентификации или внешние зависимости больше недоступны. Это создаёт проблему сохранения: сохранение оригинального исполняемого файла не обязательно гарантирует, что программное обеспечение всё ещё можно использовать.

Стратегии цифрового сохранения включают сохранение оригинального оборудования, миграцию программного обеспечения и данных в новые среды, а также использование эмуляции для воспроизведения исторических вычислительных систем. В докладе *«Обзор эмуляции как метода сохранения*», опубликованном Советом по библиотечным и информационным ресурсам в 2025 году, эмуляция описывается как важный метод сохранения доступа к историческому программному обеспечению и цифровым артефактам. Также обсуждаются практические и организационные вызовы, связанные с внедрением эмуляции в библиотеках, архивах, музеях и других культурных учреждениях [6].

Реверс-инжиниринг с помощью ИИ может дополнять эти методы сохранения, помогая исследователям понимать недокументированное программное обеспечение, выявлять зависимости, интерпретировать бинарный код и восстанавливать выбранные компоненты программы. Например, языковая модель, подключённая к декомпилятору, может помочь объяснить назначение отдельных функций или определить, как приложение взаимодействует со своей операционной системой. Такая информация помогает специалистам по сохранению ресурсов определить, какие компоненты необходимо воспроизвести или заменить, чтобы сделать старое приложение пригодным для использования.

Однако реконструкцию кода на основе ИИ не следует путать с полным сохранением программного обеспечения. Реконструированная функция может воспроизводить лишь часть исходного поведения, тогда как оригинальное приложение может зависеть от недокументированных аппаратных интерфейсов, внешних сервисов, файлов или проприетарных библиотек. Следовательно, ИИ лучше всего рассматривать как поддерживающую технологию в более широком рабочем процессе сохранения. Его вклад заключается в снижении затрат на понимание и документирование программного обеспечения, а не в гарантии полного воспроизведения оригинального приложения.

4.2. Совместимость программного обеспечения, портирование и совместимость платформ

Ещё одним важным применением является совместимость программного обеспечения. Программы часто разрабатываются для конкретной операционной системы, архитектуры процессора, графического API или аппаратной платформы. Когда эти среды меняются или становятся недоступными, разработчикам может понадобиться адаптировать существующее программное обеспечение к другой технической среде.

Реверс-инжиниринг может поддерживать этот процесс, выявляя зависимости программы, понимая её взаимодействие с системными библиотеками и определяя, как внутренние операции связаны с интерфейсами, специфичными для платформы. Анализ с помощью ИИ может сделать эти задачи более доступными, объясняя незнакомые функции, выявляя вероятное использование API и помогая

разработчикам восстанавливать поведение незадокументированных компонентов.

Полезным техническим примером является AnyPS5, независимый проект, направленный на портирование исполняемых файлов PlayStation 5 на Linux и Windows. Проект использует исполняемые пересвязки и реализацию системных библиотек для поддержки динамического связывания на целевой платформе. Также включает рекомпилятор шейдеров, который переводит инструкции GPU в промежуточное представление и затем генерирует SPIR-V для использования с Vulkan [8].

Проект иллюстрирует сложность программного портирования. Он требует большего, чем просто конвертация исполняемого файла в другой формат: также необходимо учитывать поведение системной библиотеки, графические операции, управление ресурсами и платформенные интерфейсы. Архитектура шейдерной рекомпиляции демонстрирует, как специализированные этапы перевода могут помочь преодолеть различия между графическими средами.

Важно, что AnyPS5 представлен здесь как пример обычного обратного инжиниринга и портирования программного обеспечения, а не как система на базе ИИ. Документация не подтверждает, что при реализации используется искусственный интеллект. Проект актуален, поскольку иллюстрирует тип технической работы, которую может поддерживать анализ с помощью ИИ: понимание недокументированных интерфейсов, исследование бинарных функций и помощь разработчикам в интерпретации сложного поведения программ.

В этом контексте ИИ может служить дополнительным помощником разработки, а не заменой алгоритмов перевода или слоев совместимости. Например, языковая модель может помочь объяснить поведение незнакомой системной функции, предложить возможные реализации или помочь в интерпретации кода, связанного с шейдерами. Такие предложения всё равно потребуют компиляции, тестирования и сравнения с поведением оригинальной программы.

4.3. Обслуживание и реконструкция недокументированного программного обеспечения

Обслуживание программного обеспечения — ещё одна область, в которой реверс-инжиниринг с помощью ИИ может принести практические преимущества. Организации часто зависят от приложений, для которых исходный код, документация или команда разработчиков уже недоступны. Такая ситуация может возникать с устаревшими бизнес-системами, закрытыми коммерческими приложениями, встроенным программным обеспечением и внутренне разработанными программами.

Без исходного кода или надёжной документации разработчикам может придётся изучать исполняемые файлы, наблюдать за поведением приложений и выявлять зависимости перед внесением изменений. Обычные инструменты обратного инжиниринга могут предоставлять дизассемблер, псевдокод, ссылки на функции и другую техническую информацию. Однако интерпретация этих результатов требует значительного опыта, особенно когда программы содержат оптимизированный код, сложный управляющий поток или незнакомые библиотеки.

Инструменты с поддержкой ИИ могут помочь сократить усилия, связанные с этим процессом. Языковая модель может суммировать декомпилированные функции, объяснять возможные потоки данных, выявлять взаимосвязи между функциями и создавать предварительную документацию. Агентные системы могут дополнительно организовать исследование, собирая информацию из различных инструментов и используя более ранние результаты для дальнейшего анализа.

Например, агент ИИ, подключённый к программному обеспечению для обратного инжиниринга, может исследовать, как работает конкретная функция приложения, отслеживать релевантные функции и использовать собранные доказательства для предложения реализации в отдельном проекте. Этот подход может быть полезен при замене закрытого компонента или при воссоздании функционала, для которого исходный код недоступен.

Тем не менее, создание правдоподобной реализации не эквивалентно сохранению поведения исходного приложения. Замена может вести себя корректно в типичных ситуациях, но при этом сбывает

при менее частых входах, ошибках или незадокументированных признаках. Поэтому реконструированные компоненты следует оценивать с помощью регрессионного тестирования, сравнения с наблюдаемым поведением и анализа соответствующих крайних случаев.

Практическая ценность ИИ в обслуживании программного обеспечения не ограничивается автоматической генерацией кода. Его способность интерпретировать техническую информацию и давать предварительные объяснения также может помочь разработчикам понять незнакомые системы и сократить первоначальные усилия по расследованию.

4.4. Анализ безопасности программного обеспечения и расследование уязвимостей

Обратный инжиниринг также широко используется в исследованиях безопасности программного обеспечения. Специалисты по безопасности изучают исполняемые программы, чтобы выявлять подозрительное поведение, понимать, как могут срабатывать уязвимости, и расследовать потенциально вредоносное ПО. Эти действия часто требуют статического анализа, динамического анализа, реконструкции управляющих потоков и изучения зависимостей программ.

Недавние исследования изучали, как машинное обучение и крупные языковые модели могут поддерживать различные этапы этого процесса. Ghimire и др. (2025) в своем опросе, опубликованном в IEEE Access, рассматривают применения ИИ в программном обратном инжиниринге, включая идентификацию функций, восстановление управляющих потоков, декомпиляцию и анализ уязвимостей [7]. Их работа демонстрирует, что реверс-инжиниринг с поддержкой ИИ шире, чем просто реконструкция исходного кода.

Языковые модели могут помогать исследователям в области безопасности, интерпретируя сложные функции, суммируя поведение программ и выявляя шаблоны кода, требующие дальнейшего изучения. В сочетании с инструментами статического анализа они также могут объяснить, почему конкретная операция может быть уязвимой. Рабочие процессы на основе агентов могут координировать несколько этапов расследования, таких как обнаружение подозрительной функции, изучение её опор и проверка её поведения в контролируемых условиях тестирования.

Однако оценки уязвимостей, созданные ИИ, не следует рассматривать как окончательные выводы. Модель может выявить безвредный шаблон кода как подозрительный или упустить уязвимость, зависящую от конкретного пути выполнения. Выводы по безопасности требуют воспроизводимых доказательств, тестирования и независимой проверки квалифицированными исследователями.

Это приложение также иллюстрирует важное различие между выявлением потенциальной уязвимости и доказательством того, что она может быть использована. ИИ может помочь приоритизировать подозрительный код или объяснить возможные слабости, но надёжная оценка безопасности должна выявить соответствующие условия и подтвердить результат.

4.5. Краткое изложение практических применений

Описанные выше приложения демонстрируют, что реверс-инжиниринг с помощью ИИ может вносить вклад в различные области программной инженерии и цифрового сохранения. Его потенциальная ценность не ограничивается генерацией приближений исходного кода: он также может помочь объяснить недокументированное программное обеспечение, выявить зависимости, поддерживать миграцию платформы и способствовать исследованиям безопасности.

Степень этого вклада различается в зависимости от приложения. Декомпиляция на основе ИИ оценивалась с помощью специализированных исследовательских бенчмарнов, тогда как её вклад в долгосрочное сохранение программного обеспечения и сложное портирование платформ остаётся более зависимым от отдельных рабочих процессов и технических проектов. Традиционные инструменты, такие как эмуляторы, декомпиляторы, бинарные трансляторы и тестовые фреймворки, продолжают выполнять важные функции.

Следовательно, ИИ следует рассматривать как дополняющую технологию, способную повысить

эффективность выбранных задач обратного инжиниринга. Его эффективность зависит от качества имеющихся доказательств, сложности целевого программного обеспечения и способности проверить итоговый анализ или реализацию.

5. Технические, практические и юридические ограничения обратного инжиниринга с помощью ИИ

Несмотря на прогресс, демонстрируемый недавними исследованиями, реверс-инжиниринг программного обеспечения с помощью ИИ по-прежнему подвержен ряду важных ограничений. Способность языковой модели генерировать правдоподобный исходный код или объяснять двоичные инструкции не обязательно означает, что она правильно восстановила исходную программу. На практике надёжность обратного инжиниринга с помощью ИИ зависит от качества доступной информации, сложности целевого программного обеспечения и методов проверки результатов.

Эти ограничения можно разделить на техническую надёжность, бинарную сложность, практическую валидацию и юридические и этические аспекты.

5.1. Надёжность кода, сгенерируемого ИИ, и объяснения

Одним из главных ограничений больших языковых моделей является их склонность генерировать правдоподобную, но некорректную информацию. В реверс-инжиниринге эта проблема особенно важна, поскольку внутреннее поведение программы не всегда напрямую видно из её дизассемблерованного или декомпилированного представления.

Например, LLM может интерпретировать функцию как выполнение определённой операции на основе её инструкций, использования переменных и окружающих функций. Однако при отсутствии достаточной контекстуальной информации модель может присваивать функции неправильную цель или неправильно понимать взаимосвязь между разными компонентами программы. Такое объяснение может показаться технически убедительным, но при этом противоречить реальному поведению приложения.

Та же проблема относится и к реконструкции кода. Языковая модель может генерировать исходный код, который синтаксически корректен и успешно компилируется, но при этом даёт отличные результаты по сравнению с исходным бинарным кодом. Это различие важно при оценке результатов исследований на основе повторной исполняемости. Успешная компиляция и выполнение показывают, что восстановленный код работает в проверенных условиях, но не устанавливают полной поведенческой эквивалентности.

Более сильная оценка требует нескольких форм проверки. К ним могут относиться модульное тестирование, сравнение поведения входа-вывода, дифференциальное тестирование с исходным исполняемым файлом и анализ крайних случаев. По возможности реконструированные функции также следует тестировать при различных условиях выполнения для выявления расхождений, невидимых в простых примерах бенчмарков.

Следовательно, код и объяснения, созданные ИИ, следует рассматривать как гипотезы, требующие проверки, а не как авторитетные описания оригинальной программы.

5.2. Бинарная сложность, оптимизации компиляторов и обфускация

Ещё одно ограничение связано с техническими характеристиками скомпилированного программного обеспечения. Процесс компиляции преобразует высокоуровневый исходный код в машинные инструкции и может удалить или существенно изменить информацию, присутствовавшую в исходной реализации.

Оптимизации компилятора могут использовать встроенные функции, устранять неиспользуемые переменные, перестраивать инструкции, объединять выражения и преобразовывать структуры управляющего потока. В результате машинный код может перестать напрямую соответствовать организации исходного кода. Декомпилятор должен выводить более высокоуровневые структуры из полученных инструкций, тогда как модель ИИ должна интерпретировать как инструкции, так и

информацию, воссозданную традиционными инструментами анализа.

Это создаёт трудности при попытке восстановить исходные имена переменных, границы функций, структуры данных и логику программы. Даже если можно определить общее назначение функции, точная реализация на уровне исходника может оставаться неизвестной.

Обфускация программного обеспечения вносит дополнительные трудности. Разработчики могут сознательно преобразовывать код, чтобы сделать внутреннюю структуру более сложной для понимания. Техники включают выравнивание управляющих потоков, непрозрачные предикаты, шифрование строк, косвенные вызовы функций и использование динамически сгенерированного кода. Эти методы могут снизить полезность традиционных декомпиляторов и усложнить интерпретацию результата для моделей ИИ.

Кроме того, бинарный файл может зависеть от внешних библиотек, недокументированных системных интерфейсов, аппаратно-специфических инструкций или компонентов выполнения, которые недоступны при анализе. Языковая модель не может надёжно восстановить информацию, отсутствующую в имеющихся данных, просто сгенерировав правдоподобное объяснение.

Поэтому эффективность обратного инжиниринга с помощью ИИ, вероятно, будет значительно варьироваться в зависимости от целевой программы. Относительно простые функции с узнаваемыми закономерностями могут быть пригодны для автоматизированной реконструкции, тогда как сильно оптимизированное, обфусцированное или аппаратно-зависимое программное обеспечение может требовать значительного ручного исследования.

5.3. Тестирование, семантическая эквивалентность и экспертиза человека

Ключевой задачей в обратном инжиниринге является определение, сохраняет ли реконструированная программа поведение оригинального программного обеспечения. Это сложнее, чем проверка, компилируется ли сгенерированный код или проходит ли ограниченный набор тестов.

Две реализации могут давать одинаковые результаты для набора общих входных данных, при этом ведя себя по-разному при исключительных условиях. Например, различия могут возникать при обработке некорректных данных, сбоях с выделением памяти, необычных размерах входных данных, параллельных операциях или взаимодействии с внешними сервисами.

Эта проблема особенно актуальна для переноса и сохранения программного обеспечения. Замена незадокументированной функции на реализацию, созданную ИИ, может показаться успешной при первоначальном тестировании, но вызвать проблемы совместимости в других частях приложения. Небольшое поведенческое различие в низкоуровневой системной функции может повлиять на многие компоненты высокого уровня.

Таким образом, надёжный процесс валидации должен сочетать несколько методов:

- **Компиляция и тестирование выполнения:** проверка возможности создания и выполнения восстановленной реализации.
- **Модульное и интеграционное тестирование:** проверка отдельных функций и их взаимодействия с другими компонентами.
- **Дифференциальное тестирование:** сравнение выходов и наблюдаемого поведения восстановленной программы с исходным исполняемым файлом при аналогичных условиях.
- **Регрессионное тестирование:** обеспечение того, чтобы модификации не приводили к новым ошибкам в ранее работающие компоненты.
- **Ручной обзор кода:** анализ предположений, управляющих процессов и зависимостей кода, сгенерированного ИИ.

Эти методы не всегда обеспечивают полную семантическую эквивалентность, особенно когда исходное программное обеспечение зависит от недоступного аппаратного обеспечения или внешних сервисов. Тем не менее, они дают более убедительные доказательства, чем полагаться только на

объяснение языковой модели.

Поэтому человеческая экспертиза остаётся важной. Реверс-инженеры должны понимать ограничения декомпиляторов, распознавать вводящие в заблуждение результаты, выбирать подходящие тесты и определять, подходит ли сгенерированная реконструкция для своей цели. ИИ может снизить усилия, необходимые для выполнения отдельных задач, но не устраняет необходимость технического суждения.

5.4. Вычислительная стоимость, совместимость инструментов и безопасность данных

Практическое внедрение вносит дополнительные ограничения. Крупные языковые модели могут требовать значительных вычислительных ресурсов, особенно при обработке длинных функций, больших бинарных файлов или обширных коллекций выводов декомпилятора. Стоимость вывода модели и время, затраченное на анализ программы, могут снизить практические преимущества автоматизации в некоторых средах.

Совместимость инструментов — ещё один аспект. Среды обратного инжиниринга отличаются поддерживаемыми исполняемыми форматами, архитектурами процессоров, возможностями отладки и интерфейсами анализа. Агент ИИ, подключённый к одному набору инструментов, может не иметь возможности выполнять те же операции в другой среде. Кроме того, неполные интеграции инструментов могут мешать агенту получить важную информацию или точно интерпретировать результаты анализа.

Использование внешних сервисов ИИ также может вызвать опасения в области безопасности данных. Загрузка проприетарных бинарных систем, конфиденциального кода приложения или прошивки в сторонние сервисы может раскрыть информацию, которую организации не имеют права раскрывать. Такие риски особенно важны в промышленных средах, встроенных системах и программном обеспечении с чувствительной бизнес-логикой.

Возможные стратегии смягчения включают локальное развертывание моделей, ограниченный доступ к аналитическим средам, контролируемую обработку бинарных файлов и проверку условий хранения данных и конфиденциальности внешних сервисов ИИ. Выбор архитектуры развертывания должен учитывать не только производительность модели, но и чувствительность анализируемого программного обеспечения.

5.5. Юридические и этические аспекты

Техническая возможность обратного проектирования программного обеспечения не гарантирует автоматически юридическое право. Обратный инжиниринг может включать копирование, перевод, изменение или обход технических мер защиты, применяемых к защищённому авторским правом ПО. Законность этих действий зависит от соответствующей юрисдикции, цели анализа, прав пользователя на доступ к программному обеспечению и любых соответствующих договорных ограничений.

В Европейском союзе Директива 2009/24/ЕС о правовой защите компьютерных программ устанавливает несколько соответствующих положений. Статья 5(3) позволяет лицу использовать копию программы для наблюдения, изучения или тестирования её работы с целью определения идей и принципов, лежащих в основе её элементов, при условии, что это происходит во время разрешённых актов загрузки, отображения, запуска, передачи или хранения программы.

Статья 6 регулирует декомпиляцию для обеспечения совместимости. Она допускает определённые акты воспроизведения и перевода кода без разрешения правообладателя, если они необходимы для получения информации, необходимой для обеспечения совместимости между независимо созданной программой и другими программами. Однако это исключение подчиняется определённым условиям. В частности, информация не должна быть уже доступна, анализ должен проводиться уполномоченным пользователем или лицом, действующим от его имени, а проверка должна ограничиваться частями оригинальной программы, необходимыми для совместимости. Полученная информация, как правило, не может использоваться для несвязанных целей или для создания существенно похожей программы с

нарушением авторских прав [9].

Цифровое сохранение рассматривается отдельно в статье 6 Директивы (ЕС) 2019/790 об авторском праве и связанных правах в Цифровом едином рынке. Она требует от государств-членов предоставить исключение, позволяющее учреждениям культурного наследия делать копии произведений, постоянно хранящихся в их коллекциях, когда это необходимо для сохранения. Это положение относится к сохранению цифровых материалов, хотя его не следует интерпретировать как общее разрешение на неограниченное изменение или распространение программного обеспечения [10].

В Соединённых Штатах раздел 1201 Закона об авторском праве цифрового тысячелетия устанавливает ограничения на обход технологических мер, контролирующих доступ к защищённым авторским правом произведениям. Однако законодательство также предусматривает процесс принятия ограниченных освобождений для определённых классов произведений и ненарушающих права использований. Трехлетнее правило 2024 года включало исключения, касающиеся добросовестных исследований безопасности и сохранения некоторых прекращённых программ и видеоигр соответствующими пользователями и организациями. Эти исключения ограничены и не должны интерпретироваться как общее право обходить все программные защиты [11, 12].

Эти примеры показывают, что правовая база обратного инжиниринга зависит от юрисдикции. Деятельность, разрешённая по определённому исключению по совместимости или сохранению, может быть ограничена другими применимыми законами, лицензионными соглашениями или договорными обязательствами. Цель анализа является важным фактором: исследование совместимости, проведение авторизованных исследований безопасности, сохранение программного обеспечения и разработка несанкционированной копии не являются юридически эквивалентными действиями.

Этические соображения выходят за рамки авторского права. Исследователям и разработчикам следует рассмотреть, может ли их работа раскрыть личную информацию, скомпрометировать механизмы безопасности или способствовать несанкционированному доступу к защищённым системам. Ответственное обратное инжинирирование должно проводиться в рамках соответствующей авторизации и отличать легитимный анализ от действий, которые могут навредить владельцам или пользователям программного обеспечения.

5.6. Сводка ограничений

Вышеупомянутые ограничения указывают на то, что реверс-инжиниринг с помощью ИИ не является полностью автономным решением. Языковые модели могут помогать в восстановлении кода, объяснении и анализе, но их результаты остаются зависими от неполной бинарной информации и требуют независимой проверки. Оптимизации компиляторов, обфускация, аппаратные зависимости и сложные среды выполнения дополнительно ограничивают надёжность автоматизированного восстановления.

Кроме того, практическое внедрение требует учёта вычислительных ресурсов, совместимости с существующими инструментами и конфиденциальности анализируемого программного обеспечения. Юридические и этические ограничения устанавливают дополнительные границы для получения и использования результатов обратного проектирования.

Соответственно, наиболее надёжным подходом является гибридный рабочий процесс, в котором ИИ поддерживает интерпретацию и реконструкцию программного обеспечения, традиционные инструменты предоставляют технические доказательства, а специалисты оценивают результаты. Такой подход позволяет использовать преимущества автоматизации ИИ без предположения, что сгенерированный код или объяснения обязательно правильны.

6. Перспективы искусственного интеллекта в обратном инжиниринге программного обеспечения

Разработка программного обратного инжиниринга с помощью искусственного интеллекта предлагает несколько перспективных направлений исследований. Хотя современные системы демонстрируют способность восстанавливать представления исходного кода, интерпретировать

двоичные инструкции и координировать традиционные инструменты анализа, их надёжность остаётся ограниченной неполной информацией и сложностью проверки реконструированного поведения. Таким образом, будущий прогресс будет зависеть не только от улучшения возможностей языковых моделей, но и методов оценки и применения их результатов.

6.1. Более точная и контекстно-ориентированная реконструкция кода

Одним из важных направлений является разработка моделей, способных понимать большие части программы, а не анализировать отдельные функции отдельно. Программное приложение состоит из взаимосвязанных компонентов, и поведение одной функции может зависеть от структур данных, внешних библиотек и других функций в исполняемом файле.

Будущие системы декомпиляции могут сочетать локальный анализ инструкций с информацией о более широкой архитектуре программы. Такие системы могут использовать графы вызовов, графы управляющих потоков, анализ потоков данных и информацию, извлеченную из исполняемых метаданных, для предоставления дополнительного контекста языковым моделям.

Этот подход мог бы снизить ошибки, возникающие при интерпретации функций без достаточного знания их зависимостей. Он также мог бы улучшить реконструкцию сложных структур данных и взаимодействия между компонентами программы.

Ещё одним возможным развитием является более тесная интеграция языковых моделей с промежуточными представлениями, используемыми компиляторами и декомпиляторами. Вместо прямой генерации исходного кода из необработанных машинных инструкций система ИИ может работать со структурированными представлениями, содержащими информацию о инструкциях, управляющих потоках и взаимосвязях данных. Это может сделать реконструкцию более последовательной и проще для проверки.

6.2. Гибридные системы ИИ, сочетающие статический и динамический анализ

Второе направление исследований — интеграция ИИ как со статическим, так и с динамическим анализом. Статический анализ предоставляет информацию о программе без её выполнения, а динамический анализ изучает её поведение во время выполнения. Каждый подход имеет свои преимущества и ограничения.

Статический анализ может выявлять функции, зависимости и возможные пути выполнения, но может не полностью выявлять поведение, зависящее от условий выполнения. Динамический анализ может обеспечивать прямые наблюдения за выполнением, но его результаты зависят от используемых тестовых входов и сред выполнения.

Гибридная система могла бы объединять эти формы доказательств. Например, агент ИИ сначала может изучить функцию с помощью статического анализа, выявить неопределённые предположения, а затем запросить дополнительные наблюдения во время выполнения для их изучения. Полученные данные могут быть использованы для уточнения объяснения или реконструкции.

Такой подход также может поддерживать более систематические исследования уязвимостей и анализ совместимости программного обеспечения. Вместо того чтобы полагаться на первоначальную интерпретацию языковой модели, система будет использовать наблюдения нескольких аналитических методов для поддержки или отвержения своих выводов.

Однако объединение нескольких инструментов не гарантирует автоматической точности. Надёжность таких систем будет зависеть от качества их наблюдений, согласованности рассуждений и наличия независимых процедур валидации.

6.3. Автоматизированная валидация и поведенческая эквивалентность

Одной из важнейших будущих задач станет улучшение проверки восстановленного программного обеспечения. Современные методы оценки часто измеряют, можно ли скомпилировать или выполнить сгенерированный код на основе заранее определённого набора тестов. Хотя эти измерения полезны, они

не обеспечивают полной эквивалентности исходной программы.

Будущие исследования могут рассмотреть более комплексные методы валидации, включая автоматизированную генерацию тестов, дифференциальное тестирование, символическое исполнение и формальные методы.

Например, система с поддержкой ИИ может генерировать тестовые входные данные как для исходного исполняемого файла, так и для его восстановленной реализации, а затем сравнивать их наблюдаемые выходы. При возникновении расхождений система может использовать эти результаты для выявления функций или условий, отвечающих за различия.

Символическое выполнение и формальная проверка могут обеспечивать дополнительную поддержку в отдельных случаях, изучая пути программ и логические свойства. Однако применение этих методов к крупным, сложным бинарным системам остаётся сложным из-за взрыва пространств состояний, внешних зависимостей и неполной информации об окружающей среде.

Таким образом, перспективным направлением является процесс реконструкции на основе обратной связи, при котором модель ИИ генерирует кандидатную реализацию, инструменты тестирования выявляют расхождения, а модель использует полученные данные для улучшения своих результатов. Такой рабочий процесс выйдет за рамки одноразовой генерации кода и приведёт к итеративной реконструкции и верификации.

6.4. Более автономные и специализированные агенты для обратного инжиниринга

Появление агентно-ориентированных систем указывает на другое возможное направление: специализированные агенты ИИ, способные координировать различные операции по обратному инжинирингу.

Вместо того чтобы опираться на одну универсальную модель, система могла распределять задачи между специализированными компонентами. Один агент мог анализировать исполняемые метаданные и выявлять функции, другой — управляющий поток и зависимости, а третий — поведение во время выполнения или рассматривать предлагаемую реконструкцию.

Координационный компонент может собирать свои выводы, выявлять разногласия и запрашивать дополнительный анализ, если имеющихся доказательств недостаточно. Такая архитектура может сделать сложные расследования более организованными и снизить необходимость ручной координации каждой работы инструмента.

Тем не менее, большая автономия вносит дополнительные риски. Агент может неоднократно опираться на ошибочные промежуточные выводы, выполнять ненужные операции или генерировать объяснения, которые недостаточно подкреплены доказательствами. Таким образом, будущие системы должны включать прозрачные истории анализа, отслеживаемые результаты инструментов, оценку доверия и механизмы одобрения важных операций человеком.

Цель не обязательно заключается в устранении участия человека, а в автоматизации повторяющихся аналитических задач, позволяя специалистам контролировать расследование и подтверждать его выводы.

6.5. Применения в области цифрового сохранения и совместимости программного обеспечения

Улучшения в реверс-инжиниринге с помощью ИИ могут иметь особую ценность для цифрового сохранения и совместимости программного обеспечения.

В средах сохранения будущие системы могут помогать документировать недокументированные приложения, выявлять зависимости, восстанавливать выбранные компоненты программы и помогать в миграции программного обеспечения в современные среды. Это особенно полезно, если оригинальная команда разработчиков недоступна или документация неполна.

В области программной совместимости ИИ может помогать разработчикам понимать недокументированные интерфейсы и исследовать поведение специфических для платформы функций.

Это может поддерживать разработку слоёв совместимости, альтернативных реализаций системных библиотек и инструментов портирования.

Однако эти приложения требуют не только точной реконструкции исходного кода. Сохраненное или портированное приложение может зависеть от конкретного поведения аппаратного обеспечения, сервисов операционной системы, графических интерфейсов или внешней инфраструктуры. Таким образом, будущим системам потребуется сочетать бинарный анализ с моделированием окружающей среды, тестированием совместимости и другими специализированными методами.

Более широкая цель — сделать существующее программное обеспечение более понятным и поддерживаемым, потенциально продлевая срок службы приложений, которые в противном случае стали бы труднодоступными.

6.6. Исследовательские вызовы и ожидаемое развитие

Несмотря на эти возможности, ряд проблем останутся важными. Обучение высококачественных моделей требует надёжных наборов данных с бинарными источниками, тогда как оценка требует эталонов, отражающих сложность реальных приложений. Модели также должны лучше работать с оптимизированным, обфускированным и аппаратно-зависимым программным обеспечением.

Кроме того, будущие системы должны предоставлять более строгие гарантии происхождения своих выводов. Исследователи должны иметь возможность определить, какие инструкции, выходы декомпиляторов, наблюдения во время выполнения или другие доказательства подтверждают объяснение, созданное ИИ.

Юридические и этические аспекты останутся одинаково важными. Более мощные системы обратного инжиниринга могут сделать анализ программного обеспечения доступным для широкого круга пользователей, но это не устраняет ограничения по авторскому праву, лицензионные обязательства или необходимость авторизации при проверке защищённых систем.

В целом, наиболее перспективным направлением является разработка гибридных систем, сочетающих языково-модельное мышление, традиционные инструменты обратного инжиниринга, автоматизированное тестирование и человеческий надзор. Такие системы могли бы ускорить и сделать обратные задачи обратного инжиниринга быстрее и доступнее, сохраняя при этом более прочную связь между сформулированными выводами и проверяемыми техническими данными.

7. Заключение

В этом исследовании рассматривались возможности, ограничения и будущие перспективы применения искусственного интеллекта в программном обратном инжиниринге. Особое внимание уделялось крупным языковым моделям, реконструкции кода с помощью ИИ, разработке бенчмарков и агентным системам, интегрирующим искусственный интеллект с традиционными инструментами обратного инжиниринга.

Анализ показывает, что искусственный интеллект может способствовать нескольким этапам обратного инжиниринга программного обеспечения. Крупные языковые модели помогают воссоздавать более высокоуровневые представления исходного кода из скомпилированных бинарных файлов, интерпретировать выходные данные декомпилятора и объяснять незнакомые структуры программ. Исследования, такие как LLM4Decompile, демонстрируют потенциал этих моделей для восстановления бинарного источника, а Decompile-Bench и SK2Decompile иллюстрируют важность реалистичных наборов данных оценки и более структурированных методов реконструкции. Агентные подходы, включая REA, дополнительно демонстрируют, как языковые модели могут взаимодействовать с устоявшимися инструментами для поддержки многоступенчатых исследований.

Практическое применение этих возможностей выходит за рамки реконструкции исходного кода. Анализ с помощью ИИ может помочь с обслуживанием устаревшего программного обеспечения, цифровым сохранением, совместимостью программного обеспечения, миграцией платформы и

проверками безопасности. Сокращая усилия по интерпретации незнакомых бинарных файлов и технической документации, эти системы могут сделать выбранные задачи обратного инжиниринга более доступными и эффективными.

Однако исследование также выявило значительные ограничения. Код, сгенерированный ИИ, может быть синтаксически корректным, не воспроизводя поведение оригинальной программы. Оптимизации компиляторов, обфускация, неполная бинарная информация, аппаратные зависимости и внешние библиотеки могут дополнительно усложнять восстановление. Кроме того, производительность бенчмарков не обязательно отражает надёжность в реальных программных средах. Также необходимо учитывать юридические и этические ограничения, особенно когда реверс-инжиниринг включает защищённое авторским правом программное обеспечение или технологические меры защиты.

Эти результаты подтверждают исходную гипотезу: реверс-инжиниринг с помощью ИИ может сократить время и специализированные усилия, необходимые для выполнения выбранных задач анализа и реконструкции, но надёжные результаты по-прежнему зависят от традиционных аналитических инструментов, независимой валидации и человеческой экспертизы. Данные не подтверждают вывод, что искусственный интеллект способен полностью автоматизировать обратный инжиниринг произвольного программного обеспечения или последовательно восстанавливать исходный код.

Основной вклад в исследование — сравнительное исследование трёх разработок в области реверс-инжиниринга с помощью ИИ: реконструкции кода на основе языковых моделей, улучшения наборов данных и методологий реконструкции, а также интеграция на основе агентов с традиционными аналитическими инструментами. Рассматривая их применения наряду с техническими и правовыми ограничениями, исследование предоставляет основу для понимания как текущих возможностей, так и оставшихся вызовов данной области.

Дальнейший прогресс, вероятно, будет зависеть от разработки систем, которые сочетают рассуждение на основе ИИ со статическим и динамическим анализом, автоматизированным тестированием и валидацией, основанной на доказательствах. Такие системы могут повысить доступность и эффективность обратного инжиниринга программного обеспечения, сохраняя при этом необходимую надёжность для обслуживания, совместимости и цифрового сохранения.

В конечном итоге искусственный интеллект следует рассматривать как дополняющую технологию в процессе обратного инжиниринга. Его наибольший потенциал заключается не в замене устоявшихся инструментов или специалистов, а в том, чтобы помочь им более эффективно понимать сложное программное обеспечение и эффективнее использовать доступные технические данные.

Список использованной литературы:

1. Чикофски Э. Дж., Кросс Дж. Х. Обратная инженерия и восстановление проектирования: таксономия // IEEE Software. 1990. Том 7, No 1. С. 13–17. DOI: 10.1109/52.43044.

2. Тан Х., Ло К., Ли Дж., Чжан Ю. LLM4Декомпиляция: Декомпиляция бинарного кода с крупными языковыми моделями // Материалы Конференции 2024 года по эмпирическим методам обработки естественного языка. Майами, США: Ассоциация вычислительной лингвистики, 2024. С. 3473–3487. DOI: 10.18653/v1/2024.emnlp-main.203. URL: https://aclanthology.org/2024.emnlp-main.203/.

3. Тан Х., Тянь С., Ци Х., Лю Дж., Ван С., Гао З., Ло К., Ли Дж., Чжан Ю. Декомпиляция-стенд: миллионные пары функций бинарных источников для реального бинарного декомпиляции // Достижения в системах нейронной обработки информации 38 (NeurIPS 2025). Наборы данных и трек бенчмарков, 2025. С. 5717–5747. DOI: 10.52202/085713-0177. URL: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2025/hash/079cf13ae174c31f148207d94d213bdc-Abstract-Datasets_and_Benchmarks_Track.html.

4. Тан Х., Ли В., Тянь С., Ван С., Лю Дж., Ли Дж., Чжан Ю. SK2Декомпиляция: двухфазная бинарная декомпиляция на основе LLM от скелета к коже // Международная конференция по учебным представлениям (ICLR 2026), 2026. URL: https://proceedings.iclr.cc/paper_files/paper/2026/hash/

9132583dd869acb0cafeb0ed25eb031a-Abstract-Conference.html.
5. REA Contributors. Reverse Engineer Anything (REA) [Электронный ресурс]. GitHub. URL: https://github.com/morluto/rea (дата обращения: 11.11.2026).
6. Калтман Э., Швайд-Линднер В., Дрей Дж., Борман А., Гарнетт А., Масинтер Л. Обзор эмуляции как метода сохранения. Совет по библиотечным и информационным ресурсам, 2025. Публикация CLIR 194. URL: https://www.clir.org/pubs/reports/an-overview-of-emulation-as-a-preservation-method/.
7. Гхимире А., Лингала С.Р., Чжан Дж., Алсулами Ф., Амсаад Ф. Обзор применения ИИ в обратном инжиниринге для анализа программного обеспечения и безопасности // IEEE Access. 2025. Том 13. С. 152903–152913. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3593456.
8. Povar B. AnyPS5: Tool for Automatic PS5 Executables Porting to Linux and Windows [Электронный ресурс]. GitHub. URL: https://github.com/boykopovar/AnyPS5 (дата обращения: 11.11.2026).
9. Европейский парламент и Совет. Директива 2009/24/ЕС от 23 апреля 2009 года о правовой защите компьютерных программ // Официальный журнал Европейского союза. 2009. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009L0024.
10.Европейский парламент и Совет. Директива (ЕС) 2019/790 от 17 апреля 2019 года об авторском праве и связанных правах на цифровом едином рынке. Статья 6 [Электронный ресурс]. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32019L0790.
11.Бюро по авторским правам США. Процесс по разделу 1201 девятого триеннале: окончательное правило и рекомендация. 2024. URL: https://www.copyright.gov/1201/2024/.
12.Соединённые Штаты. 17 U.S.C. § 1201. Обход систем защиты авторских прав [Электронный ресурс]. URL: https://www.law.cornell.edu/uscode/text/17/1201.
13.Агентство национальной безопасности. Ghidra: Software Reverse Engineering Framework [Электронный ресурс]. Официальная документация проекта. URL: https://ghidra-sre.org/ (дата обращения: 11.11.2026).

© Сакр Дыя, 2026

УДК 62

Таганов Ч., старший преподаватель,
Туркменский государственный архитектурно-строительный институт,
Ашхабад, Туркменистан,
Акыев Д., К.Х.Н., доцент,
Туркменский Государственный университет имени Махтумкули,
Ашхабад, Туркменистан,
Мамметяров Р., преподаватель,
Джанузаков Ю., студент,
Научный руководитель: Сулеймангулыев А., старший преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

STEM-ОБРАЗОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРНЫХ ДИСЦИПЛИНАХ

Аннотация

Рассмотрены концепция и дидактические основы STEM-образования (science, technology, engineering, mathematics) применительно к подготовке инженеров.

Ключевые слова:

STEM-образование; инженерная подготовка; проблемно-ориентированное обучение; интеграция дисциплин; проектная деятельность; компетенции; цифровизация образования.

STEM-образование — междисциплинарный подход, объединяющий естественно-научные (science), технологические (technology), инженерные (engineering) и математические (mathematics) знания в целостный образовательный контекст. Для инженерных дисциплин это не столько новая программа, сколько изменение способа обучения: вместо последовательного изучения физики, математики и специальных предметов студенты осваивают их в связке через решение практических инженерных задач. Рост интереса к STEM-подходу связан с цифровой трансформацией промышленности: инженеру требуются одновременно навыки моделирования, работы с данными и междисциплинарного взаимодействия, которые традиционная «линейная» структура учебных планов формирует фрагментарно.

Ядром STEM-подхода в инженерном образовании выступают проблемно-ориентированное и проектное обучение: студенты работают в командах над реальными или квазиреальными задачами (моделирование технологического процесса, расчёт конструкции, отладка автоматизированной системы), а теория осваивается по мере необходимости для решения задачи. Анализ мирового опыта показывает, что проектная активность в инженерных программах реализуется в двух направлениях: интеграция проектной деятельности в традиционные курсы и проектно-центрированные программы с полным погружением. Существенный резерв — цифровая среда: CAE-системы, виртуальные лаборатории и цифровые двойники позволяют воспроизводить промышленные объекты без доступа к производственной инфраструктуре, снижая стоимость практикумов и расширяя охват. Оценка эффективности STEM-подхода в обзорных исследованиях фиксирует рост мотивации, учебной успешности и прочности усвоения естественно-научных знаний при корректной интеграции дисциплин.

В отечественной высшей школе STEM-подход реализуется через проектную деятельность в опорных университетах, инжиниринговые центры и междисциплинарные модули. Ключевые барьеры: подготовка преподавателей к работе в интегративном формате; несогласованность учебных планов (дисциплины натурального цикла и специальные курсы ведутся независимо); материальное оснащение проектных пространств; необходимость индивидуальной и командной оценки компетенций вместо традиционных экзаменов. Отдельная проблема — преемственность со школьным STEM-образованием: качество подготовки абитуриентов инженерных направлений существенно зависит от состояния естественно-научного образования в школе.

Устойчивость STEM-подхода в инженерных программах обеспечивается институциональными механизмами качества: международными стандартами аккредитации и образовательными концепциями, в которых интеграция дисциплин является обязательным требованием, а не инициативой преподавателя. Концепция CDIO (Conceive — Design — Implement — Operate) задаёт рамку построения программ вокруг полного жизненного цикла инженерного продукта и включает 12 стандартов, регламентирующих проектное обучение, интеграцию профессиональных компетенций и оценку освоения.

STEM-образование в инженерных дисциплинах — инструмент формирования компетенций цифровой экономики: способности переносить знания между дисциплинами, работать в проектной команде и применять цифровые инструменты моделирования. Его эффективность определяется не заменой дисциплин, а качеством интеграции: проблемно-ориентированными сценариями, связкой с реальными инженерными задачами и последовательным обновлением методической подготовки преподавателей. Приоритетные направления развития — включение цифровых двойников и CAE-симуляторов в базовые практикумы, межфакультетские проектные модули и стандартизация оценки STEM-компетенций.

Список использованной литературы:

1. Цифровизация инженерного образования: практики STEM-подхода в российских университетах // Высшее образование в России. - 2020. - Т. 29, № 1. - С. 78–89.
2. Crawley E. F., Malmqvist J., Östlund S., Brodeur D. R. Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. - New York: Springer, 2007.- 302 p.

© Таганов Ч., Акыев Д., Мамметяров Р., Джанузаков Ю., 2026

УДК 62

Хасанов Р.А.
студент второго курса магистратуры
Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация
Четвертнева И.А.
д.т.н., профессор кафедры БНГС
Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация

РАСЧЁТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОСТАНОВКИ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ С УЧЁТОМ ОХЛАЖДЕНИЯ И КИНЕТИКИ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

Аннотация

Рассмотрено изменение условий гидратообразования после остановки нефтяной скважины. Цель исследования заключается в получении проверяемого критерия длительности простоя, учитывающего время охлаждения до равновесной температуры и последующее накопление кинетической экспозиции. Использована модель сосредоточенной теплоёмкости для отдельного участка неподвижной продукции. При постоянных температуре окружающей среды и давлении получено аналитическое выражение момента входа в область устойчивости гидрата. После пересечения равновесной границы вероятность регистрируемого события рассчитана в экспоненциальном приближении с постоянной интенсивностью. Введены два безразмерных параметра: положение равновесной температуры относительно начальной температуры и среды, а также отношение характерного времени охлаждения к среднему индукционному периоду. При нормированной равновесной температуре 0,5 и отношении времён, равном единице, предел вероятности 5 % соответствует безразмерной длительности остановки 0,7444. Для отношения времён от 0,25 до 2 допустимая длительность изменяется от 0,8983 до 0,7188. Показано, как неопределённость теплообмена переносится на оценку момента пересечения фазовой границы. Современные исследования взаимодействия парафина и гидратов использованы для обоснования контроля состава отложений и состояния эмульсии. Практический результат представлен расчётной последовательностью определения контрольного времени и перечнем измеряемых параметров перед возобновлением работы. Критерий может использоваться для планирования наблюдений и сопоставления мер тепловой защиты. Применение к конкретному участку ствола требует определения тепловой постоянной, равновесной температуры и кинетической характеристики продукции. Уровень вероятности задаётся исходя из эксплуатационной задачи и последствий осложнения.

Ключевые слова:

нефтяная скважина, остановка, охлаждение, газовые гидраты, кинетическая экспозиция, парафин.

Тепловое состояние скважины после остановки

Периодическая эксплуатация малодебитных скважин сопровождается охлаждением продукции в верхней части ствола. Промысловая работа И. Ф. Садикова и Д. В. Щелокова [1] связывает осложнения с недостаточным прогревом оборудования в области многолетнемёрзлых пород. Исследование К. М. Федорова и соавторов [2] показывает значение совместного расчёта движения нефти и теплообмена. При остановке перенос тепла восходящим потоком прекращается, и определяющее значение приобретает изменение локальной температуры во времени.

Для отдельного участка принят баланс сосредоточенной теплоёмкости C при эффективной тепловой проводимости в окружающую среду K. Предполагаются постоянные C, K и температура среды Tc. Внутри участка температура представлена одним значением; межфазные переходы и перемешивание по длине отдельно не описываются. При начальной температуре T_0 решение имеет вид:

$$T(t) = T_c + (T_0 - T_c)\, exp(-t / \tau_{охл}); \quad \tau_{охл} = C / K \qquad (1)$$

Здесь t обозначает время после остановки, τохл обозначает характерное время охлаждения. При C в Дж/К и K в Вт/К значение τохл выражается в секундах. Для безразмерной записи введены θ = (T − Tc)/(T_0 − Tc) и s = t/τохл. Тогда θ = exp(−s).

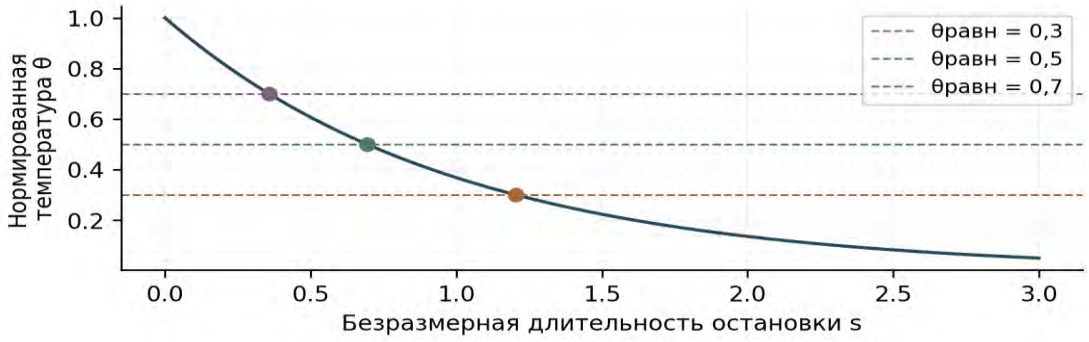


Рисунок 1 – Охлаждение участка и пересечение трёх условных равновесных температур

Тепловую постоянную можно оценить по зарегистрированному охлаждению. При принятой температуре среды зависимость ln[(T − Tc)/(T_0 − Tc)] от времени должна быть прямолинейной с наклоном −1/τохл. Систематическое искривление этой зависимости указывает на изменение эффективного теплообмена, температурную неоднородность либо ошибку в выборе Tc. Для настройки используют одну остановку, а последующую выделяют для проверки момента пересечения равновесной температуры. Участок для такой оценки выбирают по расположению датчика и ожидаемому охлаждению. Если температура стенки заметно отличается от температуры продукции, модель одной сосредоточенной теплоёмкости требует расширения. В этом случае отдельно описывают тепловую инерцию металла и жидкости, а качество упрощённого решения проверяют по остаткам измеренной температурной кривой.

Расчётное давление и состав газа определяют равновесную температуру Tравн. Их пространственные изменения учитываются в скважинных моделях [3]. В данном аналитическом случае давление и Tравн постоянны. Поэтому график характеризует проверяемый частный случай для локального участка, выделенного из общей модели ствола.

Пересечение равновесной границы и расчёт экспозиции

Если Tc < Tравн < T_0, продукция входит в область устойчивости гидрата через конечное время. Введём θравн = (Tравн − Tc)/(T_0 − Tc). Из уравнения (1) следует:

$$s_{вх} = -ln(\theta_{равн}); \quad t_{вх} = -\tau_{охл}\, ln(\theta_{равн}) \qquad (2)$$

При θравн, равном 0,3; 0,5 и 0,7, значения sвх составляют 1,2040; 0,6931 и 0,3567 соответственно. Если Tравн ≤ Tc, конечное пересечение при принятых условиях отсутствует. Если Tравн ≥ T_0, устойчивость гидрата возможна уже в начальном состоянии. Эти предельные случаи проверяются до применения логарифма. Фазовая граница зависит от состава газа и активности воды [4].

Для участка после пересечения границы принята постоянная интенсивность λ, равная обратному среднему индукционному периоду τинд. Такое приближение опирается на экспоненциальную модель контролируемых испытаний [5]; в реальной охлаждающейся продукции λ обычно зависит от времени. Обозначим b = τохл/τинд. Тогда:

$$\Lambda(s) = b\,max(0;\ s - s_{вх});\quad P(s) = 1 - exp[-\Lambda(s)] \tag{3}$$

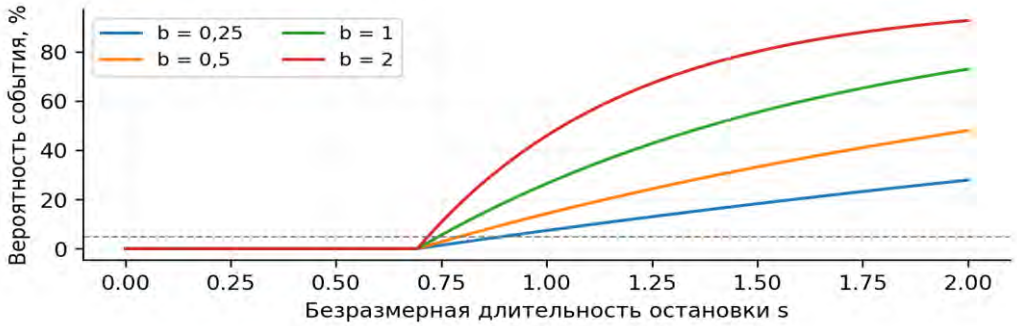


Рисунок 2 – Авторский расчёт вероятности при θравн = 0,5 и различных b

Для консервативной проверки постоянную λ заменяют верхней оценкой λв в исследованном диапазоне переохлаждений. Если на всём рассматриваемом участке λ(t) ≤ λв, то вероятность ограничена сверху выражением 1 − exp[−λв(t − tвх)] после входа в область устойчивости. Достоверность такого ограничения определяется полнотой кинетических испытаний. Оно особенно полезно при выборе первого контрольного замера, когда точная функциональная зависимость интенсивности от температуры ещё уточняется.

Интенсивность до пересечения границы в этой модели принята нулевой. Участок кривой после sвх отражает накопление времени в благоприятной области. Вероятность относится к регистрируемому началу образования гидрата. Переход к перекрытию сечения требует самостоятельной оценки роста, агломерации и отложения частиц. Подобное разделение позволяет использовать тепловой расчёт при планировании наблюдений до появления признаков ограничения проходного сечения.

Критерий длительности остановки и чувствительность

Для выбранного предела P* из уравнения (3) получено ограничение на длительность простоя. В начально безгидратной системе при 0 < θравн < 1 оно записывается следующим образом:

$$s_{доп} = -ln(\theta_{равн}) - ln(1 - P*) / b \tag{4}$$

Таблица 1

Контрольный расчёт при θравн = 0,5 и P* = 0,05

b	sвх	Дополнительное время Δs	sдоп
0,25	0,6931	0,2052	0,8983
0,50	0,6931	0,1026	0,7957
1,00	0,6931	0,0513	0,7444
2,00	0,6931	0,0256	0,7188

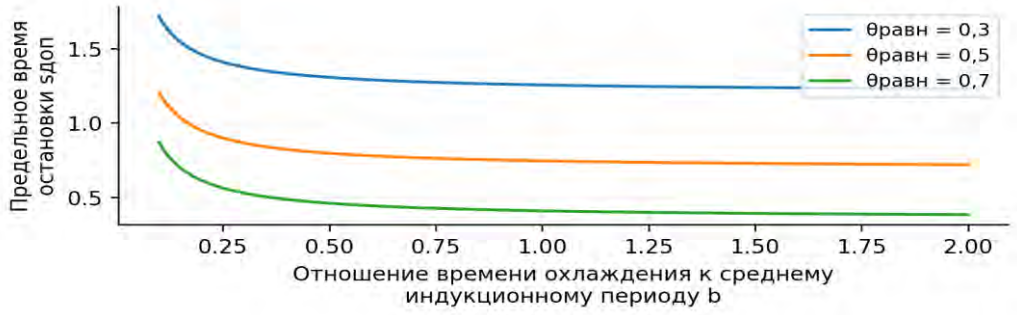


Рисунок 3 – Предельная длительность при разных θравн и вероятности 5 %

В размерной форме критерий имеет вид tдоп = −τохл ln(θравн) − τинд ln(1 − P*). Первое слагаемое определяет запас времени до входа в область устойчивости; второе определяет допускаемую экспозицию после входа. При сохранении θравн и τинд относительное изменение τохл на 25 % изменяет время входа на те же 25 %. Для b = 1 при исходном θравн = 0,5 неопределённость τохл ±25 % даёт диапазон tдоп от 0,5712 до 0,9177 исходного τохл. В расчёте меняется тепловая постоянная, а кинетический параметр сохраняется.

Влияние тепловой защиты следует проверять в размерных координатах: изменение τохл одновременно меняет b и перевод s в фактические минуты. При неизменной кинетике увеличение τохл откладывает вход в область устойчивости, тогда как добавочный допустимый интервал −τинд ln(1 − P*) сохраняется. Раздельная оценка этих слагаемых позволяет установить, какая часть полученного запаса времени обусловлена замедлением охлаждения. Если исходная температура после предшествующего рабочего цикла изменилась, θравн вычисляют заново. Следовательно, одинаковая длительность простоя после короткого и продолжительного периода работы может соответствовать разным экспозициям. В журнале наряду со временем остановки сохраняют длительность предшествующей работы и температуру в момент отключения. Эти величины определяют начальное условие теплового расчёта.

Положение фазовой границы также существенно: изменение θравн с 0,5 до 0,7 при b = 1 уменьшает sдоп с 0,7444 до 0,4080. Поэтому настройка только скорости охлаждения без определения состава газа и водной фазы оставляет значительную неопределённость. Для переменных давления и интенсивности вместо уравнения (3) используют временной интеграл λ с проверкой локального условия устойчивости на каждом шаге.

Контроль перед пуском и выводы

Работа H. Yang и соавторов [6], опубликованная в 2026 г., показывает зависимость действия парафина от структуры модельной системы: при изменении его содержания индукционный период сначала увеличивался, затем уменьшался. Эксперименты проведены с гидратом CO_2 и высокообводнённой смесью. Для нефтяной скважины этот результат обосновывает необходимость исследования совместного поведения фаз; количественные параметры соответствуют условиям исходного опыта. Российский обзор Г. Ю. Коробова и А. А. Воронцова [7] рассматривает совместное формирование гидратных и органических отложений при механизированной добыче.

Перед назначением контрольного времени определяют кривую охлаждения участка, состав свободного газа и минерализацию воды. Во время остановки регистрируют давление и температуру; после пуска сохраняют наблюдение до выхода из гидратоопасных условий. При раздельном контроле тепловой защиты и действия ингибитора можно установить, изменилось ли время пересечения фазовой границы либо время до начала события. Эти механизмы соответствуют различным моделям действия реагентов [8].

Для эксплуатационного журнала результат удобно фиксировать как прогнозное время пересечения границы, контрольный срок и измеренную температуру в этот срок. Отклонение от расчётной траектории служит основанием для пересчёта тепловой постоянной и проверки режима давления. Такая запись обеспечивает последующее сопоставление прогноза с фактической остановкой.

Полученный критерий разделяет длительность простоя на время охлаждения до равновесной температуры и дополнительную кинетическую экспозицию. При θравн = 0,5 и b = 1 ограничение вероятности 5 % даёт sдоп = 0,7444. Расчётная последовательность включает определение тепловой постоянной, проверку фазовой границы, выбор уровня вероятности и сопоставление с фактической длительностью остановки. Для эксплуатации практическим результатом служит контрольное время, уточняемое при изменении состава продукции, режима и теплового состояния ствола.

Список использованной литературы:

1. Садиков И.Ф., Щелоков Д.В. Борьба с гидратными пробками в добывающих скважинах // Нефтяное

хозяйство. 2020. № 9. С. 124–126. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-9-124-126.
2. Федоров К. М., Вершинин В. Е., Хабибуллин Р. А., Варавва А. И. Оценка глубины гидратообразования в нефтяных скважинах, расположенных в зоне вечной мерзлоты // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математические науки. Информатика. 2013. № 7. С. 83–90.
3. Duan X., Zuo J., Li J., Tian Y., Zhu C., Gong L. Prediction of Gas Hydrate Formation in the Wellbore // Energies. 2023. Vol. 16, No. 14. 5579. DOI: 10.3390/en16145579.
4. Манаков А.Ю., Стопорев А.С. Актуальные аспекты физической химии газовых гидратов и их технологического применения // Успехи химии. 2021. Т. 90, № 5. С. 566–600. DOI: 10.1070/RCR4986.
5. Metaxas P.J., Lim V. W. S., Booth C. et al. Gas hydrate formation probability distributions: Induction times, rates of nucleation and growth // Fuel. 2019. Vol. 252. P. 448–457. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.04.131.
6. Yang H., Jing J.-Q., Sun J., Tan J.-T. Study of the effect of wax on carbon dioxide hydrate formation in oil–water mixture with high water content // Petroleum Science. 2026. Vol. 23. P. 939–953. DOI: 10.1016/j.petsci.2025.09.042.
7. Коробов Г.Ю., Воронцов А.А. Исследование условий образования газогидратных и асфальтосмолопарафиновых отложений при добыче нефти механизированным способом // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334, № 10. С. 61–75. DOI: 10.18799/24131830/2023/10/4181.
8. Zulu N. M., Hashemi H., Tumba K. Chemical Inhibitors in Gas Hydrate Formation: A Review of Modelling Approaches // ChemEngineering. 2024. Vol. 8, No. 6. 124. DOI: 10.3390/chemengineering8060124.

© Хасанов Р.А., Четвертнева И.А., 2026

УДК 62

Хасанов Р.А.
студент второго курса магистратуры
Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация
Четвертнева И.А.
д.т.н., профессор кафедры БНГС
Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация

ОБВОДНЁННОСТЬ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ ОСТАНОВОК В ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЕ

Аннотация

Исследовано влияние водной фазы и повторных остановок на оценку начала гидратообразования в нефтяной продукции. Цель работы состоит в согласовании опубликованных кинетических данных с критерием вероятности события за выбранный период эксплуатации. Использованы парные значения индукционного периода при давлениях 5–7 МПа и объёмной доле воды 15 и 20 %, расчёт относительных изменений и экспоненциальная модель накопленной интенсивности. Увеличение доли воды сопровождается сокращением индукционного периода на 57,33; 14,43 и 20,92 % соответственно. Показана зависимость конечной логарифмической чувствительности к обводнённости от давления. Кинетические значения отдельных опубликованных опытов рассматриваются отдельно от статистических параметров распределения. Получено выражение для вероятности хотя бы одного события при серии условно

независимых циклов. При экспозиции одного цикла 0,02 увеличение их числа с 1 до 30 повышает модельную вероятность с 1,98 до 45,12 %. Для ограничения суммарной вероятности уровнем 5 % допустимая вероятность одного из 30 одинаковых циклов составляет 0,171 %. Расчёт дополнен современными данными о влиянии площади межфазного контакта на скорость нуклеации. Предложена последовательность проверки кинетической модели с регистрацией гидратной предыстории и состояния водной фазы. Практическое значение результата заключается в выборе единого периода оценки при сопоставлении режимов периодической эксплуатации. Полученные зависимости позволяют согласовать критерий отдельной остановки с ограничением для серии циклов. Проверка применимости к конкретной скважине требует повторных измерений при характерных составе продукции, переохлаждении и гидродинамике.

Ключевые слова:

газовые гидраты, нефтяная скважина, обводнённость, индукционный период, остановка, нуклеация.

Постановка задачи и исходные данные

В нефтяной скважине вода может находиться в каплях, в свободной фазе и в пристенном слое. Поэтому одинаковая обводнённость допускает различную площадь контакта с газом. Термодинамические условия определяют возможность существования гидрата [1], а длительность охлаждения и структура дисперсии задают условия появления регистрируемой твёрдой фазы. При периодической эксплуатации эти условия воспроизводятся многократно. Для сопоставления режимов требуется установить, за какой интервал оценивается вероятность события: за одну остановку либо за серию остановок.

Для количественного сопоставления использованы шесть значений из таблицы 3 работы X. Lv и соавторов [2]. Данные относятся к экспериментальной нефтеводной системе и сохраняют параметры исходной установки. Выполнены парные сравнения при постоянном давлении. Относительное уменьшение времени вычислено как разность значений при 15 и 20 % воды, отнесённая к значению при 15 %.

Таблица 1

Обработка опубликованных значений [2, табл. 3]

Давление, МПа	Время при 15 %, мин	Время при 20 %, мин	Сокращение, %
5	150,00	64,00	57,33
6	68,40	58,53	14,43
7	63,73	50,40	20,92

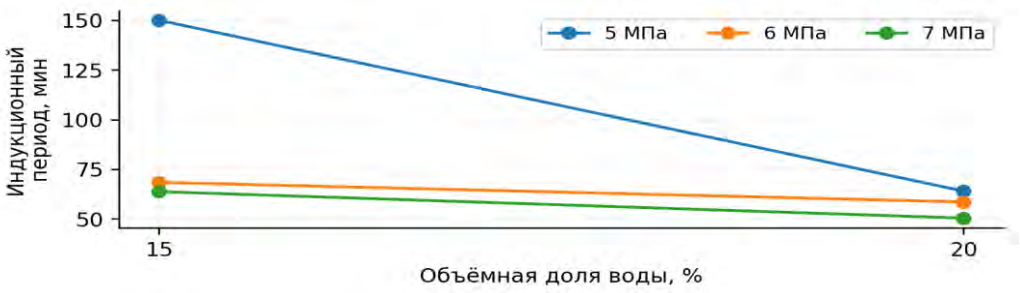


Рисунок 1 – Парное сопоставление опубликованных индукционных периодов [2]

Исходный массив содержит по одному приведённому значению для каждого сочетания факторов. Поэтому конечные различия вычисляются непосредственно, а доверительные интервалы эффекта требуют индивидуальных результатов повторов. Округление до сотых выполнено после расчёта отношений. Точки рисунка 1 соединены для выделения пар; промежуточные значения обводнённости по этим линиям не прогнозируются. Для связи обводнённости с механизмом образования следует дополнительно сохранять размер капель, характер непрерывной фазы и режим перемешивания. При

фиксированном объёме воды изменение размера капель меняет суммарную площадь межфазной поверхности. Поэтому один и тот же процент воды может соответствовать различным условиям массопереноса. Измерение этих характеристик позволяет отделить эффект количества воды от эффекта структуры эмульсии. Для оценки неодинаковой чувствительности введён конечный логарифмический показатель E. В отличие от локальной производной он характеризует только переход между двумя опубликованными составами:

$$E = ln(\tau_{20} / \tau_{15}) / ln(20 / 15) \quad (1)$$

Здесь τ_{15} и τ_{20} обозначают индукционные периоды при соответствующей объёмной доле воды. Размерность показателя отсутствует; доли воды в числителе отношения заданы на одной базе.

Обработка кинетических данных и накопление экспозиции

При 5, 6 и 7 МПа показатель E составляет соответственно −2,96; −0,54 и −0,82. Диапазон значений указывает на существенное различие отклика в рассмотренных парах. Универсальная поправка только на обводнённость сгладила бы взаимодействие факторов. Для последующего эксперимента целесообразен план, в котором давление и доля воды варьируются совместно, а статистический разброс оценивается внутри каждого сочетания условий.

Результаты P. J. Metaxas и соавторов [3] обосновывают рассмотрение распределения индукционных времён в контролируемых сериях. В принятом здесь частном случае интенсивность регистрируемого события λ постоянна, а накопленная экспозиция за время t равна λt. Тогда вероятность события определяется выражением:

$$P_1 = 1 - exp(-\Lambda_1); \quad \Lambda_1 = \lambda t \quad (2)$$

Средний индукционный период экспоненциального распределения равен 1/λ. Опубликованные одиночные значения таблицы 1 для назначения λ не использованы. Вероятностный расчёт выполнен независимо, в безразмерной форме. Это позволяет исследовать накопление экспозиции без приписывания конкретной скважине лабораторных параметров. Различие между состоянием эмульсии и количеством воды учитывается при последующей идентификации [4].

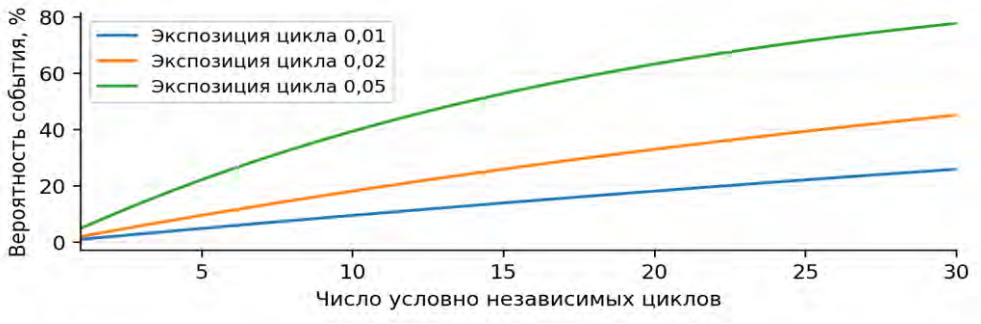


Рисунок 2 – Авторский расчёт вероятности хотя бы одного события за серию циклов

При постоянной λ оценка по серии наблюдений с правым цензурированием имеет вид $\hat{\lambda} = r/\Sigma t_i$, где r обозначает число зарегистрированных событий, а t_i обозначает длительность каждого опыта до события либо завершения наблюдения. Все испытания входят в суммарное время. Если события отсутствовали, точечная оценка равна нулю; односторонняя верхняя граница при доверительной вероятности 95 % составляет $2{,}996/\Sigma t_i$. Таким образом, серия без событий даёт количественное ограничение интенсивности, зависящее от общей длительности наблюдения.

Для одинаковых условно независимых циклов вероятность отсутствия события равна произведению вероятностей отсутствия в каждом цикле. Отсюда для n циклов получено:

$$P_n = 1 - (1 - P_1)^n = 1 - exp(-n\Lambda_1) \quad (3)$$

При $\Lambda_1 = 0{,}02$ значения P_n для 1, 5, 10 и 30 циклов составляют 1,98; 9,52; 18,13 и 45,12 %. Эти числа характеризуют вероятность хотя бы одного начала образования в серии. Для определения частоты закупорки дополнительно потребуются характеристики роста, переноса и удержания твёрдой фазы.

Критерий для серии остановок и перенос масштаба

Если задано ограничение суммарной вероятности P* за n одинаковых циклов, допустимая вероятность одного цикла определяется обратным преобразованием уравнения (3):

$$P_{1,\text{доп}} = 1 - (1 - P*)^{1/n} \quad (4)$$

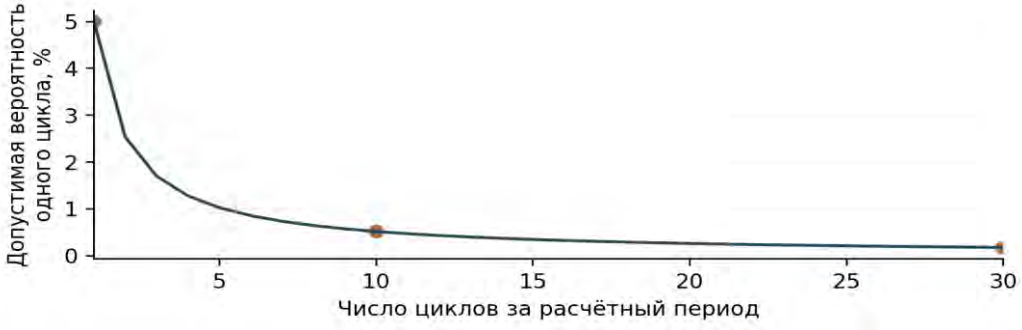


Рисунок 3 – Вероятность одного цикла при ограничении вероятности серии уровнем 5 %

При n = 10 допустимое значение составляет 0,512 %, при n = 30 составляет 0,171 %. Если длительность гидратоопасной части каждого цикла равна двум минутам, а суммарный предел принят 5 %, для 30 циклов математическое ожидание индукционного периода в постоянном экспоненциальном режиме должно быть не менее 1169,74 мин. Продолжительность две минуты и предел 5 % служат параметрами расчётного примера. Их назначение на промысле связано с выбранным периодом оценки и последствиями события.

Перенос λ между установкой и скважиной требует отдельного масштабного обоснования. C. Li и соавторы [5] сопоставили результаты установок различной геометрии и установили существенную роль площади контакта газа и воды. Для постановки соответствующего испытания удобно рассматривать $\lambda = j_a A$, где j_a обозначает интенсивность на единицу площади, A обозначает доступную межфазную площадь. Такая запись проверяется экспериментально для выбранной системы. Площадь поверхности диспергированных капель и площадь контакта свободной воды с газом определяются разными способами.

После возникновения и разложения гидрата условия последующего цикла могут измениться. Моделирование эффекта памяти I. Y. Akkutlu и соавторами [6] показывает необходимость описания гидратной предыстории. Уравнение (3) применимо к условно независимым испытаниям с сопоставимым начальным состоянием. При выявленной зависимости циклов следует определять условные вероятности либо учитывать меняющуюся интенсивность в интеграле экспозиции.

Контроль периодического фонда включает фиксацию времени охлаждения, состава фаз и процедуры восстановления исходного состояния. Продолжительность отсчитывают от входа в область термодинамической устойчивости до выхода из неё; время прогрева после пуска также входит в экспозицию, пока гидратоопасные условия сохраняются.

Практическое применение и выводы

Для настройки модели на нефтяную скважину серия опытов должна воспроизводить переохлаждение, минерализацию и гидродинамику продукции. В каждом испытании сохраняют критерий обнаружения гидрата. Незавершившиеся к концу наблюдения опыты учитывают как цензурированные, фиксируя длительность наблюдения. После оценки распределения выделяют независимую серию для проверки вероятностного прогноза.

Проверка модели включает сопоставление ожидаемой доли событий с наблюдаемой в одинаковых временных окнах. Для разных длительностей остановок экспозиции суммируют раздельно по фактическому времени каждого цикла. В журнале сохраняют момент входа в гидратоопасную область, время регистрации события и окончания наблюдения. По этим записям восстанавливают вероятность серии и проверяют, сохраняется ли интенсивность после изменения режима.

Результат применения реагента следует оценивать раздельно по задержке первого события и по

изменению подвижности суспензии. Исследования течения гидратных эмульсий [7] и полисахаридных ингибиторов [8] задают соответствующие направления испытаний. Для режима эксплуатации важны одновременно накопленная экспозиция и способность потока переносить образовавшиеся частицы.

Расчёт показал, что сокращение индукционного периода при переходе от 15 к 20 % воды зависит от давления: в рассмотренных парах оно изменяется от 14,43 до 57,33 %. Для серии остановок получен критерий, связывающий допустимую вероятность отдельного цикла с ограничением на весь период эксплуатации. При 30 одинаковых независимых циклах суммарному пределу 5 % соответствует 0,171 % на цикл. Практический результат работы состоит в выборе общего периода оценки и согласовании с ним критериев отдельных остановок. Настройка этого критерия опирается на повторные опыты, измерение структуры водной фазы и проверку сохранения гидратной предыстории.

Список использованной литературы:

1. Манаков А.Ю., Стопорев А.С. Актуальные аспекты физической химии газовых гидратов и их технологического применения // Успехи химии. 2021. Т. 90, № 5. С. 566–600. DOI: 10.1070/RCR4986.
2. Lv X., Zhang J., Zhao Y., Liu Y., Xu J., Ma Q., Song S., Zhou S. Experimental Study of the Growth Kinetics of Natural Gas Hydrates in an Oil–Water Emulsion System // ACS Omega. 2022. Vol. 7, No. 1. P. 599–616. DOI: 10.1021/acsomega.1c05127.
3. Metaxas P. J., Lim V. W. S., Booth C. et al. Gas hydrate formation probability distributions: Induction times, rates of nucleation and growth // Fuel. 2019. Vol. 252. P. 448–457. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.04.131.
4. Almashwali A. A., Bavoh C. B., Lal B. et al. Gas Hydrate in Oil-Dominant Systems: A Review // ACS Omega. 2022. Vol. 7, No. 31. P. 27021–27037. DOI: 10.1021/acsomega.2c02278.
5. Li C., Metaxas P. J., Barwood M. T. J., Johns M. L., Aman Z. M., May E. F. Dependence of Gas Hydrate Formation Kinetics on System Size from Lag Time Experiments in a Stirred Pipe // Energy & Fuels. 2025. Vol. 39, № 2. P. 1060–1069. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.4c04789.
6. Akkutlu I. Y., Arslan E., Khan F. I. Hydrate Formation with the Memory Effect Using Classical Nucleation Theory // Crystals. 2024. Vol. 14, No. 3. 243. DOI: 10.3390/cryst14030243.
7. Shi B., Ding L., Liu Y., Yang J., Song S., Wu H., Wang W., Gong J. Hydrate slurry flow property in W/O emulsion systems // RSC Advances. 2018. Vol. 8. P. 11436–11445. DOI: 10.1039/C7RA13495A.
8. Fakhreeva A. V., Nosov V. V., Voloshin A. I., Dokichev V. A. Polysaccharides Are Effective Inhibitors of Natural Gas Hydrate Formation // Polymers. 2023. Vol. 15, No. 7. 1789. DOI: 10.3390/polym15071789.

© Хасанов Р.А., Четвертнева И.А., 2026

УДК 62

Худайназаров Б., студент,
Оразова Ч., студент,
Бердиева Г., студент,
Пашыев Ю., студент,
Научный руководитель: Атаджаев А., преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

ГЕОХИМИЯ РЗЭ В РЕГОЛИТЕ И ГЛИНИСТЫХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Аннотация

В статье рассмотрены геохимические особенности формирования ионно-адсорбционных (реголит-

содержащих) месторождений редкоземельных элементов (РЗЭ).

Ключевые слова:

редкоземельные элементы, реголит, кора выветривания, ионно-адсорбционные руды, каолинит, галлуазит, десорбция, тяжёлые РЗЭ.

Ионно-адсорбционные руды РЗЭ — экзогенный тип минерализации, впервые выделенный в 1969 г. в провинции Цзянси (южный Китай). При крайне низком содержании суммы РЗЭ (0,05–0,3 мас. %) эти объекты дают около 35% добычи РЗЭ в Китае и до 80–95% мирового производства тяжёлых РЗЭ (Gd–Lu и Y). Уникальность типа определяется формой нахождения элементов: РЗЭ присутствуют не в собственных минералах, а как свободные гидратированные катионы, адсорбированные на глинистых минералах, и легко извлекаются ионным обменом — выщелачиванием раствором сульфата аммония или хлорида натрия. Формирование руды описывается схемой «мобилизация — миграция — адсорбция». В верхней окисленной части профиля выветривания растворяются восприимчивые к выветриванию минералы-носители РЗЭ: фторкарбонаты, апатит, алланит, титанит. Освобождённые ионы REE^{3+} мигрируют с инфильтрующимися метеорными водами вниз по профилю и адсорбируются в сапролите на свежеобразованных глинах — преимущественно каолините и галлуазите. Церий ведёт себя обособленно: его окисление до Ce^{4+} снижает растворимость, поэтому в верхних выщелоченных горизонтах формируются положительные Ce-аномалии, а зоны накопления РЗЭ в глубине профиля характеризуются отрицательными. Экспериментально показано (EXAFS, синхротронные методы), что ионообменная фаза РЗЭ представлена 8–9-координационными внешнесферными комплексами, закреплёнными на базальных поверхностях каолинита, а не внутреннесферными связями.

По Санэмацу и Ватанабэ, профиль qualifies как ионно-адсорбционное месторождение, если содержание ΣРЗЭ в корне выветривания превышает содержание в материнской породе более чем на 50%. Адсорбционная ёмкость глин зависит от pH: при значениях выше точки нулевого заряда каолинита растёт доля отрицательно заряженных центров, поэтому наибольшее накопление РЗЭ происходит в слабокислых и нейтральных условиях нижних горизонтов. Отмечена слабая фракционирование при адсорбции — распределение близко к изоклинному, поэтому спектр руды наследует фракционирование, возникшее на магматическом этапе.

Промышленные объекты приурочены к выветриванию существенно гранитных протолитов, реже щелочных и метаморфических пород; продуктивность растёт в ряду: песчаник < базальт < гранит. Ключевой фактор — наличие в протолите лабильных минералов РЗЭ и высокая дифференцированность гранитоидов (высокие Rb/Sr и Rb/Ba), обеспечивающая повышенные концентрации ионообменной фазы; сами валовые содержания РЗЭ в породе не являются определяющими. Субтропический и тропический муссонный климат обеспечивает длительное интенсивное химическое выветривание без чрезмерного разрушения глин: при избыточной латеритизации или слишком крутом рельефе рудные горизонты размываются. Мощность продуктивной зоны полного реголита — 5–30 м.

Ионно-адсорбционные месторождения — ведущий источник тяжёлых РЗЭ с наименьшим бортовым содержанием среди всех типов РЗЭ-руд, что компенсируется экстремальной простотой переработки и отсутствием радиоактивности в товарной фазе. Приоритетные критерии поисков: высокодифференцированные гранитоиды с лабильными минералами-носителями, слабокислые водно-окислительные условия, умеренная интенсивность выветривания. Открытие аналогичных руд на Мадагаскаре подтвердило вне-китайскую перспективность типа, а ключевой задачей является устойчивая технология добычи — традиционный кучный способ вызывает эрозию и загрязнение аммонийными стоками.

Список использованной литературы:

1. Sanematsu K., Watanabe Y. Characteristics and genesis of ion adsorption-type rare earth element deposits //

Rare Earth and Critical Elements in Ore Deposits / eds. P. L. Verplanck, M. W. Hitzman. — Littleton, CO: Society of Economic Geologists, 2016. — (Reviews in Economic Geology, Vol. 18). — P. 55–79.
2. Are South China granites special in forming ion-adsorption REE deposits? // China Geology / Huang Z., et al. — 2023. — Vol. 6. — P. 527–537.

© Худайназаров Б., Оразова Ч., Бердиева Г., Пашыев Ю., 2026

УДК 37.022

Чарыев А.Б., старший преподаватель,
институт Телекоммуникаций и информатики Туркменистана,
г. Ашхабад, Туркменистан

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, РОБОТОТЕХНИКА И ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ В STEM-ОБУЧЕНИИ

Аннотация

Рассмотрены возможности цифровых средств обучения в реализации STEM-подхода: микроконтроллерные платформы, учебные роботы, программные симуляторы и виртуальные лаборатории.

Ключевые слова:

робототехника, симулятор, виртуальная лаборатория, микроконтроллер,
цифровые образовательные ресурсы.

Charyyev A.B., senior lecturer,
Institute of Telecommunications and Informatics of Turkmenistan,
Ashgabat, Turkmenistan

DIGITAL TECHNOLOGIES, ROBOTICS, AND VIRTUAL LABORATORIES IN STEM EDUCATION

Abstract

The potential of digital learning tools for implementing the STEM approach is examined, including microcontroller platforms, educational robots, software simulators, and virtual laboratories.

Keywords:

Robotics, simulator, virtual laboratory, microcontroller, digital educational resources.

STEM-обучение опирается на практическую деятельность, а она требует оборудования, доступного не всегда и не всем. Цифровые технологии частично решают эту проблему: позволяют проводить эксперименты в виртуальной среде, повторять их неограниченное число раз и без риска повреждения техники. Одновременно физические устройства остаются необходимыми для формирования реальных навыков работы с оборудованием.

Робототехника и микроконтроллерные платформы

Учебные роботы и платформы на основе микроконтроллеров (например, Arduino) позволяют объединить в одной работе электронику, программирование, механику и теорию управления. Студенты собирают устройство, программируют алгоритм, измеряют показатели и сопоставляют результаты с расчётными. Роботы-манипуляторы лабораторного уровня особенно полезны для изучения кинематики и

систем управления, так как позволяют наглядно проверять теоретические выводы. Важным достоинством является низкий порог входа и возможность наращивать сложность заданий.

Симуляторы и виртуальные лаборатории

Программные симуляторы (физические движки, среды моделирования робототехнических систем, средства компьютерной алгебры) дают возможность изучать процессы, недоступные в реальной лаборатории из-за стоимости, опасности или масштаба. Виртуальные лаборатории удобны для предварительной подготовки: студент отрабатывает методику и порядок действий, а затем приходит к реальному оборудованию с готовым планом. К ограничениям относятся упрощённость моделей и риск формирования представления, что реальный объект ведёт себя так же идеально, как модель; поэтому задания должны включать сопоставление результатов симуляции с экспериментом.

Рекомендации по сочетанию средств

Оптимальной является смешанная схема: теоретическая подготовка и моделирование в симуляторе, затем проверка на физическом макете, затем анализ расхождений. Целесообразно использовать свободно распространяемое программное обеспечение и открытые аппаратные платформы, что снижает затраты и упрощает тиражирование методики. Для организации самостоятельной работы полезны электронные учебные курсы с заданиями, автоматической проверкой и обратной связью.

Заключение. Цифровые технологии и робототехника расширяют возможности STEM-обучения, делая практику доступной и повторяемой. Их эффективность зависит от продуманного сочетания виртуальных и реальных средств и от того, насколько задания требуют самостоятельного анализа, а не механического выполнения инструкции.

Список использованной литературы:

1. Papert S. Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas. — New York: Basic Books, 1980.
2. Чарыев А.Б., Ходжамырадов Х.Х., Гурбанов Б.Т. Роль цифровых технологий в развитии STEM образования // Наука и мировоззрение. — 2024. — № 1 (29). — С. 250–252.
3. Чарыев А.Б., Атанепесов Б.Н. Характеристики современной методики преподавания «STEM» // Научный журнал «A Posteriori». — 2023. — С. 175.
4. Чарыев А.Б., Шайымов С.С., Атанепесов Б.Н. Методы современной методики преподавания «STEM» // Лучшая исследовательская работа 2023: сборник статей. — 2023. — С. 45.

© Чарыев А.Б., 2026

УДК 62

Шохрадова М., преподаватель,
Аташов С., преподаватель,
Агаджанова А., студент,
Джурабаев А., студент,
Научный руководитель: Аннаев К., преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕПОЧЕК ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК ИСХОДНОЙ РУДЫ

Аннотация

В статье рассмотрены методические основы построения виртуальных моделей технологических

цепочек обогатительного производства, предназначенных для прогнозирования показателей извлечения ценных компонентов при изменении вещественного состава, измельчаемости и гранулометрии исходной руды.

Ключевые слова:

виртуальная модель, цифровой двойник, технологическая цепочка, обогащение руд, извлечение, геометаллургия, имитационное моделирование, машинное обучение.

Виртуальная модель технологической цепочки представляет собой совокупность взаимосвязанных балансовых и кинетических моделей отдельных переделов, замкнутых потоками оборотных продуктов. Для измельчения и классификации используются модели сепарационных характеристик аппаратов и динамические соотношения, учитывающие обратные связи схемы; такой аппарат системно разработан в отечественной традиции имитационного моделирования схем обогащения. Для флотации ключевым является описание поведения многофазных минеральных частиц с учётом степени раскрытия минералов, определяемой анализаторами типа MLA и QEMSCAN; именно такой подход реализован в модуле HSC Sim программного комплекса HSC Chemistry. Специализированные пакеты (HSC Sim, JKSimMet, JKSimFloat) позволяют оценить показатели проектируемой или действующей схемы с погрешностью, приемлемой для инженерных решений: в работе по углеродистому золотосодержащему сырью расхождение расчётного и опытного извлечения не превысило 2 %.

Принципиальное условие достоверности прогноза — привязка модели к фактическим характеристикам сырья. Наиболее продуктивной основой служит геометаллургия: пространственная модель рудного тела, увязывающая минералогию, измельчаемость и флотируемость с планом отработки, позволяет рассчитывать распределение рудных типов в потоке питания и заранее моделировать их переработку.

Виртуальная модель используется для трёх классов задач. Во-первых, прогноз «что будет, если»: при известном типе руды (содержание, твёрдость по Бонду, степень раскрытия) модель рассчитывает циркулирующую нагрузку, крупность питания флотации и ожидаемое извлечение, показывая, например, что переизмельчение или недостаточная тонина помола ведут к потерям тонких и сростковых частиц. Во-вторых, подбор режима: по результатам вычислительных экспериментов определяются крупность помола, плотность питания, время пребывания пульпы, интенсивность аэрации и дозировки реагентов, максимизирующие извлечение при заданном качестве концентрата. В-третьих, оперативное управление: гибридные модели, в которых физико-химическое ядро дополняется алгоритмами машинного обучения, калибруемыми по данным датчиков и онлайн-анализаторов, в реальном времени оценивают состояние цепочки и корректируют прогноз извлечения; коммерческие платформы такого класса дают прирост извлечения ценных компонентов на 1–3 % в контурах измельчения и флотации.

Достоверность прогноза определяется тремя факторами: адекватностью моделей переделов, качеством калибровки на исторических данных и состоянием полевого уровня КИПиА — некалиброванные расходомеры и весы обесценивают любую модель. Цифровая визуализация (3D-оболочка) без математического ядра двойником не является; критерием готовности служит способность модели рассчитать водно-шламовый баланс и показатели разделения при изменении производительности и состава руды. Развитие технологии целесообразно вести поэтапно: статическая балансовая модель — динамическая модель — интеграция с АСУ ТП в режиме реального времени.

Виртуальные модели технологических цепочек, построенные на связке геометаллургических данных, моделей переделов и производственной телеметрии, превращают прогнозирование извлечения из ретроспективного анализа в инструмент управления: предприятие заранее знает, как отреагирует фабрика на поступление новой руды, и выбирает режим до начала её переработки. Условиями внедрения остаются калибровка моделей по реальным данным и надёжная работа средств измерений.

Список использованной литературы:

1. Ламберг П. Моделирование технологий обогащения с помощью программного продукта HSC Chemistry

на основе данных о степени раскрытия минералов // Цветные металлы. — 2011. — № 10.
2. Wills B. A., Finch J. A. Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. — 8th ed. — Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016. — 512 p.

© Шохрадова М., Аташов С., Агаджанова А., Джурабаев А., 2026

УДК 62

Шохрадова М., преподаватель,
Джомартов М., преподаватель,
Атаныязова М., студент,
Худаяров М., студент,
Научный руководитель: Ашыров Ю., преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕЛЬНИЦАМИ ПОЛУСАМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ МИНИМИЗАЦИИ ПЕРЕИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Аннотация

Рассмотрены классы алгоритмов адаптивного управления мельницами самоизмельчения и полусамоизмельчения, ориентированные предотвращение переизмельчения продукта и снижение удельного расхода электроэнергии.

Ключевые слова:

мельница полусамоизмельчения; адаптивное управление; модельное управление; переизмельчение; удельный расход.

Измельчение — самая энергоёмкая операция обогатительного производства, а самоизмельчение к тому же уступает шаровому измельчению по удельной производительности, поэтому «потери» электроэнергии здесь особенно чувствительны. Переизмельчение — двойная потеря: энергия расходуется на укрупнение поверхности, не нужной для последующего обогащения, а рост циркуляционной нагрузки и расхода воды в цикле повышает нагрузку на вспомогательное оборудование. При этом мельница AG/SAG работает вблизи нелинейной границы устойчивости: рост твёрдости руды ведёт к накоплению рудной нагрузки, падению производительности и в пределе — к аварийной перегрузке барабана. Ручное управление не успевает за возмущениями, поэтому ключевой задачей автоматизации стало адаптивное управление — регулирование, подстраивающееся под изменение свойств руды.

Потребляемая мельницей мощность однозначно связана с динамикой движения рудно-шаровой загрузки: при малом заполнении энергия расходуется на удары шаров по футеровке, при чрезмерном — заряд «глохнет» в критической зоне. Кривая мощности имеет максимум при определённом заполнении; поддержание загрузки в окрестности этого максимума соответствует одновременно наилучшему использованию установленной мощности и минимальному удельному расходу энергии. Модель мощности Моррелла, учитывающая контур, скорость вращения и объёмы рудной и шаровой фаз, стала фактическим стандартом расчёта этой зависимости и основой алгоритмов удержания оптимального заполнения. Классы алгоритмов адаптивного управления. Первое поколение — регуляторы с наблюдателем твёрдости руды: экстремальное и пропорциональное регулирование загрузки по

косвенным сигналам, с пересчётом параметров модели при смене рудного типа; именно такой подход исследован применительно к мельницам мокрого самоизмельчения с выбором оптимального управляющего воздействия методом динамического программирования. Второе поколение — модельно-экспертные системы: Ф. Хёрбст и У. Пейт показали, что онлайн-оценка состояний фильтром Калмана позволяет строить самонастраивающееся супервизорное управление, динамически определяющее рабочую точку мельницы. Третье поколение — адаптивное предиктивное управление: модельное управление с предсказанием (MPC) с адаптивной идентификацией параметров, в котором ограничения задаются явно, а объект управляется как многосвязная система «мельница — классификатор»; такие стратегии продемонстрированы и сравнительно испытаны в промышленных циклах измельчения. Собственно, переизмельчение контролируется не в барабане, а в замкнутом цикле: пока флотация требует крупности, например, −74 мкм, алгоритм удерживает температуру измельчения на нижней границе допуска. Практические инструменты — управление расходом воды в мельнице и в подаче классификатора, разделение контуров крупности и производительности, ограничение времени пребывания пульпы, а также координированный переход от каскадного регулирования к предиктивному, когда ПИД-контуры отдают приоритет оптимизатору. Как показывает обзор эволюции схем управления — от распределённых ПИД к многосвязному предиктивному управлению, — именно интеграция этих уровней даёт устойчивое сокращение удельного расхода энергии.

Внедрения подтверждают эффективность подхода: супервизорное управление полусамоизмельчением с модельными оценками состояний дало рост производительности и снижение удельного расхода энергии в промышленных циклах; экспертное управление мельницами, реализованное на фабриках AngloGold Ashanti, позволило удерживать загрузку в безопасной зоне при изменчивости руды. Типичные результаты современных внедрений — однопроцентные-двузначные проценты прироста производительности при сохранении крупности, что прямо эквивалентно снижению удельного энергопотребления. Ключевым условием работоспособности остаётся качество онлайн-оценки внутренних состояний мельницы, поэтому развитие алгоритмов сегодня связано с гибкими измерениями — акустикой, виброметрией, модельными «программными датчиками».

Список использованной литературы:

1. Барский Л.А., Козин В.З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых.- М.: Недра, 1978. - 486 с.
2. Desbiens A., Pomerleau A.,Najim K. Adaptive predictive control of a grinding circuit // International Journal of Mineral Processing.-1994.,Vol. 41.- P.17.

© Шохрадова М., Джомартов М., Атаныязова М., Худаяров М., 2026

УДК 62

Шохрадова М., преподаватель,
Ашыров Ю., преподаватель,
Атаныязова М., студент,
Худаяров М., студент,
Научный руководитель: Реджепова Г., старший преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА КРУПНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ, КОНТРОЛЯ ПЕННОГО ПРОДУКТА ФЛОТАЦИИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ФУТЕРОВКИ МЕЛЬНИЦ

Аннотация

Рассмотрены три направления применения искусственных нейросетей в управлении

измельчительно-флотационным комплексом: косвенная оценка крупности измельчённого продукта, видеоанализ пенного продукта флотационных машин с классификацией структуры пены и прогнозированием показателей обогащения.

Ключевые слова:

искусственная нейронная сеть, мягкий датчик, крупность измельчения, гранулометрия, пенный продукт, флотация.

Три измерения исторически ограничивали автоматизацию обогатительного передела: крупность продукта измельчения, состояние пенного слоя флотомашин и износ футеровки мельниц. Нейронные сети — многослойные перцептроны, временные (recurrent и time-delay) сети, свёрточные сети для изображений и звука - позволяют построить косвенные измерения: по легкодоступным сигналам оценивать переменные, прямое измерение которых затруднено. Тем самым нейросеть выступает как «программный датчик», встраиваемый в контуры управления. Типовая архитектура - временная нейронная сеть с запаздывающими звеньями, на вход которой подаются производительность питания, ток и мощность привода, давление и перепад на гидроциклонах, расход воды. В работе Й.-Д. Ко и Х. Шанга такая сеть построена для мельницы полусамоизмельчения и воспроизводит крупность продукта с задержкой, свойственной процессу, что делает оценку пригодной для управления в реальном времени. Практически важны две меры предосторожности: во-первых, выборка должна покрывать все рабочие режимы и рудные типы; во-вторых, периодическая ручная калибровка по ситовым анализам остаётся обязательной.

Пена флотации несёт визуальную информацию о ходе процесса: размер и стабильность пузырей, цвет, контраст, скорость движения пены к пеногасителю коррелируют с качеством и извлечением. Первые промышленные системы строились на статистическом анализе текстуры цифровых изображений пены и классификации её структур нейронными сетями: методика была отработана на промышленных флотационных машинах и показала возможность автоматической замены визуальной оценки оператора. Современное поколение - свёрточные нейросети, выделяющие сегменты пузырей и переходящие от интегральных характеристик к покомпонентному описанию пены. В контуре управления видеокамеры объединяются с измерителями уровня и расхода воздуха: машинное зрение даёт быстрый сигнал обратной связи, на основе которого строятся стратегии управления флотационными банками - изменение расхода воздуха, высоты слоя пены и дозировок реагентов. Экономически значимый эффект достигается именно в сочетании с управлением: стабилизация структуры пены позволяет удерживать кампанию реагентов в узком диапазоне при изменчивости питания. Износ футеровки - главный фактор доступности мельниц: обрыв плитки останавливает секцию на сутки, а «глухой» износ ведёт к изменению динамики загрузки, падению производительности и повреждению корпуса. Нейросети применяются здесь в двух контурах. Первый - обработка данных датчиков на корпусе мельницы: вибродатчики, фиксирующие удары заряды о футеровку, и акустические датчики позволяют оценивать положение плеча загрузки и степень износа в непрерывном режиме; такие системы предназначены для защиты футеровки от ударного износа шарами и для онлайн-аналитики состояния мельницы. Второй контур - прогнозирование ресурса: по измеренным профилям износа нейросетевая модель прогнозирует остаточный ресурс комплектов, позволяя планировать остановки на замену. Общие для всех трёх направлений риски — дрейф моделей при изменении руды и реагентного режима, недостаточная представительность обучающих выборок и потеря доверия операторов к «чёрному ящику». Меры: параллельная работа нейросетевого датчика и физического измерения в переходный период, автоматический контроль достоверности и пересчёт при смене рудной базы.

Нейросетевые методы превращают три слабых звена цепочки «измельчение — классификация — флотация» — запаздывающий контроль крупности, субъективную оценку пены и эпизодический контроль

футеровки — в непрерывные измерения, пригодные для автоматического управления. Ключевым условием остаётся дисциплина данных: представительные обучающие выборки, регулярная калибровка и валидация по физическим измерениям. При соблюдении этих условий нейросетевые «программные датчики» дают фабрике одновременно и стабилизацию технологических показателей, и снижение аварийности мельниц.

Список использованной литературы:

1. Shean B. J., Cilliers J. J. A review of froth flotation control // International Journal of Mineral Processing. — 2011. — Vol. 100, № 3–4. — P. 57–71.
2. Ko Y.-D., Shang H. Time delay neural network modeling for particle size in SAG mills // Powder Technology. — 2011. — Vol. 205, № 1–3. — P. 250–262.

© Шохрадова М., Ашыров Ю., Атаныязова М., Худаяров М., 2026

УДК 62

Шохрадова М., преподаватель,
Уткиров А., студент,
Хайдаров Ш., студент,
Научный руководитель: Реджепов А., старший преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

ТЕХНОЛОГИИ ДООБОГАЩЕНИЯ СТАРЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Аннотация

Рассмотрены предпосылки и технологические решения дообогащения старых хвостов обогатительных фабрик и промывочных установок.

Ключевые слова:

хвостохранилище; техногенное сырьё; дообогащение; комбинированные методы; гравитационная сепарация; десульфуризация.

Хвостохранилища старых фабрик — крупнейший неиспользованный ресурс горнодобывающих отраслей: переработка длилась десятилетиями при неизмеримо худших показателях флотации, классификации и контроля, поэтому потери ценного компонента в хвостах эпохи 1930–1970-х годов кратно превышают современные. Дополнительный стимул - экологический: хвостохранилища сульфидных руд являются потенциальными источниками кислотного дренажа и выноса тяжёлых металлов, а их консервация требует капитальных затрат на протяжении неопределённого срока. Дообогащение решает обе задачи одновременно — извлекает ценный компонент и удаляет из хвостов «активную» часть (сульфиды), снижая долговременную токсичность массива. Методология перехода к хвостохранилищам как источникам вторичных ресурсов сформулирована в концепции «проектирования хвостов»: хвосты рассматриваются как будущий материал для переработки, а не как конечные отходы. Переработка старых

хвостов начинается не с выбора аппаратов, а с достоверной характеристики массива. Ключевые факторы: вещественный состав по горизонтам, гранулометрия, водная насыщенность и содержание ила, состояние дамб. Минералогическая зональность сульфидных хвостов, возникающая при вторичных процессах, описана на примерах медно-порфировых хвостохранилищ: распределение вторичных сульфидов и оксидов железа определяет как флотируемость, так и кислотогенерирующий потенциал зон. Вывод: технологическая схема дообогащения должна строиться по зонам, а не по среднему составу хвостохранилища.

Первый этап в типовых схемах — обесшламливание и классификация: до 30–50 % массы старых хвостов составляют шламы с низким содержанием ценного компонента, которые направляются в отвальный поток либо на закрепление. Далее используются комбинированные методы в зависимости от ценного компонента. Для благородных металлов и крупных классов — центробежная гравитационная концентрация, эффективная на материалах с плотной вкрапленностью; аппаратная база гравитационного обогащения систематизирована в монографии Р. Бёрта. Для железных руд и тяжёлых минералов — магнитная и высокоградиентная сепарация по характеристикам, описанным в отечественном руководстве. Для сульфидсодержащих хвостов ключевая операция — флотационная десульфуризация: удаление пирита и пирротина в сульфидный концентрат одновременно снижает кислотогенерирующий потенциал массива и позволяет перефлотировать оставшиеся ценности из более чистого продукта. Для тонких, переизмельчённых и окисленных хвостов физическое обогащение неэффективно, и экономика определяется гидрометаллургией. Для золотых хвостов — цианирование с современной подготовкой пульпы; технологическая база процесса систематизирована в монографии Марсдена и Хауса. Для сульфидных хвостов с низким содержанием металлов — бактериальное выщелачивание: биоокисление сульфидов природными ацидофильными микроорганизмами позволяет извлекать медь, цинк, кобальт и никель из материалов, непригодных для плавки, и одновременно переводит сульфидную серу в малоподвижную сульфатную форму. Перспективно комбинирование: предварительная флотационная концентрация хвостов с последующим бактериальным выщелачиванием концентрата — при этом объём гидрометаллургической операции сокращается в десятки раз, а хвосты выщелачивания пригодны для безопасного складирования.

Целевая функция комбинированной схемы двояка: максимум извлекаемой ценности при минимуме остаточного экологического риска. Экономика определяется глубиной переработки — извлечение дорогих металлов оправдывает даже крупные капитальные вложения, тогда как переработка дешёвых продуктов требует минимальных капитальных затрат и мобильных установок. Экологический эффект выражается не только в снижении кислотного дренажа, но и в освобождении площадей хвостохранилищ для рекультивации или повторной отсыпки — что для действующих фабрик сокращает капитальные вложения в новые гидротехнические сооружения. Критерием выбора схемы является не максимальное извлечение ценного компонента, а минимум совокупных затрат с учётом освобождения площадей и устранения экологического обязательства хвостохранилища. Главным фактором успеха остаётся обследование массива: технологическая схема, построенная по средней пробе хвостохранилища, почти всегда неадекватна его вертикальной и горизонтальной зональности.

Список использованной литературы:

1. Lottermoser B. G. Mine Wastes: Characterization, Treatment, Environmental Impacts. — 3rd ed. — Berlin: Springer, 2010. — 400 p.

2. Burt R. O. Gravity Concentration Technology. — Amsterdam: Elsevier, 1984. — 605 p.

© Шохрадова М., Уткиров А., Хайдаров Ш., 2026

УДК 62

Эльясов Э., преподаватель,
Оразов О., преподаватель,
Шамаммедова О., преподаватель,
Сайылова А., преподаватель,
Научный руководитель: Нурмырадов Б., преподаватель,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

ВОДОРОДНЫЕ ПРОЕКТЫ НА БАЗЕ ПОПУТНОГО ГАЗА; «ГОЛУБЫЙ» ВОДОРОД

Аннотация

Рассмотрены технологические и экономические аспекты производства «голубого» водорода на основе попутного нефтяного газа (ПНГ).

Ключевые слова:

«голубой» водород, попутный нефтяной газ, паровая конверсия метана, автотермический риформинг, улавливание и захоронение.

«Цветовая» классификация получения водорода связана с углеродным следом: «серый» водород из метана сопровождается эмиссией ~10 кг CO_2 на 1 кг водорода; «голубой» — получают той же паровой конверсией метана (SMR) либо автотермическим риформингом (ATR), но с улавливанием и постоянным захоронением CO_2 (CCS). Для нефтедобывающих стран ПНГ особенно привлекателен: он уже поднят на поверхность, требует минимальной подготовки и в отсутствие инфраструктуры вывоза сжигается на факелах. Конвертация ПНГ в водород превращает источник выбросов метана и CO_2 в товарный низкоуглеродный продукт. Классическая схема SMR включает два этапа: конверсию метана с паром в синтез-газ (CO + H_2) с последующей конверсией водяного газа и очисткой под давлением. Установки SMR с эффективностью до 75% дают ~10 т CO_2 на 1 т водорода; внедрение CCS снижает энергетическую эффективность до ~60% и увеличивает себестоимость более чем на 30%, а добавление систем улавливания даёт 20–40% к цене продукта. В реальных промышленных объектах (Shell Quest, Канада) фактическая эффективность улавливания колебалась от 53 до 90% при среднем значении около 78,8%, что ниже проектных величин. Пиролиз метана — термическое разложение на водород и твёрдый углерод без выбросов CO_2 — рассматривается как «бирюзовая» альтернатива: она энергетически дешевле электролиза в 2,5–10 раз и не требует CCS, однако уровень готовности решений невысок, а маркетинг твёрдого углерода становится самостоятельной задачей.

Интеграция генерации водорода в промысловую энергетику показана в работе Е.К. Соложенко: установка парового риформинга метана размещается в структуре производства электроэнергии на газотурбинных установках нефтегазового промысла, полученный водород смешивается с попутным газом и используется как более эффективное и низкоуглеродное топливо, а диоксид углерода размещается в геологических формациях. Схема даёт тройной эффект: сокращение эмиссии CO_2 энергоблока, утилизация ПНГ вместо факельного сжигания и отказ от приобретения сетевого топлива. Для промысловых условий особенно важно, что сырьё очищается по двухступенчатой схеме (гидрогенизатор с кобальт-молибденовым катализатором + цинковый поглотитель ZnO) с переводом меркаптанов в сероводород, поскольку ПНГ содержит соединения серы, деактивирующие никелевый катализатор риформинга. Альтернативный вариант внедрения — подача водородно-метановых смесей в магистральные и распределительные сети: исследования показывают, что выбросы «скважина — сжигание» для смеси с 20% водорода снижаются лишь при высоких степенях улавливания CO_2, тогда как при отсутствии CCS они

даже растут. Дополнительный резерв — «внутрипластовая» генерация водорода: подача кислородсодержащих смесей в пласт с контролируемым окислением углеводородов и последующим отбором водородсодержащего газа. В резонансной оценке Хауэрта и Якобсона при утечках метана 3,5% и 20-летнем потенциале глобального потепления «голубой» водород оказывается лишь на 9–12% чище «серого», а его след соизмерим со следом сжигания природного газа. Противоположный вывод дают расчёты с низкой утечкой (<1%) и глубоким улавливанием (>90%): сокращение выбросов достигает 70% и более по сравнению с «серым» водородом. Сопоставление трёх технологий для газодобывающих регионов подтвердило преимущество ATR с полным улавливанием при высокой доле CO_2 от дымовых газов. Общий консенсус исследований: климатическая ценность «голубого» водорода резко падает при утечках метана, характерных для нефтегазодобычи, — что делает связку «водородный проект — сокращение выбросов метана на промысле» обязательной, а не опциональной. По данным обзора Hydrogen Council, ATR с улавливанием 98% на «сладком» газе даёт след 1,5 кг CO_2-экв./кг, SMR с улавливанием 75% — 2,7 кг CO_2-экв./кг.

Климатическая ценность водородных проектов определяется тремя условиями: низкой утечкой метана на всём цикле добычи, высокой и фактической степенью улавливания CO_2 с обязательным захватом дымовых газов и надёжным захоронением в геологических структурах. При выполнении этих условий интеграция SMR/ATR в промысловую энергетику с подмешиванием водорода к попутному газу даёт быстрый эффект без перестройки инфраструктуры, а «бирюзовый» пиролиз — среднесрочную альтернативу при решении проблемы сбыта твёрдого углерода.

Список использованной литературы:

1. Почанин Ю.С. Водородное топливо. Производство, хранение, использование. — СПб.: Наукоёмкие технологии, 2023. — 254 с.

2. Аксютин О.Е. Чистый водород из природного газа // Газпром. Отраслевой журнал. — 2020. — URL: gazprom.ru.

© Эльясов Э., Оразов О., Шамаммедова О., Сайылова А., 2026

УДК 62

Яранова Д., преподаватель,
Аймухуммедов Р., студент,
Ашырова Г., студент,
Дурдыев М., студент,
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
Ашхабад, Туркменистан

ВТОРИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ: БИОДЕГРАДАЦИЯ, СУЛЬФАТРЕДУКЦИЯ

Аннотация

Рассмотрены два главных процесса вторичного преобразования углеводородных залежей — внутрирезервуарная биодеградация нефти и редукция сульфатов.

Ключевые слова:

биодеградация нефти, тяжёлые нефти, нафтеновые кислоты; шкала биодеградации; метаногенез; бактериальная сульфатредукция.

Вторичными изменениями называют процессы, преобразующие состав и свойства флюидов после их генерации и аккумуляции: биодеградацию, сульфатредукцию, водное вымывание, осаждение асфальтенов, дегазацию. Наибольшую ресурсную значимость имеют первые два: внутрирезервуарная биодеградация сформировала большинство мировых запасов тяжёлых нефтей и битумов, а сульфатредукция определяет качество газа через рост сероводорода. Установлено, что основная часть мировой нефти была биодеградирована в анаэробных условиях, при этом побочным продуктом часто служил метан. Диагностика и количественная оценка этих процессов напрямую влияют на подсчёт запасов и выбор технологий разработки. Ключевые контроли биодеградации сформулированы в обобщающей работе Лартера и соавторов: процесс протекает анаэробно в любом резервуаре, имеющем водяную оторочку, при температурах не выше 80 °C, а скорость зависит от температуры и химического состава деградируемых компонентов. Данные Окаменелых сообществ и прямых измерений указывают на «биореактор» в переходной зоне нефть–вода: там численность микроорганизмов на 1–2 порядка выше, чем в самой нефтяной колонке, а градиенты вязкости и состава от кровли к подошве пласта формируются диффузионным питанием этой зоны. Существенную роль играет солёность пластовых вод: высокая палеосолёность стерилизует сообщества и сохраняет слабо изменённые нефти. Пастеризация при погружении выше ~80 °C необратимо подавляет биодеградацию даже при последующем охлаждении бассейна при воздымании. Последовательность деградации углеводородов известна: первыми разрушаются лёгкие н-алканы, далее изопреноиды и ароматика; асфальтены наиболее устойчивы. Степень изменённости количественно описывается шкалами - PM и усовершенствованной шкалой Лартера–Хуанга, разрешающей уровни от PM 5 до 8 по индексам использования алканов, нафтенов и алкилбензолов. Диагностическими признаками тяжёлой биодеградации служат образование 25-норгопанов и нафтеновых кислот; современные масс-спектрометрические методы показывают, что полярные смолисто-асфальтеновые компоненты не только сохраняются, но и синтезируются в процессе разрушения углеводородов. Метаболиты анаэробного окисления доказали, что биодеградация идёт в глубоко залегающих резервуарах повсеместно. Кинетика процесса принципиально медленна: нефть деградирует на геологических временах, что ограничивает её использование в управляемых биореакторах. Ассоциация сульфатов и углеводородов термодинамически неустойчива в любых диагенетических обстановках, и сульфат восстанавливается двумя путями: бактериальным (БСР) и термохимическим (ТСР). По обобщению Махела, эти процессы реализуются в двух взаимоисключающих температурных режимах: БСР — при 0–60–80 °C, ТСР — выше 100–140 °C, при зрелости свыше ~1,5% R_o; в интервале 80–100 °C оба процесса подавлены. Продукты обоих путей сходны: сероводород, карбонаты, пирит и обеднение нефтей серосодержащими структурами, но изотопный фракционировочный эффект различен — при бактериальной редукции обеднение продукта по ^{34}S достигает десятков промилле, тогда как ТСР даёт малое фракционирование.

Термохимическая сульфатредукция — главный источник высокого сероводорода в глубоких газовых и газоконденсатных залежах: реакции окисления углеводородов сульфатом приводят к «закислению» газа и вторичным коллекторским изменениям. Изотопные и молекулярные маркеры позволяют отделять ТСР от первичной сернистости нефти. Бактериальная сульфатредукция в свою очередь контролирует процессы разработки: поступление сульфатов с нагнетаемой водой активирует сульфатредуцирующие бактерии и вызывает обводнение продукции сероводородом, закисление и коррозию оборудования. Биодеградация и сульфатредукция формируют две крайности вторичного спектра: одна переводит обычную нефть в тяжёлую высоковязкую с повышенным содержанием серы и кислотности, другая — «закисляет» газ и разрушает качество конденсатов. Прогноз этих изменений требует совместного анализа термической истории бассейна, солёности и сульфатности пластовых вод, геометрии резервуара и данных по биомаркерам и изотопам серы. Практическое значение двойственно: тяжёлые биодеградированные нефти — крупнейший ресурс, извлекаемый тепловыми методами и биоразработкой, а зоны ТСР и БСР

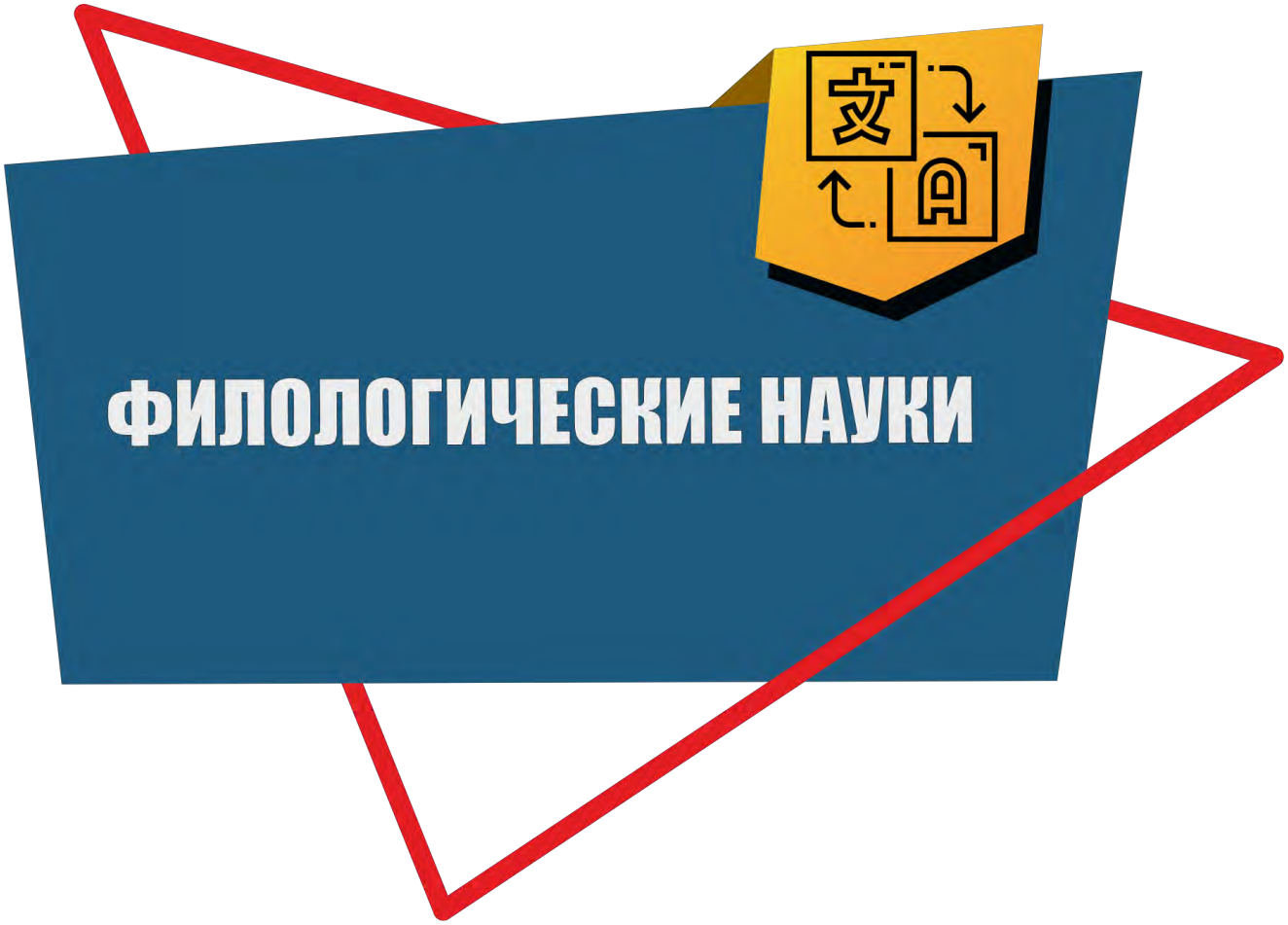
требуют контроля при выборе объектов и ингибиторных схем.

Список использованной литературы:

1. Head I.M., Jones D.M., Larter S.R. Biological activity in the deep subsurface and the origin of heavy oil // Nature. - 2003.- Vol. 426, № 6964. - P. 344.

2. Wilhelms A., Larter S. R., Head I., Farrimond P., di-Primio R., Zwach C. Biodegradation of oil in uplifted basins prevented by deep-burial sterilization // Nature. — 2001. — Vol. 411. — P. 1034–1037.

© Яранова Д., Аймухуммедов Р., Ашырова Г., Дурдыев М., 2026


ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 8

Baymyradova Bahar,
Deputy Dean for research of
Seyitnazar Seydi Turkmen State Pedagogical Institute,
Merdanova Nazikjemal,
The 1st year student of
Seyitnazar Seydi Turkmen State Pedagogical Institute,
City Turkmenabat, Turkmenistan

THE STYLISTIC ISSUE OF TRANSLATING LITERARY WORKS

Abstract

Translating from one language to another is perhaps one of the most universal of all human activities. This is not merely a common activity; rather, it is one of the most complex and compelling endeavors. Conveying meaning from one language to another brings people together, facilitates the sharing of cultures, allows for the exchange of experiences, and highlights the commonalities shared between individuals. By transferring the communicative value of the original language into the target language, a translator enables the exchange of information between speakers of different languages. Translation theory provides the translator with the necessary data for analysis and generalization; it guides them on what to look for within a text, and helps them express ideas accurately and achieve their intended objectives in the target language.

Keywords:
translation theory, literary works, stylistic devices, language.

Literary translation — specifically the translation of poetic and artistic works — differs fundamentally from other forms of translation. It demands linguistic artistry and literary talent from the translator, as the same sentence can be rendered in vastly different ways by different individuals. This form of translation is a true art, as its aesthetic impact is achieved through the precise selection of appropriate linguistic tools. Translating literary works is no easy task. This type of translation not only broadens one’s perspective and worldview but also enriches the Turkmen language, alongside the foreign language involved. [3, p. 341]

Translating literary works is, in truth, a creative process. One could even call the translator of such works a writer; when translating a book or a piece from a foreign language, they are, in effect, recreating it. Professional translators consider the translation of literary works to be the most challenging aspect of their profession. It cannot be compared to technical or routine translation, where there is no requirement to preserve the specific sentence structure and stylistic nuances of the original.

Regardless of the language in which a literary work was originally written, a literary translation must preserve the author's style. At the same time, such a translation should not be literal; rather, it requires a greater degree of freedom—though this does not mean it lacks precision. A key characteristic of literary translation is its deep connection to the specific features of the original text. Translators must frequently work with idiomatic expressions and other artistic nuances of the language. A word-for-word translation causes the text to lose its meaning; to prevent this, the translator must be able to identify equivalent expressions in the target language. The artistic style is perhaps the least analyzed of all existing styles, as it is the one that evolves most rapidly in terms of creativity. It encounters no obstacles in its path of development.

A translator may either employ the stylistic devices found in the original text or, where that is not possible,

utilize alternative means to convey the emotional impact of the text. This is the principle of stylistic compensation; K. I. Chukovsky remarked on this, stating: "One should not render a metaphor with a metaphor, a simile with a simile, a smile with a smile, or tears with tears" [1, p. 79]. For a translator, the function of a stylistic device is more important than its form. This implies a certain degree of freedom: grammatical means can be expressed through lexical means, and vice versa.

When dealing with stylistic and artistic devices—such as similes, metaphors, and others—the translator must decide in each instance whether to retain the original image or to substitute it. Such substitutions may be necessitated by considerations of usage or equivalence [2, p. 174].

Translating an author's unique, expressive touches is far more challenging. Often, a literal translation proves insufficient, and a substitution becomes necessary. Such instances demand a particularly creative approach. In English, there are metaphorical constructions where a noun—indicating a quality—is followed by the preposition "of" and another noun... Epithets are frequently used. Such phrases are very expressive and always consist of an adjective + a noun.

Thus, there is a wide variety of means used to present information in a literary text. For this reason, it is impossible to translate it without making changes. Such devices include the following:

Epithets – translated based on their structural and semantic characteristics (e.g., simple vs. compound adjectives; the degree to which the standard semantic agreement with the modified word is maintained).

Similes – translated based on their structural features and the stylistic nuances inherent in their vocabulary.

Metaphors – translated based on their structural properties and the semantic relationship between the figurative (imagistic) plane and the literal (referential) plane.

Authorial neologisms – translated using linguistic constructions that correspond to the stylistic nuances employed by the author in the original text.

Phonetic, morphemic, lexical, and syntactic repetitions – translated based on the number of repeated elements and the underlying principle of the repetition.

Irony – translated through the principle of contrasting juxtaposition, involving the placing of elements in opposition that are not inherently contradictory.

Syntactic features of the original text – such as the contrast between long and short sentences or the predominance of compound sentence structures – are translated using corresponding grammatical equivalents.

Dialectisms – typically translated using standard (neutral) vocabulary.

Not all of these elements can be employed with absolute precision; therefore, any... In translation, the following occurs: A portion of the information is lost and cannot be recovered. A portion of the information is not presented in its original form; instead, various substitutions and equivalents are employed. [4, p. 116]

For these reasons, any translation inevitably involves certain changes when compared to the original text. The accuracy of a translation depends on the extent of these changes; therefore, they should be kept to a minimum. Consequently, a proper translation requires the translator to employ specific substitutions—avoiding literal, word-for-word translation—and to strive for semantic equivalence.

References:

1. Н. Ф. Читалина “Учитесь переводить”, Москва, 1975
2. С. Власов, С. Флорин “Непереводимое в переводе”, Москва, 1978
3. Bell, T. Roger “Translation and Translating”, Longman, 1991
4. Peter Newmark “Paragraphs on Translation”, Multilingual Matters Ltd., 1993

© Baymyradova B., Merdanova N., 2026

УДК 81`373

Баранова М.Д.
студент-бакалавр 4 курса
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),
Санкт-Петербург, РФ
Научный руководитель: Анисимова О.В.,
к. фил. н., доцент
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),
Санкт-Петербург, РФ

СТРАТЕГИИ И ПРИЕМЫ ПЕРЕВОДА ФОЛЬКЛОРНЫХ И МИФОЛОГИЧЕСКИХ ОНИМОВ В СКАЗКЕ ДЖ. Р. Р. ТОЛКИНА «ФЕРМЕР ДЖАЙЛС ИЗ ХЭМА»

Аннотация

В статье исследуются особенности передачи фольклорно-мифологических онимов в русских переводах повести Дж. Р. Р. Толкина «Фермер Джайлс из Хэма». Актуальность связана с недостаточной изученностью перевода культурно-маркированной лексики в сказках с академической стилизацией и иронией. Цель работы — сопоставить стратегии и приёмы перевода мифонимов, мифотопонимов и артефактонимов в версиях Н. Л. Рахмановой и Г. В. Усовой. Анализ показал, что решения переводчиков определяются балансом доместикации и форенизации.

Ключевые слова:
мифонимы, артефактонимы, фольклорные онимы, стратегия доместикации, форенизация, переводческие трансформации

Baranova M.D.,
4th-year bachelor’s student
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU),
Saint Petersburg, Russia
Scientific supervisor: Anisimova O.V.,
PhD in philology, associate professor
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU),
Saint Petersburg, Russia

STRATEGIES AND TECHNIQUES OF TRANSLATING FOLKLORE AND MYTHOLOGICAL ONYMS IN J. R. R. TOLKIEN’S TALE “FARMER GILES OF HAM”

Annotation

The paper examines rendering folklore and mythological onyms in Russian translations of J. R. R. Tolkien’s tale “Farmer Giles of Ham”. Its relevance stems from the limited study of translating culturally marked lexis in tales combining scholarly stylization and irony. The aim is to compare strategies and techniques for rendering mythonyms, mythotoponyms, and artifactonyms by N. Rakhmanova and G. Usova. The analysis shows that their choices depend on balancing domestication and foreignization.

Key words:
mythonyms, artifactonyms, folklore onyms, domestication strategy, foreignization, translation transformations.

Художественное наследие Дж. Р. Р. Толкина традиционно привлекает внимание исследователей

преимущественно в контексте его масштабных эпических произведений. Между тем специфика авторской мифопоэтики и лингвокреативного метода писателя раскрывается с особой наглядностью в малой сказочной прозе. Ярким тому примером является повесть «Фермер Джайлс из Хэма» (Farmer Giles of Ham, 1949). В отличие от героического эпоса, данное произведение строится на сложной жанровой контаминации: это авторская сказка, пародия на рыцарский роман артуровского цикла и одновременно филологическая мистификация, стилизованная под средневековую британскую латинскую хронику.

Фольклорный и мифологический пласт существует в неразрывной связи с авторской иронией и псевдоэтимологическими «штудиями». Как отмечает В.Е. Чернявская, «Содержательное ядро интертекстуальной открытости составляют ее межтекстовая и межсубъектная проекции, обеспечивающие в единстве реализацию основной функции интертекстуальности – выступать как средство тексто- и смыслопорождения» [10, с. 107]. Толкин намеренно совмещает аутентичные фольклорные мотивы (нашествие великана, драконоборчество, обретение чудесного меча) с комическим переосмыслением сказочного канона. Британский исследователь Т. Шиппи справедливо называет эту сказку образцом «linguistic humour is paramount» – языковой юмор занимает центральное место, а ключевые сюжетные повороты и номинации вырастают из языковой игры и псевдоисторических аллюзий. [15, с. 114].

Как показывает О.В. Анисимова, обращение Толкина к мифопоэтическим образам носит двойственный характер: «в ряде случаев в текст современного произведения «встраивается» классический набор их символических значений; порой писатели-фантасты, отталкиваясь от изначальных трактовок, предлагают новые интерпретации, тем самым расширяя границы толкования символического содержания древнейших образов» [2, с. 13]. Именно такая стратегия переосмысления реализуется в образе дракона Хризофилакса.

Перевод подобного многоуровневого текста сразу ставит проблему сохранения амбивалентности авторского слова. Имена собственные, обозначающие персонажей, локации и артефакты, оказываются ключевыми носителями интертекстуальных связей и прагматической установки оригинала. В теории художественного перевода онимы с культурной семантикой традиционно считаются одним из наиболее уязвимых компонентов. Л. С. Бархударов указывает, что при отсутствии прямого эквивалента переводчик вынужден прибегать к комплексу трансформаций, направленных на преодоление межъязыковой ассиметрии [3]. И. С. Алексеева подчеркивает, что имена собственные представляют объект «как особое, исключительное, не обобщаемое явление в мире» и поэтому требуют особого внимания при передаче [1, с. 186].

Под онимами в данной работе понимаются имена собственные, функционирующие в художественном тексте и обладающие культурно-исторической и символической семантикой. В лингвистической литературе неоднократно отмечалось, что онимы в сказочном тексте занимают особое положение: они совмещают индивидуализирующую номинацию с обобщенно-символической семантикой. По определению А.В. Суперанской, «имя собственное в художественном тексте аккумулирует экстралингвистические фоновые знания, развертывание которых требует от адресата определенной культурной компетенции» [8, с.112]. Согласно Д. И. Ермоловичу, семантическая структура онимов в художественном произведении обогащается смысловыми обертонами, вследствие чего они «требуют не механической передачи графической или фонетической оболочки, а учета смыслового потенциала их внутренней формы» [5]. Согласно В. Н. Комиссарову базовый выбор переводчика при передаче единиц с национальной спецификой лежит между сохранением формы и контекстуальным истолкованием их внутренней семантики [6, с. 145].

По мнению С.И. Влахова и С.П. Флорина, онимы с явной внутренней формой в сказочном дискурсе функционируют аналогично реалиям, поскольку «несут в себе национальный или исторический колорит и требуют применения особых стратегий передачи, предотвращающих смысловые потери» [4]. В концепции Л. Венути данный выбор концептуализируется как дихотомия двух базовых стратегий:

доместикации (одомашнивания, при котором текст адаптируется под стилистические и этнокультурные нормы принимающего языка) и форенизации (отчуждения, призванного сохранить культурную дистанцию и специфику исходного текста) [16, с. 24]. При переводе квазиисторической сказки Толкина обе стратегии сталкиваются с серьезным вызовом: буквальная передача этимологических шуток на латыни рискует превратить сказку в филологический трактат, а чрезмерная русификация способна нивелировать британский топографический и фольклорный субстрат.

Материалом исследования послужил оригинальный текст повести Дж. Р. Р. Толкина Farmer Giles of Ham [14], а также два варианта его перевода на русский язык: выполненный Н. Л. Рахмановой («Фермер Джайлс из Хэма») [7] и Г. В. Усовой («Фермер Джайлс из Хэма») [9]. Привлечение критических комментариев К. Скалл и У. Хэммонда позволило точнее идентифицировать генезис авторских номинаций [13, с. 38]. Корпус отобранных фольклорно-мифологических онимов составил 26 единиц. Отбор осуществлялся по следующим критериям: 1) наличие выраженной внутренней формы или мифологической аллюзии; 2) функциональная значимость онима в сюжете и хронотопе сказки; 3) наличие расхождений в переводческих решениях Рахмановой и Усовой, позволяющих сопоставить стратегии. В состав корпуса вошли: мифонимы – Chrysophylax Dives, Garm, Aegidius, Galathea, Suet, Augustus Bonifacius и др. (всего 11 единиц); артефактонимы – Caudimordax / Tailbiter, The Rope, The Blunderbuss и др. (7 единиц); мифотопонимы – The Little Kingdom, Ham, Farthingho, The Wild Hills, Worminghall, Oakley, Thame и др. (8 единиц). Систематизация проводилась по трем функционально-тематическим группам с учетом степени культурной маркированности и прозрачности внутренней формы.

Сравнительный анализ переводческих решений и приемов межъязыковой передачи представлен в Таблице 1.

Таблица 1

Стратегии и приемы перевода фольклорно-мифологических онимов в повести «Фермер Джайлс из Хэма»

Оригинальная единица и категория	**Лингвостилистическая и интертекстуальная характеристика оригинала**	**Перевод Н. Л. Рахмановой**	**Перевод Г. В. Усовой**	**Сопоставительный итог и стратегия**
Chrysophylax Dives Мифоним (дракон)	Искусственный греко-латинский композит: греч. chrysos (золото) + phylax (страж); лат. dives (богатый). Пародия на бестиарный канон. Скрытая аллюзия на евангельскую притчу.	Хризофилакс Дайвз Прием: транскрипция с англизированным чтением латыни. Усиливает бытовой комизм.	Хризофилакс Дивес Прием: транскрипция с классической латинской огласовкой. Форенизация; точнее воссоздает псевдоученый регистр.	Форенизация в обоих случаях. Прагматическая потеря: утрата прозрачной семантики «страж золота».
Garm Аллюзивный мифоним (пес)	Древнескандинавский мифоним: Garmr — хтонический пес, страж врат Хельхейма. Оксюморон: инфернальное имя присвоено трусливой деревенской собаке.	Гарм Практическая транскрипция с усечением -r.	Гарм Практическая транскрипция. Формальная эквивалентность соблюдена.	Прямая транскрипция. Сохранение мифологического кода в потенциале, частичная нейтрализация иронии для неподготовленного читателя.
Caudimordax / Tailbiter Артефактоним (меч)	Двуязычный дублет. Caudimordax — лат. cauda + mordere. Tailbiter — германский кеннинг. Пародия на рыцарские эпосы.	Кудимордакс / Хвостогрыз Транскрипция + словообразовательное калькирование.	Каудимордакс / Хвостогрыз Транскрипция с сохранением дифтонга + калькирование.	Комбинированная стратегия. Полная эквивалентность и сохранение комического пафоса.
The Little Kingdom	Квазиисторическая	Малое Королевство	Малое	Калькирование.

Оригинальная единица и категория	Лингвостилистическая и интертекстуальная характеристика оригинала	Перевод Н. Л. Рахмановой	Перевод Г. В. Усовой	Сопоставительный итог и стратегия
Мифотопоним	аллюзия на эпоху Гептархии. Пасторальное пространство, противопоставленное имперскому масштабу.	Полное семантическое калькирование.	Королевство Полное семантическое калькирование.	Стратегия доместикации в рамках сказочной традиции.
Farthingho Мифотопоним (ойконим)	Британская топонимическая модель: farthing (фартинг) + -ho/-hoe. Маркер английского захолустья.	Фартингхо Практическая транслитерация/транскрипция.	Фартингхоу Фонетическая транскрипция британского дифтонга.	Форенизация через транскрипцию. Нумизматическая игра остается на уровне импликации.
The Wild Hills Мифотопоним (пограничный локус)	Ландшафтный маркер фольклорного пограничья. Отражает реальную топографию Британии (холмы).	Дикие Холмы Точный лексический эквивалент.	Дикие Горы Семантическая модуляция / генерализация.	Контраст стратегий: сохранение национального ландшафта (Рахманова) vs адаптация под славянский сказочный канон (Усова).

Источник: разработано автором

Распределение доминирующих стратегий передачи исследуемых онимов представлено в Таблице 2.

Таблица 2

Количественное распределение переводческих стратегий при передаче онимов сказки

Переводческая стратегия	Содержание стратегии и доминирующие приемы	Доля у Н. Л. Рахмановой	Доля у Г. В. Усовой	Среднее соотношение
Форенизация	Транскрипция, транслитерация, сохранение архаичных греческих, латинских и древнеанглийских онимооснов. Удержание культурной дистанции.	46,2%	53,8%	50,0%
Доместикация	Словообразовательное и семантическое калькирование внутренней формы, адаптация под традиционную сказочную модель.	38,4%	30,8%	34,6%
Смешанная стратегия (модуляция)	Семантическое развитие, модуляция, генерализация реалий под жанровый шаблон принимающей культуры.	15,4%	15,4%	15,4%

Источник: разработано автором

Анализ практического материала позволяет выделить специфические особенности реализации переводческих стратегий в зависимости от ономастического разряда.

1. Мифонимы и комическая деконструкция архетипа

Центральным мифонимом произведения является имя дракона Chrysophylax Dives. Внутренняя форма этого составного имени прямо указывает на классическую филологическую эрудицию автора: греческое chrysos означает «золото», phylax – «страж», а латинский эпитет dives переводится как «богатый». Толкин пародирует эпическую традицию (ср. дракона из «Беовульфа»), наделяя существо повадками жадного и трусливого ростовщика.

Как отмечает О. В. Анисимова, в отличие от Смауга, Глаурунга и других драконов легендариума, «в сказке «Фермер Джайлз из Хэма» Толкин создает несколько иной образ – дракона Хризофилакса Дайвза, принадлежащего к древнему царскому роду, однако покорно сдающегося на милость фермеру» [2, с. 12]. Именно эта комическая деконструкция архетипа делает перевод имени особенно ответственным.

Переводчицы используют стратегию форенизации, однако реализуют ее по-разному. Н. Л. Рахманова передает имя как «Хризофилакс Дайвз» с ориентацией на английское произношение латинского эпитета [7, с. 14]. Г. В. Усова выбирает более классическую огласовку – «Хризофилакс Дивес» [9, с. 21]. Второе решение ближе к псевдонаучному стилю средневековой хроники, который Толкин пародирует. Однако в обоих случаях внутренняя форма («страж золота богатый») остается полностью скрытой от читателя, и говорящее имя превращается просто в экзотический ярлык. Данная прагматическая потеря является одной из наиболее заметных.

Другой примечательный мифоним – кличка сторожевого пса фермера Garm. В скандинавской эсхатологии Гарм – хтоническое чудовище, адский пес, охраняющий царство мертвых Хель. Присваивая это имя обычному деревенскому трусливому псу, автор создает комический оксюморон. Оба переводчика прибегают к прямой практической транскрипции («Гарм») [7, с. 7; 9, с. 11]. Формально все корректно, интертекстуальная отсылка к «Старшей Эдде» сохраняется. Однако для большинства современных русскоязычных читателей этот мифологический код, скорее всего, останется латентным, и комический оксюморон ослабеет.

2. Фольклорные артефактонимы и двуязычные дублеты

Наибольший интерес с точки зрения техники перевода представляет именование древнего волшебного меча, полученного Джайлсом от короля. В оригинале Толкин намеренно приводит два имени оружия: латинское официальное Caudimordax и народное древнеанглийское толкование Tailbiter. В данном случае реализуется прием стилизации под средневековую традицию наделения мечей собственными именами (ср. Экскалибур, Хрунтинг), осложненная сниженным бытовым значением («кусающий за хвост»).

Обе переводчицы применили комбинированную тактику: латинская форма передана транскрипцией («Кудимордакс» у Рахмановой [7, с. 18] и «Каудимордакс» у Усовой [9, с. 25]), а вульгарный англосаксонский эквивалент – методом словообразовательного калькирования («Хвостогрыз»). Использование кальки в данном случае семантически точно: сложное композитное слово на русской языковой почве воспринимается как аутентичный былинный или сказочный эпитет и хорошо сохраняет заложенный Толкином комический пафос.

3. Мифотопонимы и организация сказочного хронотопа

Пространственная организация сказки включает вымышленный ареал The Little Kingdom, а также топонимы с прозрачными английскими корнями (Ham, Farthingho) и пограничные зоны опасности (The Wild Hills). Как отмечает Ю. М. Лотман, художественное пространство в сказке и мифе никогда не бывает нейтральным: топографические границы всегда маркируют аксиологические и онтологические оппозиции «своего» и «чужого» [12, с. 215]. Именно поэтому выбор стратегии при передаче мифотопонимов оказывается особенно показательным.

Номинация The Little Kingdom передана обеими переводчицами буквально – «Малое Королевство». Данное решение соответствует стратегии доместикации и активизирует традиционные модели русской народной и литературной сказки. В то же время локальные топонимы передаются преимущественно транскрипцией с элементами транслитерации («Хэм», «Фартингхо»). Происходит сохранение локального британского колорита, что не дает тексту окончательно оторваться от географической основы Оксфордшира.

Особенно показательно расхождение при передаче места обитания великана и дракона – The Wild Hills. Н.Л. Рахманова переводит словосочетание как «Дикие Холмы» [7, с. 11], строго следуя британскому

ландшафтному оригиналу. Г. В. Усова прибегает к генерализации и семантической модуляции – «Дикие Горы» [9, с. 16]. Выбор Усовой обусловлен сказочной традицией, в которой логово чудовищ непременно связывается с неприступными скалами и горными пиками. Однако это решение несколько сглаживает топографическую специфику оригинала: у Толкина опасность связана именно с холмами, а не с высокими горами. Как справедливо отмечает В.Н. Телия, при межъязыковой передаче культурно-маркированных пространственных образов неизбежно происходит взаимодействие культурных кодов, где метафорический образ ландшафта перестраивается под влиянием фольклорной картины мира языка перевода [11, с. 224].

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что передача фольклорно-мифологических онимов в повести «Фермер Джайлс из Хэма» подчинена сложной динамике взаимодействия переводческих установок. Количественный анализ (Таблица 2) показывает, что форенизация составляет в среднем 50 % решений, доместикация – около 35 %, смешанные стратегии – 15 %. При этом распределение стратегий оказывается жанрово обусловленным: мифонимы с прозрачной греко-латинской или скандинавской этимологией (Chrysophylax, Garm) почти повсеместно передаются форенизацией (транскрипцией), тогда как артефактонимы с двуязычной структурой (Caudimordax / Tailbiter) требуют комбинированной стратегии, а мифотопонимы демонстрируют наибольшую вариативность – от полного калькирования (The Little Kingdom → Малое Королевство) до семантической модуляции (The Wild Hills → Дикие Горы). Н. Л. Рахманова в большей степени ориентируется на естественность сказочного повествования и чаще прибегает к калькированию и адаптации образной структуры в русле классической отечественной традиции литературной сказки (доля доместикации 38,4 %). Версия Г. В. Усовой заметно сильнее тяготеет к форенизации (53,8 %) и стремится сохранить псевдохроникальную стилизацию и ученый тон оригинала.

Полученные данные подтверждают, что выбор частного приема (транскрипции, калькирования, модуляции) в конечном счете определяется общей стратегической установкой переводчика – либо на сохранение культурной дистанции и филологической игры Толкина (форенизация), либо на вписывание текста в конвенции русской литературной сказки (доместикация). Именно осознание пародийной природы мифологических реалий, где архаизация и фольклорная стилизация служат средством языковой игры, позволяет переводчику найти баланс между двумя полюсами и адекватно передать амбивалентность авторского замысла.

Список использованной литературы:

1. Алексеева, И. С. Введение в переводоведение / И. С. Алексеева. – СПб.: Филологический факультет СПбГУ; М.: Академия, 2004. – 352 с.

2. Анисимова, О. В. Мифопоэтические образы дерева, ворона и дракона в англоязычной фантастической литературе / О. В. Анисимова // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2023. – Т. 16. – № 2. – С. 1–13.

3. Бархударов, Л. С. Язык и перевод: Вопросы общей и частной теории перевода / Л. С. Бархударов. – М.: Международные отношения, 1975. – 240 с.

4. Влахов, С. Непереводимое в переводе / С. Влахов, С. Флорин. – Изд. 4-е. – М.: Р.Валент, 2009. – 360 с.

5. Ермолович, Д. И. Имена собственные на стыке языков и культур / Д. И. Ермолович. – М.: Р.Валент, 2001. – 200 с.

6. Комиссаров, В. Н. Теория перевода (лингвистические аспекты) / В. Н. Комиссаров. – М.: Высшая школа, 1990. – 253 с.

7. Рахманова, Н. Л. Фермер Джайлс из Хэма / пер. с англ. Н. Л. Рахмановой // Толкин Дж. Р. Р. Хоббит; Сказки. – Л.: Северо-Запад, 1992. – С. 5–48.

8. Суперанская, А. В. Общая теория имени собственного / А. В. Суперанская. – М.: Наука, 1973. – 366 с.

9. Усова, Г. В. Фермер Джайлс из Хэма / пер. с англ. Г. В. Усовой // Толкин Дж. Р. Р. Кузнец из Большого Вуттона: Сказки. – СПб.: Азбука, 1999. – С. 9–54.
10. Чернявская, В. Е. Интертекст и интердискурс как реализация текстовой открытости / В. Е. Чернявская // Вопросы когнитивной лингвистики. – 2007. – № 4. – С. 25–33.
11. Телия, В. Н. Русская фразеология: Семантический, прагматический и лингвокультурологический аспекты / В. Н. Телия. – М.: Школа «Языки русской культуры», 1996. – 288 с.
12. Лотман, Ю. М. Внутри мыслящих миров. Человек — текст — семиосфера — история / Ю. М. Лотман. – М.: Языки русской культуры, 1996. – 464 с.
13. Hammond, W. G., Scull, C. The J.R.R. Tolkien Companion and Guide: Reader's Guide / W. G. Hammond, C. Scull. – London: HarperCollins, 2006. – 1256 p.
14. Tolkien, J. R. R. Farmer Giles of Ham / J. R. R. Tolkien. – London: George Allen & Unwin, 1949. – 79 p.
15. Shippey, T. The Road to Middle-earth: How J.R.R. Tolkien Created a New Mythology / T. Shippey. – London: HarperCollins, 2005. – 474 p.
16. Venuti, L. The Translator's Invisibility: A History of Translation / L. Venuti. – 2nd ed. – London; New York: Routledge, 2008. – 336 p.

© Баранова М.Д., 2026

УДК 81'373.7

Джамшедов П.Д.,
Доктор филологических наук, профессор
Национальная академия наук Таджикистана
г. Душанбе, Республика Таджикистан
Султонова О.Т.,
соискатель, ассистент кафедры гуманитарных наук
Академия туризма Международного университета туризма и предпринимательства Таджикистана
г. Душанбе, Республика Таджикистан

ФРАЗЕОЛОГИЗМЫ ЭМОЦИЙ В ТАДЖИКСКОМ, РУССКОМ И АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКАХ

Аннотация

В статье рассмотрено, как фразеологизмы таджикского, русского и английского языков выражают эмоции. На материале 1847 единиц сопоставлены их значения, образная основа и употребление. В трёх языках повторяются образы высоты, жара, холода и тяжести. На примерах страха, гнева и стыда показано, как контекст и оценочная окраска влияют на выбор переводного соответствия.

Ключевые слова:

фразеологизмы, эмоции, образность, метафора, соматизмы, межъязыковая эквивалентность.

Jamshedov P.J.
Doctor of Philological Sciences, Professor
National Academy of Sciences of Tajikistan
Dushanbe, Republic of Tajikistan
Sultonova O.T.
Degree candidate and assistant lecturer, Department of Humanities
Academy of Tourism, International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

EMOTION IDIOMS IN TAJIK, RUSSIAN AND ENGLISH

Abstract

This article examines how Tajik, Russian and English idioms express emotions. It compares the meanings, imagery and usage of 1,847 idiomatic expressions. Images of height, heat, cold and heaviness recur across all three languages. Examples of fear, anger and shame show how context and evaluative connotations influence the choice of translation equivalents.

Keywords:

Idioms, emotions, imagery, metaphor, body-part terms, cross-linguistic equivalence.

Фразеологизмы передают эмоции, их внешние проявления и реакцию на оценку окружающих. Способы выражения эмоций и их образная основа изучены на материале русского и английского языков [2, с. 2478–2483; 1, с. 189–203]. В статье сопоставляются таджикские, русские и английские фразеологизмы со сходными образами и выявляются различия в их значении и употреблении.

Выборка включает 1847 фразеологических единиц (612 таджикских, 638 русских и 597 английских). Материал отобран из словарей [4; 5; 7], национальных корпусов таджикского и русского языков, Британского национального корпуса, Корпуса современного американского английского языка, а также художественных и публицистических текстов.

В выборку включались воспроизводимые выражения с устойчивым составом и закреплённым эмоциональным значением. Их группировали по значению и сопоставляли по образу, интенсивности эмоции и контексту. Таджикские цитаты даны в русском и английском переводах.

В выражениях радости образ высоты передаёт эмоциональный подъём. Таджикское *дар осмони ҳафтум будан*, русское *на седьмом небе* и английское *on cloud nine* сближаются по значению и образной основе. Радость выражается и через образ света, например в русском *светиться от счастья* и английском *light up with joy*.

В выражениях гнева образы жара и давления передают силу переживания и характер его проявления. В словаре М. Фозилова выражение *оташи ғазаби касе дар ҷӯш будан* означает «сильно гневаться». В произведении М. Рустамовой «Зайнаб» о гневе героя судят по его поведению: «Ҳар вақт, ки вай риши худро зуд-зуд сила карда ба як нуқта чашм дӯхта монад, маълум, ки аз чизе қаҳр кардааст ва оташи ғазабаш дар ҷӯш аст» [4, т. 1, с. 787]. Рус. «Когда он то и дело гладит бороду и смотрит в одну точку, видно, что он чем-то рассержен и кипит от злости». Англ. «Whenever he strokes his beard repeatedly and fixes his eyes on one spot, you can tell that something has made him angry and he is seething». Таджикское выражение и русское *кипеть от злости* сближаются по образу кипения. Английское *blow one's top* передаёт вспышку гнева через образ внезапного выхода накопившегося давления [6, с. 181–196].

Образ телесной реакции часто служит для выражения страха. В романе С. Айни «Дохунда» слова бая вызывают у героя тревогу: «Аз ин сухани бой дили Бозор ларзид, зеро пас аз набудани барзагов, аз замин — аз деҳқонӣ фоида нахоҳад гирифт» [4, т. 1, с. 375]. Рус. «От этих слов бая сердце Бозора дрогнуло: без вола он ничего не заработает, обрабатывая землю». Англ. «At the bai's words, Bozor's heart trembled: without an ox, he would earn nothing from farming». В словаре М. Фозилова *дили касе ларзидан* означает «испугаться». В таджикском примере страх передаёт образ дрожащего сердца. Русское *кровь стынет в жилах* и английское *one's blood runs cold* вызывают ассоциацию с холодом. Русское *душа в пятки ушла* указывает на испуг, а английское *one's heart sinks* при сходном образе движения вниз может передавать разочарование.

Печаль и душевное неблагополучие передаются через образы боли и тяжести. Таджикское *дил дард кардан*, русское *душа болит* и английское *one's heart aches* представляют переживание как боль. Русское *камень на сердце* и английское *a heavy heart* передают душевную тяжесть, которая в зависимости от

контекста может быть связана и с тревогой.

В выражениях стыда образ может подчёркивать силу переживания или оценку окружающих. Русское *сгореть со стыда* и английское *burn with shame* основаны на образе жара. Таджикское *рӯйхунук шудан* в словаре М. Фозилова означает «осрамиться перед кем-либо» или «показаться другим в дурном свете». В произведении К. Носирова «Орият» выражение указывает на утрату уважения: «Ана сонӣ, холаҷон, рафта-рафта ба ҳама рӯйхунук шуда мемонанд» [4, т. 1, с. 950]. Рус. «А потом, тётушка, они постепенно потеряют уважение всех вокруг». Англ. «And then, dear auntie, they will gradually lose everyone's respect».

Для выражений, связанных с гордостью, особенно важна оценка поведения. Русское *задирать нос*, английское *look down one's nose at someone* и таджикское *бинӣ баланд доштан* передают высокомерие или пренебрежение через положение головы либо направление взгляда. Языки различаются и по тому, какие образы связывают с завистью. Русское *позеленеть от зависти* и английское *green with envy* связывают переживание с цветом. Таджикское *аз ҳасад сӯхтан* передаёт его через образ жара.

Удивление нередко выражается через мимику. Русское *глаза на лоб полезли* и английское *one's eyes pop out* описывают широко раскрытые глаза. Таджикское *забон хушк шудан* и английское *be lost for words* указывают на затруднение речи. По контексту можно определить, связано ли оно с удивлением, страхом или другим переживанием.

Различия в образной основе и оценке влияют на выбор перевода. Английское *a stiff upper lip* характеризует выдержку в трудной ситуации. Если перевести выражение, назвав лишь страх или печаль, значение самоконтроля утрачивается. Описательный перевод выражения *тоска зелёная* может передать гнетущую печаль, однако цветовой образ при этом исчезает.

В выборке Е. В. Трофимовой и Е. А. Афонской к группе «Горе, грусть» относятся 239 из 780 английских фразеологизмов отрицательных эмоций (30,7 %) [3, с. 106–107]. Эта доля характеризует состав выборки. Для сравнения частот употребления нужны сопоставимые тексты и нормированные показатели.

Сходство образов сближает фразеологизмы трёх языков. При выборе переводного эквивалента учитываются также значение, оценочная окраска и контекст.

Список использованной литературы:

1. Бессонова О. Л., Трофимова Е. В. Фразеологическая вербализация эмоциональной метафоры в англоязычной и русскоязычной лингвокультурах // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Филологические науки. 2024. Т. 10, № 3. С. 189–203. DOI: 10.29039/2413-1679-2024-10-3-189-203.

2. Куличенко Ю. Н., Королевская Е. М., Белоножко Н. Д. Языковая репрезентация эмоционального состояния субъекта в русской и английской фразеологии // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2023. Т. 16, № 8. С. 2478–2483. DOI: 10.30853/phil20230389.

3. Трофимова Е. В., Афонская Е. А. Семантика фразеологизмов, выражающих отрицательные эмоции в англоязычной картине мира // Вестник Донецкого национального университета. Серия Д. Филология и психология. 2024. № 5. С. 104–114. DOI: 10.5281/zenodo.14284096.

4. Фарҳанги ибораҳои рехтаи забони ҳозираи тоҷик (фарҳанги фразеологӣ) / сост. М. Фозилов. Душанбе: Нашриёти давлатии Тоҷикистон, 1963. Т. 1. 952 с.

5. Фразеологический словарь русского языка / сост. Л. А. Войнова [и др.]; под ред. А. И. Молоткова. 6-е изд., испр. и доп. М.: Астрель: АСТ, 2001. 510, [1] с.

6. Kövecses Z. Anger: Its language, conceptualization, and physiology in the light of cross-cultural evidence // Language and the Cognitive Construal of the World / ed. by J. R. Taylor and R. E. MacLaury. Berlin, New York: De Gruyter Mouton, 1995. P. 181–196. DOI: 10.1515/9783110809305.181.

7. Oxford Dictionary of Idioms / ed. by J. Ayto. 4th ed. Oxford: Oxford University Press, 2020. 448 p.

© Джамшедов П. Д., Султонова О. Т., 2026

УДК 316.77

Хо Т.Т.
кандидат наук
Дипломатическая академия Вьетнама
г. Ханой, Вьетнам

ПЛАТФОРМЕННАЯ СРЕДА КАК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ МОЛОДЕЖНЫХ ИЗДАНИЙ ВЬЕТНАМА: ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ

Аннотация

В статье рассматривается переход молодежных изданий Вьетнама от сетевых версий газет к работе на цифровых платформах. По статистическим данным описана цифровая среда молодежной аудитории, сформулированы гипотезы об изменении четырех функций молодежной прессы и предложена методика контент-анализа официальных аккаунтов изданий.

Ключевые слова:

молодежная пресса, Вьетнам, платформизация, цифровая трансформация, функции прессы, контент-анализ, социальные платформы.

Введение

Молодые люди в возрасте от 13 до 34 лет составляют почти треть населения Вьетнама. По данным DataReportal, на конец 2025 г. группы 13–17, 18–24 и 25–34 лет приходились соответственно на 7,8; 9,2 и 14,4 % жителей (в сумме около 31 %), а медианный возраст населения равнялся 33,4 года [1]. Для молодежных изданий от формата и канала, в которых эта аудитория читает новости, зависит способность оставаться массовыми СМИ.

В российской науке вьетнамская молодежная пресса изучалась главным образом в историческом и функциональном аспектах. Хо Тхань Тунг связал этапы развития печати Вьетнама с историческими условиями [2] и описал четыре функции молодежной журналистики: информационную, идеологическую, культурно-воспитательную и рекламно-справочную [3]. В статье об интернет-изданиях он воспроизвел периодизацию сетевой прессы и отметил, что в 2017 г. главным каналом оставался сайт издания, а социальные сети лишь дополняли его как средство обратной связи [4, с. 258–259]. Н. Т. Ф. Хань отмечает, что в молодежной журналистике Вьетнама развлекательные тенденции количественно преобладают [5, с. 122].

В международных исследованиях подобные сдвиги обозначают термином «платформизация» (platformisation): инфраструктуры, экономические механизмы и регуляторные рамки цифровых платформ проникают в разные сферы жизни, в том числе в журналистику, а культурные практики перестраиваются вокруг этих платформ [6]. Насколько этот процесс изменил работу вьетнамских молодежных изданий, в доступных автору российских публикациях систематически не рассматривалось.

Цель статьи – обосновать необходимость изучать молодежные издания Вьетнама в условиях платформизации и предложить методику такого исследования. Работа носит аналитический характер: собственный контент-анализ автор не проводил.

Цифровая среда молодежной аудитории

По оценке Kepios, в октябре 2025 г. во Вьетнаме насчитывалось 85,6 млн интернет-пользователей (84,2 % населения). В начале 2017 г., по данным, которые приводит Хо Тхань Тунг, их было более 40 млн [4, с. 258]: аудитория выросла примерно вдвое. Сравнение приблизительное, поскольку источники и методики подсчета различаются. Число активных учетных записей в социальных сетях в октябре 2025 г. оценивалось в 79,0 млн (77,6 % населения); авторы отчета подчеркивают, что эта величина не обязательно

равна числу уникальных людей [1]. Структура охвата платформ, в том числе Facebook* и Messenger*, показана в табл. 1.

Таблица 1

Охват основных платформ во Вьетнаме, конец 2025 г.

Платформа	Охват, млн	Доля интернет-пользователей, %
Facebook*	79,0	92,3
Zalo	78,3	91,4
TikTok (18+)	76,1	88,8
YouTube	62,1	72,5
Messenger*	57,8	67,4

Составлено по: [1]. Данные по Zalo – заявление компании VNG о месячной аудитории; для остальных платформ приведен рекламный охват, который не равен числу активных пользователей.

* Здесь и далее звёздочкой отмечены упоминания социальной сети Facebook и мессенджера Messenger (сервис Facebook). Facebook принадлежит компании Meta Platforms Inc., деятельность которой признана экстремистской и запрещена на территории Российской Федерации (решение Тверского районного суда г. Москвы от 21.03.2022).

В 2017 г. типичным каналом был сайт издания [4, с. 259]; сегодня, судя по приведенным цифрам, первая встреча читателя с новостью, вероятно, все чаще происходит внутри платформ. Направление сдвига косвенно подтверждает отчет Reuters Institute за 2025 г., основанный на онлайн-опросе в 48 странах и территориях: Facebook* для получения новостей еженедельно использовали 36 % респондентов, YouTube – 30 %, TikTok – 16 % [7]. Вьетнам в эту выборку не входил.

Гипотезы об изменении функций изданий

За исходную классификацию возьмем четыре функции молодежной прессы, описанные Хо Тхань Тунгом [3]. В платформенной среде, как мы предполагаем, они реализуются иначе. Так, информационная функция смещается к коротким видео и уведомлениям, а культурно-воспитательная рискует раствориться в развлекательном потоке. Идеологической функции приходится конкурировать с неформальными лидерами мнений, а рекламно-справочная все больше опирается на нативную рекламу (native advertising) и сервисы внутри платформ.

Методика эмпирической проверки

Для проверки гипотез предлагается контент-анализ официальных аккаунтов двух-трех ведущих молодежных изданий на Facebook* и TikTok, а также официальных страниц в Zalo с последующим сопоставлением с материалами их сайтов. Единица анализа – публикация; выборку формируют методом конструированной недели (constructed week): в пределах трех месяцев случайно отбираются по одному понедельнику, вторнику и так далее до воскресенья. Публикации кодируются по формату (текст, фото, видео до 60 секунд, длинное видео), теме, преобладающей функции [3] и показателям вовлеченности (engagement).

Надежность кодирования проверяется перекодировкой части выборки вторым кодировщиком; согласованность оценивается коэффициентом каппа Коэна [8], рабочим порогом принимается 0,7 (конвенция контент-анализа, а не требование Коэна). H1: доля коротких видео на TikTok выше, чем на сайте. H2: доля материалов о политике и общественных ценностях на платформах ниже, чем на сайте. H3: доля развлекательных материалов на платформах выше. H4: доля публикаций с пометкой о партнерстве на платформах выше. Различия проверяются критерием хи-квадрат, вовлеченность сравнивается по медианам.

Риски и ограничения

Основные риски – зависимость от алгоритмов внешних компаний и размывание границы между

журналистским и рекламным контентом; применимость норм, рассчитанных на традиционные СМИ, к сетевой среде вызывала вопросы уже в 2018 г. [4, с. 260].

Ограничения работы очевидны: показатели охвата отражают возможности рекламных кабинетов, возрастные данные относятся ко всему населению, а сформулированные гипотезы пока не проверены эмпирически. Если гипотезы H1–H3 подтвердятся, это будет означать, что функции молодежной прессы [3] сохраняются на платформах в ином формате и соотношении, а классификацию придется дополнить признаками канала.

Заключение

Подавляющая часть интернет-аудитории Вьетнама пользуется Facebook*, Zalo и TikTok, тогда как российские работы описывают преимущественно сетевые издания 2010-х гг. Предложенные гипотезы и программа контент-анализа могут стать основой эмпирического исследования.

Список использованной литературы:

1. Kemp S. Digital 2026: Vietnam. DataReportal, 8 November 2025. URL: https://datareportal.com/ reports/ digital-2026-vietnam (дата обращения: 15.11.2026).

2. Хо Тхань Тунг. Взаимосвязь развития прессы Вьетнама и исторических условий развития страны // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2017. № 12 (78). Ч. 2. С. 61–64. URL: https://www.gramota.net/article/phil20172917/fulltext (дата обращения: 15.11.2026).

3. Хо Тхань Тунг. Роль молодежной прессы Вьетнама в реализации молодежной политики страны // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2017. № 12 (78). Ч. 3. С. 65–68. URL: https://www.gramota.net/article/phil20173016/fulltext (дата обращения: 15.11.2026).

4. Хо Тхань Тунг. Развитие молодежных интернет-изданий во Вьетнаме // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2018. № 2 (80). Ч. 2. С. 258–261.

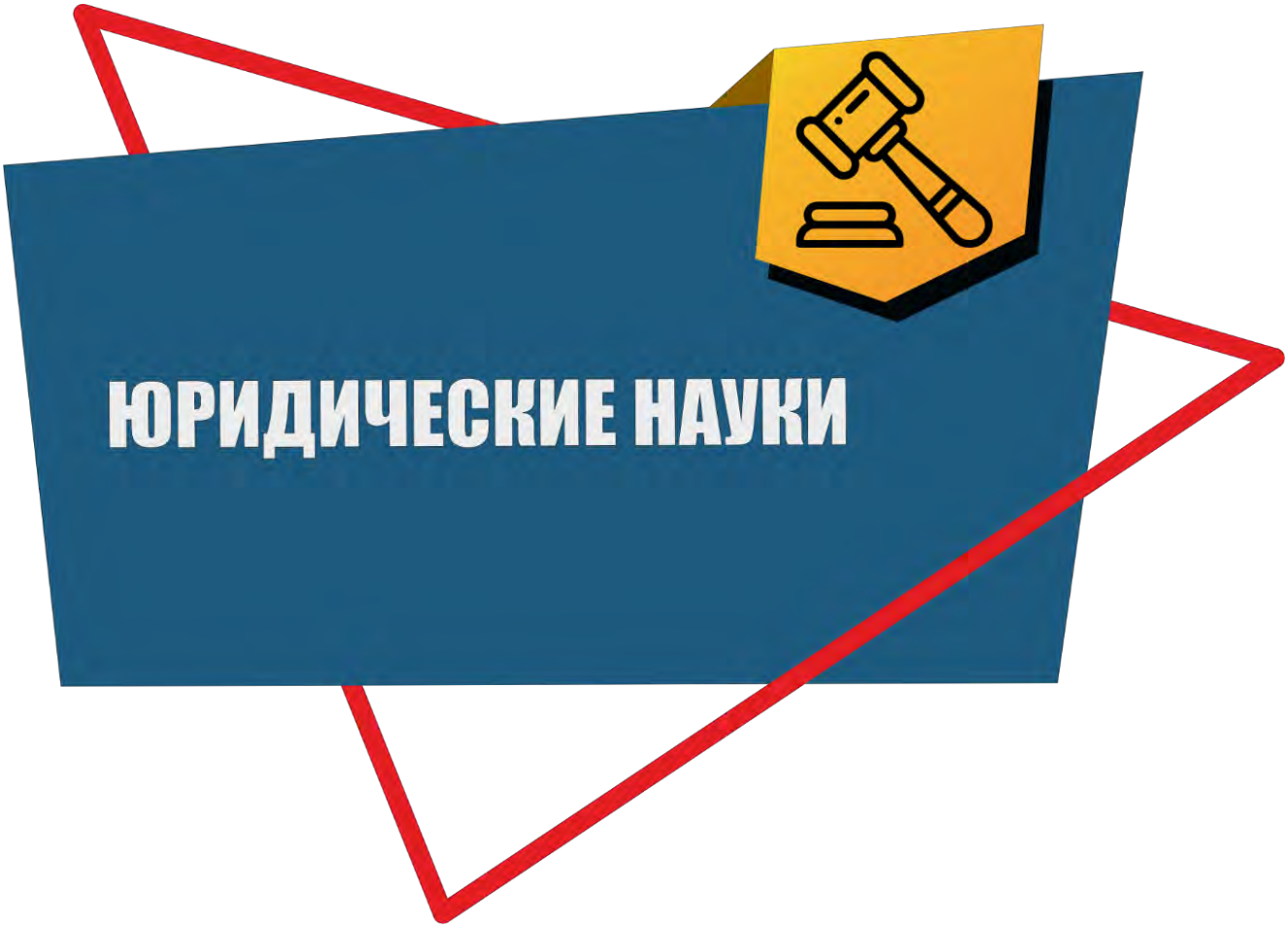
5. Хань Н.Т. Ф. Проблемы социальной мобильности молодежи в журнальной периодике Вьетнама // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Филология. Журналистика. 2021. № 3. С. 121–123.

6. Poell T., Nieborg D., van Dijck J. Platformisation // Internet Policy Review. 2019. Vol. 8, № 4. DOI: 10.14763/2019.4.1425.

7. Newman N., Ross Arguedas A., Robertson C. T., Nielsen R. K., Fletcher R. Reuters Institute Digital News Report 2025. Oxford: Reuters Institute for the Study of Journalism, 2025. 170 p. URL: https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/sites/default/files/2025-06/Digital_News-Report_2025.pdf (дата обращения: 15.11.2026).

8. Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales // Educational and Psychological Measurement. 1960. Vol. 20, № 1. P. 37–46.

© Хо Т.Т., 2026


ЮРИДИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 4414

Андрющенко К.А.
студент 3 курса ФГБОУ ВО «КубГУ»,
г. Краснодар, РФ

ОБЖАЛОВАНИЕ МЕР ПРОЦЕССУАЛЬНОГО ПРИНУЖДЕНИЯ В АДМИНИСТРАТИВНОМ СУДОПРОИЗВОДСТВЕ: СПОСОБЫ И СУБЪЕКТЫ

Аннотация

Исследуются способы обжалования мер процессуального принуждения в КАС РФ. Проанализированы самостоятельный и отложенный порядок обжалования и особенности участия в нем заявителей. Обоснованы предложения об уточнении положений КАС РФ, опирающиеся на сложившуюся судебную практику.

Ключевые слова:

административное судопроизводство; меры процессуального принуждения; частная жалоба; судебный штраф; удаление из зала судебного заседания; привод; судебная защита.

CHALLENGING PROCEDURAL COERCIVE MEASURES IN ADMINISTRATIVE PROCEEDINGS: METHODS AND PARTIES INVOLVED

Abstract

This research examines the procedures for challenging measures of procedural compulsion under the Code of Administrative Court Procedure of the Russian Federation. It analyzes both independent and deferred appeal mechanisms, as well as the specific role of applicants in these processes. Based on established judicial practice, the study puts forward proposals to refine the provisions of the Code.

Keywords:

administrative judicial proceedings; procedural coercive measures; interlocutory appeal; judicial fine; removal from a hearing; compulsory attendance; judicial protection.

Судебное разбирательство допускает применение мер воздействия к участникам дела. При этом субъекты – ключевой элемент подобных правоотношений [1, с. 14]. Цель исследования – определить достаточность способов обжалования мер, примененных судом первой инстанции. Использованы формально-юридический метод и системное толкование.

Глава 11 Кодекса административного судопроизводства Российской Федерации (далее – КАС РФ) объединяет неоднородные меры процессуального принуждения. Р. О. Опалев относит большинство из них к процессуальной ответственности, выделяя обязательство о явке, не обусловленное совершенным нарушением [2, с. 6–7]. Для обжалования эта неоднородность существенна: проверка должна соответствовать основанию конкретной меры. Кроме того, возврат взысканной суммы и восстановление участия в завершившемся заседании также различаются по достижимому результату.

Действующая статья 117 КАС РФ непосредственно закрепляет два режима. Ограничение выступления и лишение слова отражаются в протоколе вместе с возражениями адресата; законность этих действий проверяется при обжаловании решения. Привод, обязательство о явке и судебный штраф оформляются отдельными определениями, допускающими самостоятельное обжалование. Различие состоит не в наличии либо отсутствии судебного контроля вообще, а в возможности инициировать его независимо от итогового разрешения спора.

Предупреждение и удаление занимают особое положение. Федеральный закон от 28 ноября 2018

г. № 451-ФЗ изменил часть 4 статьи 117: вместо отсылки к пунктам 2–6 части 2 статьи 116 в ней закреплена отсылка к пунктам 4-6. Следовательно, предупреждение и удаление более не охватываются специальным правилом этой части о вынесении отдельного определения и его самостоятельном обжаловании. Это, однако, не означает исключения всякой судебной проверки: допустимость отдельной жалобы оценивается также по общим основаниям статьи 313 КАС РФ, а возражения против иных процессуальных действий могут быть изложены при обжаловании итогового судебного акта.

Пункт 21 постановления Пленума Верховного Суда РФ от 13 июня 2017 г. № 21 содержит отсылку к пунктам 2–5 части 2 статьи 116. Это разъяснение было принято до изменения статьи 117. Поскольку оно касается порядка и сроков обжалования, его нельзя рассматривать как самостоятельное основание допустимости частной жалобы вопреки последующей редакции закона. При применении разъяснения приоритет имеет действующая нормативная конструкция.

Статья 313 КАС РФ допускает отдельное обжалование определения, если это прямо предусмотрено Кодексом либо определение исключает возможность дальнейшего движения дела. В иных случаях возражения могут включаться в жалобу на решение. Удаление из заседания ограничивает присутствие конкретного лица, но само по себе, как правило, не препятствует дальнейшему движению дела. Поэтому вывод об отсутствии общего права на отдельную жалобу на предупреждение или удаление основан на системном прочтении статей 117 и 313, а не только на умолчании части 3 статьи 117. Этот вывод не исключает оценки конкретной процессуальной ситуации и применимых специальных норм.

Законность меры и итогового решения – разные предметы оценки. Необоснованное ограничение выступления не всегда делает неправильным разрешение исходного спора. Отмена решения требует предусмотренных статьей 310 КАС РФ оснований; вне безусловных оснований оценивается влияние нарушения на правильность решения. Следовательно, выявление ошибки при отложенной проверке не всегда обеспечивает самостоятельный результат для адресата меры.

Пункт 6 постановления Пленума № 21 предусматривает процессуальные гарантии для лица, подвергнутого принуждению, даже если оно не участвует в основном деле; пункт 23 разъясняет вопросы субъектов обжалования. Особенно уязвимо положение присутствовавшего в открытом заседании слушателя: итоговое решение по существу спора обычно не затрагивает его собственных прав, поэтому зависимость проверки удаления от жалобы участника дела может оставить самостоятельный интерес слушателя без эффективного средства защиты. Законодательное закрепление отдельной жалобы потребовало бы признать за таким лицом специальный статус заявителя по вопросу о мере, не превращая его в участника основного административного спора.

Право адресата оспаривать применённую к нему меру следует отличать от заинтересованности другой стороны в применении санкции к оппоненту. Определение Конституционного Суда РФ от 27 февраля 2025 г. № 332-О вынесено по жалобе на часть 3 статьи 123 КАС РФ и не разрешает по существу конституционность отсутствия самостоятельного обжалования отказа в наложении штрафа. Его значение для настоящего исследования состоит в необходимости разграничивать защиту лица от государственного процессуального воздействия и требование применить такое воздействие к другому лицу: это разные интересы и разные вопросы о доступе к пересмотру.

Список использованной литературы:

1. Лупарев Е. Б. Метод административно-правового регулирования как элемент теории административных правоотношений // Юридический вестник Кубанского государственного университета. 2025. № 4. С. 14–18.

2. Опалев Р.О. Процессуальное принуждение при рассмотрении административных дел // Журнал административного судопроизводства. 2021. № 2. С. 5–12.

© Андрющенко К.А., 2026

УДК: 377

Аркадьева М.П.
преподаватель,
Истринский профессиональный колледж – филиал ГГТУ, МО г. Истра

ЯЗЫК ЗАКОНА И ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ РЕЧЕВАЯ КУЛЬТУРА ЮРИСТА

Аннотация

В статье рассматривается фундаментальная роль речевой культуры в профессиональной подготовке и деятельности юриста. Обосновывается тезис о том, что юриспруденция является «профессией слова», где язык выступает не просто средством коммуникации, а основным инструментом, от точности которого напрямую зависят реализация права, защита прав граждан и авторитет правовой системы.

Ключевые слова:

речевая культура юриста, юридическая техника, язык права, профессиональная коммуникация, культура речи, «клиповое, юридическая терминология, правовая культура.

Мы часто говорим о праве как о системе норм, о государстве как институте власти, но порой упускаем из виду фундаментальную истину: и право, и государство существуют прежде всего в языке. Юриспруденция — это действительно «профессия слова». Для юриста русский язык — не просто средство общения, а основной рабочий инструмент. Закон, договор, судебное решение, обвинительная речь — это прежде всего тексты, требующие высочайшей речевой культуры. От того, насколько точно, ясно и недвусмысленно сформулирована мысль, зависит судьба человека, исход многомиллионного спора и стабильность правопорядка.

В праве неточное слово или ошибка в пунктуации — это не просто стилистический недочёт. Это прямая угроза нарушению прав граждан и инструмент юридической ответственности. Мы, преподаватели, обязаны донести до студентов: грамотность — это вопрос юридической безопасности.

Рассмотрим простую, но показательную ситуацию. Пропущенная запятая в договоре может изменить его смысл на противоположный, превратив обязательство в право, а неверно употреблённый термин в обвинительном заключении — привести к оправдательному приговору или, наоборот, к незаконному осуждению. Язык для юриста — это не красивые обороты для украшения речи. Это механизм. И если в механизме брак, он не просто не работает — он калечит.

Работая со студентами, можно заметить несколько тревожных тенденций, которые мешают формированию профессиональной речевой культуры.

Трудности с логикой и «клиповое мышление». Мир приучил наших студентов к коротким видео, мемам и броским заголовкам. Им всё сложнее строить сложные, многоступенчатые юридические конструкции, удерживать в голове длинные цепочки причинно-следственных связей. Юридическая логика требует линейности, последовательности, умения выводить частное из общего. А молодёжь привыкла к фрагментарности, к коротким смыслам. Наша задача — не ругать их за это, а методично, через задачи и разбор реальных дел, заново строить в их головах мосты логики.

Следующая проблема — неумение отличить юридический термин от бытового слова. Для обывателя «кража», «грабёж» и «разбой» могут быть синонимами «взял чужое». Для юриста это три разных состава преступления с разным предметом доказывания и разной санкцией. Смешение терминологии — это не просто речевая ошибка, это профессиональная некомпетентность. Мы должны приучать студентов к тому, что в праве слово всегда нагружено строгим, законодательно закреплённым значением.

То есть речевая культура юриста — это не только его личное дело. Это залог правовой культуры

всего общества. Если разрушается язык, разрушается и способность общества договариваться в рамках закона.

Юрист — это транслятор воли государства и защитник прав человека. Он стоит на границе между сложной буквой закона и живым человеком. И если на этой границе юрист не может ясно, точно и уважительно выразить мысль, возникает недоверие к праву. Неясная речь порождает неясные отношения, а неясные отношения ведут к конфликтам, которые невозможно разрешить правовым путём.

В заключение хочется сказать, что преподавание русского языка и культуры речи на юридических факультетах — это не дань традиции. Это формирование профессионального иммунитета. Наша цель — воспитать не просто знатоков статей кодекса, а мастеров слова, которые понимают, что в их руках находится инструмент, способный как защитить человеческое достоинство, так и разрушить его. Потому что в руках юриста слово — это скальпель. Им можно спасти жизнь, а можно — убить. Следовательно, то, как говорим мы, юристы, так мыслит и действует правовая система государства.

Список использованной литературы:

1. Руднев, В. Н. Культура речи юриста: учебник и практикум для вузов / В. Н. Руднев. Москва: Юрайт, 2025.
2. Юшкова, Н. А. Культура речи и риторика для юристов: учебник и практикум для вузов / Н. А. Юшкова, Е. Б. Берг, Ю. Б. Феденева, С. В. Панченко; под общ. ред. Н. А. Юшковой. — Москва: Юрайт, 2025.

© Аркадьева М.П., 2026

УДК 342.9

Фомина-Лысюк Д.Д.
студентка 3 курса магистратуры МФЮА
Г. Калининград, РФ
Кремёнов И.Н.
доц. кафедры уголовного права,
криминологии и уголовно-исполнительного права
Калининградского филиала
Санкт-Петербургского университета МВД России
г. Калининград, РФ

РАЗРЕШЕНИЕ АДМИНИСТРАТИВНЫХ СПОРОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Аннотация

В статье исследуются правовая природа административных споров и действующая в Российской Федерации система их разрешения. Рассматриваются внесудебные и судебные способы защиты, разграничение компетенции судов общей юрисдикции и арбитражных судов, особенности доказывания и исполнения судебных актов. Отдельное внимание уделяется досудебному обжалованию в сфере государственного контроля, цифровизации административных процедур и проблемам реального восстановления нарушенных публично-правовых прав. Обосновывается вывод о необходимости согласованного развития административных процедур и административного судопроизводства, повышения доступности обжалования и усиления гарантий исполнения решений.

Ключевые слова:

административный спор, публичные правоотношения, административное судопроизводство, КАС РФ, АПК РФ, досудебное обжалование, публичная администрация.

Введение

Взаимодействие граждан, организаций и публичной администрации неизбежно сопровождается разногласиями относительно возникновения, изменения и прекращения публичных прав и обязанностей. Такие разногласия могут быть вызваны отказом в предоставлении государственной услуги, привлечением к административной ответственности, результатами контрольного мероприятия, решениями налоговых и таможенных органов, действиями должностных лиц, а также бездействием органа, обязанного принять решение. От качества механизмов разрешения подобных конфликтов зависит не только защита субъективных прав, но и доверие к государству, предсказуемость правоприменения и законность публичного управления.

Административный спор не сводится к любому обращению гражданина в государственный орган. Его отличительным признаком является наличие юридически значимого разногласия, возникающего в связи с осуществлением публичной власти либо реализацией публично-правового статуса участника правоотношения. Властная асимметрия сторон обусловливает необходимость специальных процессуальных гарантий: доступности обжалования, обязанности органа обосновывать законность своего решения, судебного контроля и эффективного восстановления нарушенного положения.

Цель настоящей статьи — комплексно охарактеризовать российскую модель разрешения административных споров, выявить ее основные проблемы и определить направления совершенствования. Методологическую основу составляют формально-юридический, системный и сравнительно-правовой методы, а также анализ нормативных положений и разъяснений Верховного Суда Российской Федерации.

1. Понятие и правовая природа административного спора

В законодательстве Российской Федерации отсутствует единое универсальное определение административного спора, применимое ко всем видам публично-правовых конфликтов. В доктрине его обычно связывают с разногласием между частным лицом и субъектом публичной администрации либо между участниками публичных правоотношений по поводу законности властного решения, действия или бездействия, а также реализации публичных прав и обязанностей. При этом понятие «административный спор» шире судебного дела: конфликт может быть урегулирован самим органом, вышестоящей инстанцией, специальным административным органом или судом.

Ключевым критерием выступает не формальное участие государственного органа, а характер спорного правоотношения. Если орган действует как равный участник гражданского оборота, спор, как правило, разрешается по правилам гражданского или арбитражного процесса. Если же он реализует властные полномочия, издает обязательное предписание, принимает индивидуальное решение либо уклоняется от исполнения публичной обязанности, конфликт приобретает публично-правовую природу. Однако квалификация зависит от содержания правоотношения, а не только от наименования документа или статуса его автора.

Субъектами административного спора могут выступать граждане, индивидуальные предприниматели, юридические лица, органы государственной власти, органы местного самоуправления, должностные лица и организации, которым законом переданы отдельные публичные полномочия. Предметом спора могут быть нормативные и ненормативные правовые акты, индивидуальные решения, действия и бездействие, результаты контрольных мероприятий, отказ в предоставлении услуги, а также иные юридические факты, затрагивающие права и законные интересы.

Для административных споров характерны несколько особенностей. Во-первых, одна из сторон нередко обладает публично-властной компетенцией. Во-вторых, спор может затрагивать не только частный интерес заявителя, но и публичные интересы, например безопасность, бюджетную дисциплину или соблюдение обязательных требований. В-третьих, законодатель устанавливает специальные сроки, процедуры и правила распределения бремени доказывания. В-четвертых, эффективная защита

предполагает не только признание решения незаконным, но и устранение его последствий.

2. Нормативная основа и система способов разрешения

Конституционные гарантии судебной защиты, равенства перед законом и судом, права на обращение в государственные органы и обязанности органов власти соблюдать права и свободы образуют основу разрешения административных споров. На отраслевом уровне центральное место занимают Кодекс административного судопроизводства Российской Федерации от 8 марта 2015 г. № 21-ФЗ (далее — КАС РФ) и Арбитражный процессуальный кодекс Российской Федерации от 24 июля 2002 г. № 95-ФЗ (далее — АПК РФ). КАС РФ регулирует рассмотрение судами общей юрисдикции значительного массива публично-правовых дел, а глава 24 АПК РФ устанавливает особенности оспаривания ненормативных правовых актов, решений и действий публичных органов в сфере предпринимательской и иной экономической деятельности.

Внесудебный уровень включает рассмотрение обращений граждан по Федеральному закону от 2 мая 2006 г. № 59-ФЗ, ведомственное обжалование, специальные административные жалобы и процедуры, предусмотренные отраслевыми законами. Закон № 59-ФЗ обеспечивает право направить обращение в компетентный орган, однако само по себе обращение не всегда является юридически полноценной жалобой на властный акт и не во всех случаях приостанавливает действие такого акта или течение срока судебного обращения. Поэтому заявителю важно различать обращение общего характера и специальную жалобу, для которой законом установлены предмет, адресат, срок и правовые последствия.

Особое значение имеет Федеральный закон от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации». Он закрепляет риск-ориентированную модель контроля, профилактические инструменты и механизмы досудебного обжалования решений и действий контрольных органов. В предусмотренных законом случаях жалоба подается в электронном виде через государственные информационные системы, а ее рассмотрение организуется с учетом установленных законом требований к срокам, компетенции и результату. Вместе с тем действие специального порядка необходимо проверять применительно к конкретному виду контроля и переходным положениям отраслевого законодательства.

3. Внесудебное разрешение административных споров

Внесудебное разрешение предполагает обращение заинтересованного лица к органу, принявшему решение, к вышестоящему органу либо в специально уполномоченную инстанцию. В зависимости от законодательства процедура может именоваться жалобой, возражением, апелляцией или административным обжалованием. Ее функция состоит в повторной проверке фактических обстоятельств, компетенции должностного лица, соблюдения процедуры и соответствия решения закону.

Вместе с тем внесудебное обжалование не должно превращаться в формальное подтверждение первоначального решения. Для его эффективности необходимы функциональное отделение лица, рассматривающего жалобу, от автора оспариваемого решения, доступ заявителя к материалам, мотивированный ответ по каждому существенному доводу, возможность представить доказательства и понятные последствия удовлетворения жалобы. Если орган ограничивается шаблонной ссылкой на законность собственных действий, процедура не выполняет восстановительную функцию.

Обязательный досудебный порядок допустим лишь при наличии прямого законодательного основания. Нельзя исходить из того, что любое обращение к вышестоящему должностному лицу является обязательной предпосылкой судебной защиты. Необходимо установить, распространяется ли специальная норма на соответствующую категорию споров, кто вправе подать жалобу, как исчисляется срок и какие последствия наступают при его пропуске. Ошибка в этом вопросе может привести к потере времени и процессуальным затруднениям.

4. Судебная защита: КАС РФ и АПК РФ

Судебное разрешение административных споров обеспечивает независимую проверку осуществления публичной власти. КАС РФ регулирует, в частности, дела об оспаривании решений, действий и бездействия органов и должностных лиц, а также иные категории административных дел, отнесенные законом к компетенции судов общей юрисдикции. В экономической сфере аналогичная функция реализуется арбитражными судами по правилам главы 24 АПК РФ. Разграничение компетенции связано прежде всего с характером правоотношения и тем, затрагивает ли спор права заявителя в предпринимательской или иной экономической деятельности.

По общему правилу административный истец должен показать, каким образом оспариваемое решение, действие или бездействие затрагивает его права, свободы или законные интересы. Суд проверяет наличие полномочий у органа или должностного лица, соблюдение установленной процедуры, наличие предусмотренных законом оснований и соответствие содержания решения нормативным правовым актам. Существенно, что суд не подменяет административный орган в вопросах целесообразности, если закон оставляет ему усмотрение, но проверяет, не вышел ли орган за пределы компетенции, не использовал ли полномочие произвольно и не нарушил ли обязательные правовые критерии.

Особенность публично-правового процесса проявляется в распределении бремени доказывания. В делах об оспаривании властного решения закон возлагает на соответствующий орган или должностное лицо обязанность подтвердить законность оспариваемого решения и обстоятельства, послужившие основанием для его принятия, в пределах, установленных процессуальным законом. Такой подход компенсирует информационное неравенство сторон: документы административного производства, служебные материалы и сведения о процедуре обычно находятся у публичного субъекта. При этом заявитель не освобождается от обязанности обозначить нарушенное право и представить доступные ему доказательства.

Значимым ориентиром является постановление Пленума Верховного Суда РФ от 28 июня 2022 г. № 21, посвященное применению главы 22 КАС РФ и главы 24 АПК РФ. Верховный Суд разъяснил вопросы определения предмета проверки, обращения в суд, исчисления сроков и оценки законности публичных решений. В частности, при рассмотрении таких дел суду необходимо установить не только формальное соответствие акта нормативному тексту, но и наличие законных оснований для его принятия, соблюдение компетенции и процедуры. Эти разъяснения направлены на единообразие практики и препятствуют сведению судебного контроля к поверхностной проверке формы документа.

Срок обращения в суд имеет самостоятельное значение. Для ряда категорий дел законом установлен специальный срок, а его начало связано с моментом, когда лицу стало известно о нарушении права либо о создании препятствий к его осуществлению. Нельзя механически применять единый срок ко всем публичным спорам: необходимо учитывать конкретную норму КАС РФ, АПК РФ или специального закона. При наличии уважительных причин пропуска срока вопрос о его восстановлении разрешается судом в предусмотренном процессуальном порядке.

Результатом рассмотрения дела может быть признание решения или действия незаконным, возложение обязанности устранить нарушение, принять решение либо совершить определенные действия. Практическая ценность судебной защиты определяется не только резолютивной частью, но и тем, насколько конкретно сформулирована обязанность органа и обеспечено исполнение судебного акта. Если суд ограничивается декларативной констатацией нарушения без определения способа его устранения, спор может фактически продолжиться на административной стадии.

5. Основные проблемы правоприменения

Первая проблема — сложность выбора надлежащего способа защиты и компетентного суда. Различие между КАС РФ и АПК РФ, наличие специальных процедур и множественность сроков затрудняют

обращение для лиц, не обладающих профессиональными юридическими знаниями. Дополнительную сложность создают ситуации, когда публичный орган действует в смешанном качестве или спор затрагивает одновременно публичные и частноправовые элементы. Ошибка в определении процессуального порядка может повлечь передачу дела, оставление заявления без движения или иные задержки.

Вторая проблема связана с качеством административных решений. Недостаточная мотивировка, отсутствие ясного описания фактических оснований, использование оценочных формулировок и несоблюдение процедурных гарантий провоцируют обжалование. Мотивированность важна не только для суда: она позволяет адресату понять логику вмешательства, оценить перспективу жалобы и добровольно исполнить законное предписание. Поэтому повышение качества первичного административного решения является способом предупреждения споров.

Третья проблема — фактическое неравенство сторон. Орган располагает специализированными подразделениями, правовой поддержкой и доступом к ведомственным информационным ресурсам. Гражданин или малое предприятие часто не имеет сопоставимых возможностей. Процессуальные правила о доказывании частично нивелируют дисбаланс, однако для реальной состязательности необходимы доступ к материалам дела, понятные требования к заявлениям, разумные сроки и возможность получить квалифицированную юридическую помощь.

Четвертая проблема — исполнение судебных актов. Признание решения незаконным не всегда автоматически восстанавливает право. Административный орган может повторно рассмотреть вопрос, но вновь принять решение с аналогичным результатом, сославшись на иные мотивы. В подобных случаях принципиально важно, чтобы суд определял правовые пределы повторного рассмотрения, а контроль за исполнением не сводился к формальной отправке исполнительного документа. При необходимости должны применяться предусмотренные законом меры процессуального принуждения и ответственности.

Пятая проблема связана с неоднородностью досудебных процедур. В одних сферах жалоба является обязательной и подробно регламентированной, в других порядок носит общий или факультативный характер. Различаются сроки, способы подачи, требования к содержанию и юридические последствия. Такая фрагментарность затрудняет понимание системы в целом. Унификация базовых гарантий при сохранении отраслевой специфики могла бы повысить доступность административного обжалования.

6. Цифровизация и перспективы совершенствования

Цифровые каналы взаимодействия с публичной администрацией меняют способы подачи жалоб и представления доказательств. Электронные порталы позволяют направлять обращения без личного посещения органа, получать уведомления о движении жалобы и хранить документы в едином цифровом пространстве. В сфере контроля цифровизация способствует прослеживаемости контрольных действий и формированию электронного административного дела. При корректной организации это снижает транзакционные издержки и повышает прозрачность.

Перспективным направлением является развитие единого стандарта административной жалобы. Такой стандарт мог бы закреплять минимальные требования к регистрации жалобы, подтверждению ее получения, информированию о сроке рассмотрения, предоставлению доступа к материалам, мотивировке решения и разъяснению дальнейших способов защиты. При этом отраслевые законы могли бы устанавливать специальные сроки и особенности, не снижая базовый уровень гарантий.

Не менее важно укреплять независимость внутреннего пересмотра. Ведомственная жалоба будет эффективной, если ее рассматривает должностное лицо или подразделение, организационно отделенное от автора оспариваемого решения. В случаях, когда спор затрагивает существенные права или требует сложной оценки, заявителю следует ясно разъяснять возможность обращения в суд и последствия выбора досудебного пути.

Заключение

Разрешение административных споров в Российской Федерации представляет собой многоуровневую систему, включающую рассмотрение жалоб внутри публичной администрации, специальные досудебные процедуры и судебную защиту по правилам КАС РФ и АПК РФ. Ее назначение состоит не только в устранении конкретного нарушения, но и в обеспечении законности публичного управления, ограничении произвольного усмотрения и поддержании баланса частных и публичных интересов.

Судебная форма остается ключевой гарантией независимого контроля, тогда как внесудебное обжалование способно обеспечить более быстрое исправление ошибок и предупредить судебные процессы. Эти способы не должны противопоставляться: административная жалоба должна быть реальным механизмом самокоррекции власти, а судебная защита — доступной гарантией на случай, когда внутренний пересмотр не привел к восстановлению права.

К основным направлениям совершенствования относятся повышение качества мотивировки административных актов, унификация минимальных гарантий досудебного обжалования, устранение процессуальной неопределенности при разграничении компетенции судов, обеспечение доступа к материалам, развитие цифровых процедур с сохранением человеческого контроля и повышение эффективности исполнения судебных решений. Центральным критерием реформирования должна стать не формальная скорость рассмотрения жалобы, а достижение законного и фактически исполнимого результата.

Таким образом, эффективность российской модели разрешения административных споров определяется согласованностью административных и судебных механизмов. Чем раньше публичная администрация способна выявить и исправить собственную ошибку, тем ниже конфликтность публичных отношений; чем независимее и действеннее судебный контроль, тем выше гарантии того, что административное усмотрение остается в пределах закона.

Список использованной литературы:

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 г.; с учетом действующих поправок).
2. Кодекс административного судопроизводства Российской Федерации от 8 марта 2015 г. № 21-ФЗ (редакция, действующая на дату подготовки статьи).
3. Арбитражный процессуальный кодекс Российской Федерации от 24 июля 2002 г. № 95-ФЗ (редакция, действующая на дату подготовки статьи).
4. Федеральный закон от 2 мая 2006 г. № 59-ФЗ «О порядке рассмотрения обращений граждан Российской Федерации».
5. Федеральный закон от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации».
6. Постановление Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 28 июня 2022 г. № 21 «О некоторых вопросах применения судами положений главы 22 Кодекса административного судопроизводства Российской Федерации и главы 24 Арбитражного процессуального кодекса Российской Федерации».
7. Официальный интернет-портал правовой информации. URL: https://pravo.gov.ru/ (дата обращения: 09.11.2026).
8. Верховный Суд Российской Федерации. Постановление Пленума Верховного Суда РФ от 28.06.2022 № 21. URL: https://vsrf.ru/documents/all/31334 (дата обращения: 09.11.2026).
9. Министерство юстиции Российской Федерации. Кодекс административного судопроизводства Российской Федерации. URL: https://minjust.gov.ru/ru/documents/7611/ (дата обращения: 09.11.2026).

© Фомина-Лысюк Д.Д., Кремёнов И.Н., 2026

УДК 342.9

Фомина-Лысюк Д.Д.
студентка 3 курса магистратуры МФЮА
Г. Калининград, РФ
Кремёнов И.Н.
доц. кафедры уголовного права,
криминологии и уголовно-исполнительного права
Калининградского филиала
Санкт-Петербургского университета МВД России
г. Калининград, РФ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗРЕШЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНЫХ СПОРОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аннотация

В статье исследуются современные механизмы разрешения административных споров в Российской Федерации. Рассматриваются особенности возникновения административно-правовых конфликтов, правовые гарантии участников публичных правоотношений и значение административной юстиции. Анализируются проблемы реализации права на обжалование решений государственных органов, а также перспективы развития альтернативных способов урегулирования административных разногласий. Обосновывается необходимость совершенствования правовых и организационных механизмов защиты прав граждан в сфере государственного управления.

Ключевые слова:

административный спор, административная юстиция, публичное управление, правовой конфликт, государственная власть, административное обжалование, судебная защита.

Введение

Развитие современного правового государства невозможно без создания эффективной системы контроля за деятельностью органов публичной власти. Взаимодействие государства и общества сопровождается возникновением различных правовых конфликтов, одним из видов которых являются административные споры.

Подобные споры возникают в результате несогласия граждан или организаций с решениями государственных органов, действиями должностных лиц либо отказом в реализации предусмотренных законодательством прав. Их своевременное и справедливое разрешение имеет большое значение для обеспечения стабильности общественных отношений и соблюдения принципа верховенства права.

Актуальность данной темы обусловлена необходимостью поиска наиболее эффективных способов защиты граждан от неправомерного осуществления публичных полномочий. Особое значение приобретает обеспечение реальной возможности обжалования административных решений и создание условий для объективного рассмотрения возникающих разногласий.

Цель исследования состоит в анализе современных механизмов разрешения административных споров, определении их особенностей и выявлении направлений дальнейшего развития.

1. Особенности возникновения административно-правовых конфликтов

Административные споры занимают особое место в системе юридических конфликтов, поскольку возникают в сфере реализации публичной власти. Их специфика заключается в том, что конфликтующие стороны зачастую обладают различным правовым статусом.

С одной стороны, участником спора выступает гражданин или организация, заинтересованные в

защите своих прав. С другой стороны, субъектом конфликта является орган государственной власти, орган местного самоуправления или должностное лицо, осуществляющее административные полномочия.

Причинами возникновения таких споров могут быть неправомерные решения государственных органов, нарушение установленных процедур, превышение должностных полномочий, необоснованный отказ в предоставлении государственных услуг, а также несоблюдение сроков рассмотрения обращений.

Особенностью административного конфликта является его связь с общественными интересами и необходимостью обеспечения законности государственного управления. Поэтому его разрешение должно осуществляться не только с учётом интересов конкретного заявителя, но и на основе общих принципов публичного права.

Важно отметить, что наличие возможности оспаривания действий государственных органов является одним из основных признаков демократического правового государства. Право гражданина на защиту от неправомерных действий публичной администрации закреплено в статье 46 Конституции Российской Федерации, гарантирующей каждому судебную защиту его прав и свобод.

Таким образом, административные споры следует рассматривать не только как отдельную категорию юридических разногласий, но и как показатель эффективности взаимодействия государства и общества.

2. Роль административной юстиции в защите прав граждан

Одним из важнейших институтов разрешения административных споров является административная юстиция, представляющая собой систему правовых механизмов судебного контроля за деятельностью органов публичной власти.

Её основная задача заключается в обеспечении возможности независимой проверки законности административных решений и восстановлении нарушенных прав граждан и организаций.

В Российской Федерации значительную роль в данной сфере играет Кодекс административного судопроизводства РФ, регулирующий порядок рассмотрения судами административных дел, связанных с защитой нарушенных или оспариваемых прав в публичных правоотношениях.

Судебное рассмотрение административных споров позволяет установить, соответствовали ли действия государственного органа требованиям законодательства, имелись ли законные основания для принятия определённого решения и были ли соблюдены права заинтересованных лиц.

Особое значение имеет возможность признания незаконными решений, действий или бездействия органов публичной власти. В результате судебного разбирательства могут быть возложены обязанности по устранению допущенных нарушений и восстановлению прав административного истца.

При этом судебная защита должна быть доступной, своевременной и эффективной. Формальное наличие права на обращение в суд не гарантирует полноценного восстановления нарушенных интересов, если процедура рассмотрения дела чрезмерно сложна или сопровождается значительными временными затратами.

Следовательно, дальнейшее развитие административной юстиции должно быть направлено на повышение качества судебного контроля, обеспечение единообразия правоприменительной практики и укрепление гарантий процессуального равенства участников административного процесса.

3. Совершенствование механизмов разрешения административных споров

Несмотря на существование законодательных механизмов защиты прав граждан, современная практика выявляет необходимость дальнейшего совершенствования системы разрешения административных споров.

Одним из перспективных направлений является развитие досудебного урегулирования. Возможность разрешения конфликта до обращения в суд позволяет сократить нагрузку на судебную систему, уменьшить расходы участников и ускорить восстановление нарушенных прав.

При этом досудебное рассмотрение жалоб должно основываться на принципах объективности,

прозрачности и ответственности государственных органов. Недопустимо, чтобы процедура обжалования превращалась в формальное подтверждение ранее принятого административного решения.

Важным направлением также является цифровизация административных процедур. Современные информационные технологии позволяют организовать электронную подачу жалоб, дистанционное взаимодействие с государственными органами и получение информации о результатах рассмотрения обращений.

Применение цифровых механизмов способствует повышению доступности государственных услуг и сокращению бюрократических препятствий. Однако необходимо учитывать, что цифровизация не должна ограничивать возможности граждан, не обладающих достаточными техническими средствами или навыками работы с электронными сервисами.

Кроме того, необходимо уделять внимание повышению профессиональной подготовки государственных служащих. Значительная часть административных конфликтов может быть предотвращена посредством соблюдения должностными лицами требований законодательства, правильного применения административных процедур и корректного взаимодействия с гражданами.

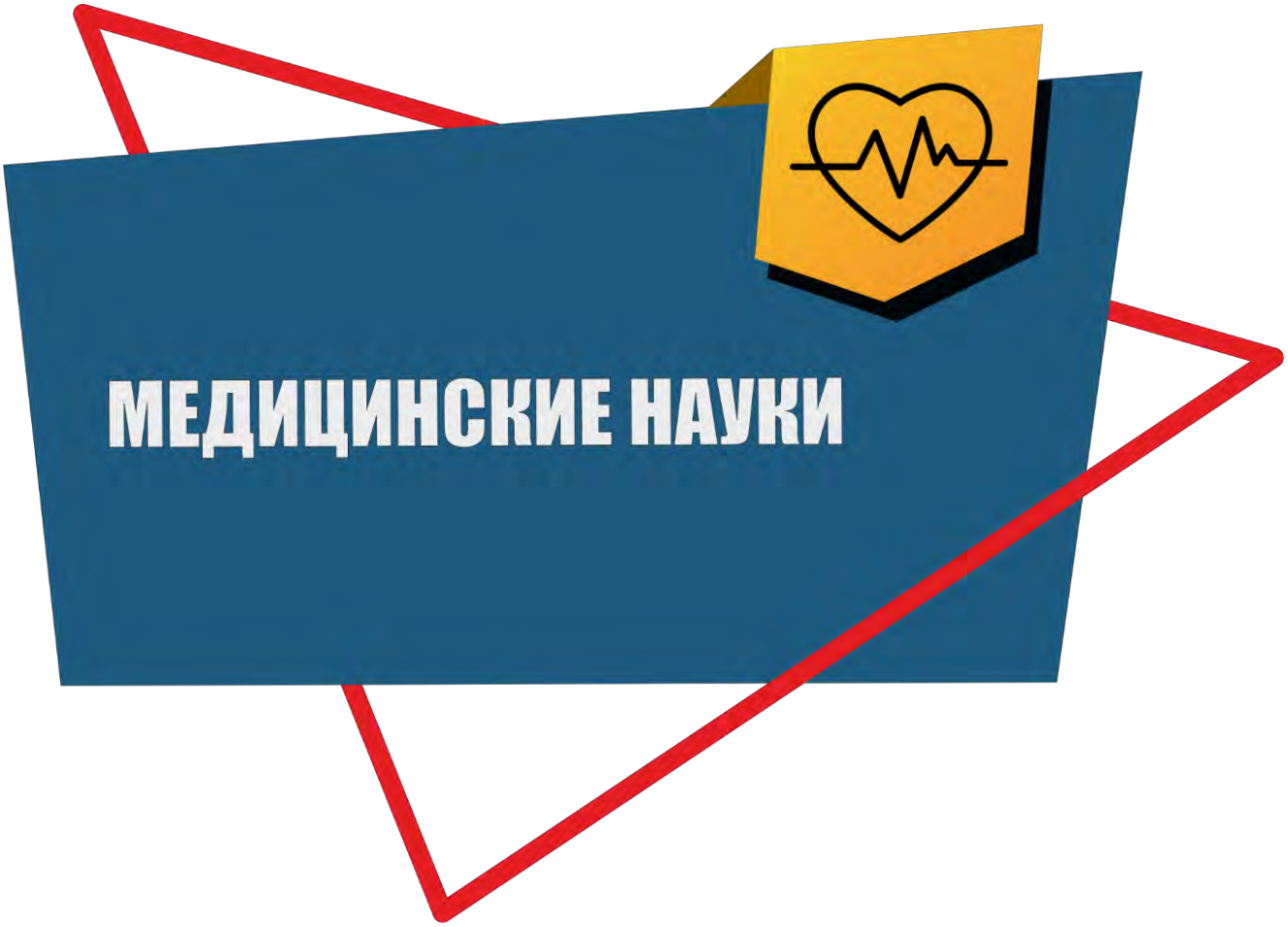
Представляется целесообразным также расширять практику профилактики административных споров. Для этого государственным органам необходимо проводить анализ наиболее распространённых причин поступления жалоб, выявлять систематические нарушения и своевременно устранять недостатки в собственной деятельности.

Комплексное применение перечисленных мер позволит перейти от преимущественно реактивной модели разрешения административных споров к системе, ориентированной на предупреждение правовых конфликтов.

Список использованной литературы:

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 г., с последующими изменениями).
2. Кодекс административного судопроизводства Российской Федерации от 8 марта 2015 г. № 21-ФЗ.
3. Федеральный закон от 2 мая 2006 г. № 59-ФЗ «О порядке рассмотрения обращений граждан Российской Федерации».
4. Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 210-ФЗ «Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг».
5. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ.

© Фомина-Лысюк Д.Д., Кремёнов И.Н., 2026


МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

UDC 004

Аширов Ш.Я.
Клинический ординатор кафедры Госпитальной хирургии
с курсом сердечно-сосудистой хирургии
Государственный медицинский университет Туркменистана имени Мырата Гаррыева
г. Ашхабад, Туркменистан

ОСЛОЖНЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ЖЕЛЧНОКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ И ПОСТХОЛЕЦИСТЭКТОМИЧЕСКИЙ СИНДРОМ

Аннотация

Хирургическое лечение желчнокаменной болезни остается одним из наиболее распространенных оперативных вмешательств в современной абдоминальной хирургии, однако, несмотря на внедрение малоинвазивных технологий, проблема развития интраоперационных и послеоперационных осложнений сохраняет свою высокую актуальность. Лапароскопическая холецистэктомия заслуженно признана «золотым стандартом» терапии калькулезного холецистита, обеспечивая быструю реабилитацию пациентов и минимальную травматизацию тканей. Тем не менее, анатомическая вариабельность желчевыводящих путей, выраженные воспалительно-инфильтративные изменения в области гепатодуоденальной связки и технические сложности диссекции создают предпосылки для возникновения серьезных патологических состояний. Своевременная диагностика, профилактика и выбор оптимальной лечебной тактики при осложнениях хирургического лечения желчнокаменной болезни определяют не только непосредственный успех операции, но и качество дальнейшей жизни пациента.

Ключевые слова:

дисфункция сфинктера Одди, холедохолитиаз, билиарный тракт, эндоскопическая папиллосфинктеротомия, реабилитация пациентов.

Введение

Интраоперационные осложнения представляют наибольшую непосредственную угрозу для жизни больного и требуют от оперирующего хирурга высочайшей квалификации и мгновенной клинической реакции. Наиболее тяжелым и драматичным осложнением является ятрогенное повреждение магистральных желчных протоков, которое при несвоевременном распознавании приводит к развитию желчного перитонита, стриктур, билиарного цирроза и печеночной недостаточности. Другим грозным интраоперационным риском выступает массивное кровотечение из пузырной артерии, ветвей печеночной артерии или ложа желчного пузыря в паренхиме печени, способное быстро нарушить гемодинамику. Кроме того, при грубых манипуляциях в условиях плотного спаечного процесса возможно перфорационное повреждение стенки двенадцатиперстной кишки, желудка или поперечной ободочной кишки, требующее немедленного ушивания дефекта.

Ранние послеоперационные осложнения развиваются в первые сутки или недели после выполнения холецистэктомии и зачастую связаны с недостаточностью гемостаза, несостоятельностью клипс или скрытыми повреждениями билиарного тракта. Желчеистечение в свободную брюшную полость или формирование отграниченных подпеченочных биломов возникают при соскальзывании лигатуры с культи пузырного протока или из аберрантных ходов Лушки в ложе желчного пузыря.

Поздние осложнения хирургического лечения желчнокаменной болезни могут манифестировать спустя месяцы и даже годы после перенесенной операции, нередко маскируясь под другие гастроэнтерологические заболевания. К числу наиболее серьезных поздних последствий относятся рубцовые стриктуры общего желчного и печеночного протоков, формирующиеся на фоне ишемии стенки

протока или термического ожога при использовании электрокоагуляции. Нарушение оттока желчи приводит к развитию механической желтухи, рецидивирующего гнойного холангита и вторичного билиарного цирроза печени, требующих сложных реконструктивных операций.

Заключение

Патогенетические механизмы формирования постхолецистэктомического синдрома тесно связаны с изменением химического состава желчи, нарушением энтерогепатической циркуляции желчных кислот и дисбиозом кишечника. Постоянное поступление желчи в двенадцатиперстную кишку вне пищеварительного периода провоцирует развитие дуоденогастрального рефлюкса, приводящего к формированию хронического рефлюкс-гастрита и эрозивных поражений слизистой оболочки желудка. Преждевременное поступление концентрированных желчных кислот в толстую кишку стимулирует секрецию воды и электролитов, что клинически проявляется хологенной диареей и метеоризмом. Одновременно нарушение мицеллярного растворения липидов ухудшает всасывание жиров и жирорастворимых витаминов, усугубляя синдром мальабсорбции и нутритивную недостаточность.

Список использованной литературы:

1. Гальперин Э.И., Ветшев П.С. Руководство по хирургии желчных путей. Москва: Видар-М, 2018.
2. Ивашкин В.Т., Маев И.В., Баранская Е.К. Клинические рекомендации Российской гастроэнтерологической ассоциации по диагностике и лечению желчнокаменной болезни. Москва: РГА, 2020.
3. Емельянов С. И., Федоров А. В. Эндоскопическая хирургия желчнокаменной болезни: осложнения и их профилактика. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2019.

© Аширов Ш.Я., 2026

УДК 61

Гуллыева А. М.
Кандидат медицинских наук, преподаватель кафедры нормальной анатомии,
топографической анатомии и оперативной хирургии
Государственного Медицинского университета Туркменистана имени Мырата Гаррыева

МОЗГОВЫЕ ОБОЛОЧКИ И ВЕНОЗНЫЕ СИНУСЫ ТВЁРДОЙ ОБОЛОЧКИ ГОЛОВНОГО МОЗГА: АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Аннотация

Мозговые оболочки представляют собой систему соединительнотканных структур, окружающих головной и спинной мозг и обеспечивающих его механическую защиту, фиксацию и поддержание постоянства внутренней среды центральной нервной системы. Выделяют три основные оболочки: твёрдую, паутинную и мягкую. Особое анатомическое и функциональное значение имеет твёрдая мозговая оболочка, между листками которой в определённых участках располагаются венозные синусы. Они обеспечивают отток венозной крови от головного мозга и участвуют в циркуляции спинномозговой жидкости. В статье рассматриваются строение мозговых оболочек, топография венозных синусов, их анатомические соединения и функциональное значение.

Ключевые слова:
головной мозг, мозговые оболочки, твёрдая мозговая оболочка, паутинная оболочка, мягкая оболочка, венозные синусы, венозный отток, ликвор.

Gullieva A.M.
Candidate of Medical Sciences, Lecturer at the Department of Normal Anatomy,
Topographic Anatomy, and Operative Surgery
Myrat Garryev State Medical University of Turkmenistan

MENINGES AND DURAL VENOUS SINUSES: ANATOMICAL STRUCTURE AND FUNCTIONAL SIGNIFICANCE

Abstract

The meninges are connective tissue structures that surround the brain and spinal cord, providing mechanical protection and anatomical support to the central nervous system. They consist of three layers: the dura mater, arachnoid mater and pia mater. The dural venous sinuses are specialized venous channels located between the layers of the dura mater. They play an essential role in cerebral venous drainage and cerebrospinal fluid circulation. This article examines the anatomical structure of the meninges, the topography of the dural venous sinuses, their anatomical connections and their functional significance. Understanding these structures is important for clinical neurology, neurosurgery and the diagnosis of intracranial disorders.

Keywords:

brain, meninges, dura mater, arachnoid mater, pia mater, dural venous sinuses,
venous drainage, cerebrospinal fluid.

Общая анатомическая характеристика мозговых оболочек

Мозговые оболочки (meninges) представляют собой три соединительнотканных слоя, покрывающих головной и спинной мозг. Они располагаются между костями черепа и нервной тканью, выполняя защитную, опорную и трофическую функции.

В анатомическом отношении различают:

* Твёрдую мозговую оболочку — dura mater.

* Паутинную мозговую оболочку — arachnoidea mater.

* Мягкую мозговую оболочку — pia mater.

Каждая оболочка имеет собственные морфологические особенности и тесно связана с определёнными структурами центральной нервной системы.

Твёрдая оболочка является наиболее наружной и плотной. Паутинная оболочка располагается под ней, а мягкая непосредственно прилежит к поверхности головного мозга, повторяя его извилины и борозды.

Между оболочками находятся анатомические пространства, имеющие важное значение для циркуляции ликвора, сосудистого обеспечения и защиты нервной ткани.

Твёрдая мозговая оболочка: строение и топография

Твёрдая мозговая оболочка головного мозга (dura mater encephali) представляет собой плотную фиброзную оболочку, состоящую преимущественно из коллагеновых волокон. Она выстилает внутреннюю поверхность полости черепа и отличается высокой механической прочностью.

В отличие от спинного мозга, где твёрдая оболочка представлена преимущественно одним оболочечным мешком, внутричерепная твёрдая оболочка имеет два листка:

Эти образования выполняют опорную функцию и ограничивают чрезмерное смещение отделов головного мозга при изменении положения головы и воздействии механических сил.

Паутинная и мягкая мозговые оболочки

Паутинная оболочка (arachnoidea mater) представляет собой тонкую, прозрачную, практически бессосудистую соединительнотканную мембрану. Она располагается под твёрдой оболочкой и не заходит непосредственно в глубину борозд головного мозга, а перекидывается через них.

Между паутинной и мягкой мозговыми оболочками находится подпаутинное пространство (spatium subarachnoideum), заполненное спинномозговой жидкостью — ликвором.

Список использованной литературы:

1. Сапин М.Р., Билич Г.Л. Анатомия человека. — Москва: ГЭОТАР-Медиа..
2. Привес М.Г., Лысенков Н.К., Бушкович В.И. Анатомия человека. — Санкт-.Петербург: СпецЛит.
3.Синельников Р.Д., Синельников Я.Р., Синельников А.Я. Атлас анатомии человека. — Москва: Новая волна.

© Гуллыева А.М., 2026

УДК 61

Оразова С.Б.
Преподаватель кафедры ортопедической и хирургической стоматологии
Государственного Медицинского университета Туркменистана имени Мырата Гаррыева

КИСТЫ И ОПУХОЛИ: СКРЫТЫЕ УГРОЗЫ ПОЛОСТИ РТА И МЕТОДЫ ИХ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ

Аннотация

Кисты и опухоли полости рта представляют собой важную проблему современной хирургической стоматологии. Данные патологические образования могут длительное время развиваться бессимптомно, постепенно увеличиваясь в размерах и вызывая разрушение окружающих костных и мягких тканей. Особую опасность представляют одонтогенные кисты, доброкачественные и злокачественные новообразования челюстно-лицевой области. Своевременное выявление патологических изменений имеет большое значение для предупреждения осложнений и сохранения функций зубочелюстной системы. В статье рассматриваются основные виды кист и опухолей полости рта, их этиология, клинические проявления, методы диагностики и современные способы хирургического лечения.

Ключевые слова:
кисты полости рта, опухоли, хирургическая стоматология, одонтогенные кисты, новообразования челюстей, цистэктомия, цистотомия, биопсия.

Orazova S.B.
Teacher at the Department of Orthopedic and Surgical Dentistry
of the Murat Garryev State Medical University of Turkmenistan

CYSTS AND TUMORS: HIDDEN THREATS OF THE ORAL CAVITY AND THEIR SURGICAL TREATMENT METHODS

Abstract

Cysts and tumors of the oral cavity represent an important problem in modern surgical dentistry. These pathological formations may develop asymptomatically for a long time, gradually increasing in size and causing damage to surrounding bone and soft tissues. Odontogenic cysts and benign and malignant neoplasms of the maxillofacial region require particular attention. Early diagnosis plays an important role in preventing complications and preserving the functions of the dentoalveolar system. This article discusses the main types of oral cysts and tumors, their etiology, clinical manifestations, diagnostic methods and modern surgical treatment approaches. Special attention is paid to cystectomy, cystotomy, marsupialization and surgical removal of neoplasms.

Keywords:

oral cysts, tumors, surgical dentistry, odontogenic cysts, jaw neoplasms, cystectomy, cystotomy, biopsy.

Общая характеристика кист и опухолей полости рта

Кисты и опухоли полости рта относятся к патологическим образованиям, которые могут поражать слизистую оболочку, мягкие ткани, челюстные кости и слюнные железы. Киста представляет собой патологическую полость, обычно имеющую эпителиальную выстилку и заполненную жидким или полужидким содержимым. Опухоли характеризуются патологическим разрастанием клеток и могут быть доброкачественными или злокачественными.

Особенность данных заболеваний заключается в том, что на ранних стадиях они нередко протекают без выраженных клинических симптомов. Пациент может обнаружить образование случайно во время чистки зубов или стоматологического осмотра. При дальнейшем увеличении патологического очага возникают деформация челюсти, смещение зубов, болезненность и нарушение жевательной функции. Поэтому ранняя диагностика имеет важное значение для предупреждения серьёзных последствий.

Классификация кист и опухолей полости рта

Кисты челюстно-лицевой области подразделяются на несколько основных групп.

Одонтогенные кисты:

* радикулярная (корневая) киста;

* фолликулярная (зубосодержащая) киста;

* кератокиста;

* киста прорезывания зуба;

* остаточная киста.

Неодонтогенные кисты:

* носонёбная киста;

* носогубная киста;

* другие кисты, связанные с развитием лицевых структур.

Опухоли полости рта подразделяются на:

* Доброкачественные: фиброма, папиллома, липома, остеома, гемангиома.

* Злокачественные: плоскоклеточный рак, аденокарцинома и другие злокачественные новообразования.

Важно отличать истинные опухоли от опухолеподобных образований, поскольку их биологическое поведение и методы лечения могут существенно различаться.

Этиология и патогенез патологических образований

Причины возникновения кист и опухолей полости рта разнообразны. Одонтогенные кисты часто связаны с воспалительными процессами в периапикальных тканях зубов, нарушениями развития зубных структур и остатками одонтогенного эпителия.

— установление окончательного характера патологического образования.

Список использованной литературы:

1. Fonseca R. J. Oral and Maxillofacial Surgery. 3rd ed. Elsevier, 2017.

2.Neville B. W., Damm D. D., Allen C. M., Chi A. C. Oral and Maxillofacial Pathology. 4th ed. Elsevier, 2016.

3.Miloro M., Ghali G. E., Larsen P. E., Waite P. D. Peterson's Principles of Oral and Maxillofacial Surgery. 3rd ed. BC Decker, 2012.

4.Regezi J. A., Sciubba J. J., Jordan R. C. K. Oral Pathology: Clinical Pathologic Correlations. 7th ed. Elsevier, 2016.

© Оразова С.Б., 2026

УДК 61

Оразова С.Б.
Преподаватель кафедры ортопедической и хирургической стоматологии
Государственного Медицинского университета Туркменистана имени Мырата Гаррыева

ПЕРЕЛОМЫ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ДИАГНОСТИКА И ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ

Аннотация

Переломы нижней челюсти являются одной из наиболее распространённых травм челюстно-лицевой области. Они возникают вследствие механического воздействия, дорожно-транспортных происшествий, бытовых и производственных травм. Особенности анатомического строения нижней челюсти, её подвижность и участие в жевании и речи определяют клиническое значение данных повреждений. В статье рассматриваются основные классификации переломов нижней челюсти, современные методы диагностики, клинические проявления и принципы хирургического лечения. Особое внимание уделяется остеосинтезу, репозиции костных отломков и профилактике посттравматических осложнений.

Ключевые слова:
нижняя челюсть, перелом, челюстно-лицевая травма, остеосинтез,
репозиция, диагностика, хирургическое лечение.

Orazova S.B.
Teacher at the Department of Orthopedic and Surgical Dentistry
of the Murat Garryev State Medical University of Turkmenistan

MANDIBULAR FRACTURES: CLASSIFICATION, DIAGNOSIS AND SURGICAL TREATMENT

Abstract

Mandibular fractures are among the most common injuries of the maxillofacial region. They may result from road traffic accidents, falls, sports injuries and other forms of mechanical trauma. The clinical significance of these injuries is associated with impaired mastication, speech and occlusion. This article discusses the main classifications of mandibular fractures, clinical manifestations, diagnostic methods and modern surgical treatment approaches. Particular attention is paid to open reduction, osteosynthesis and postoperative rehabilitation. Early diagnosis and appropriate surgical management are essential for restoring mandibular anatomy and function and preventing complications.

Keywords:
mandible, mandibular fracture, maxillofacial trauma, classification,
diagnosis, osteosynthesis, surgical treatment.

Анатомо-функциональные особенности нижней челюсти

Нижняя челюсть представляет собой единственную подвижную кость лицевого черепа. Она состоит из тела и двух ветвей, которые заканчиваются мыщелковыми и венечными отростками. В теле нижней челюсти располагаются альвеолярная часть с зубами, подбородочное отверстие и канал нижней челюсти, содержащий сосудисто-нервный пучок.

Анатомические особенности определяют характер и локализацию переломов. Наиболее уязвимыми участками являются область угла нижней челюсти, подбородочный отдел, область клыков и шейки мыщелкового отростка. При переломах возможно повреждение нижнего альвеолярного нерва,

сосудов, зубов и окружающих мягких тканей. Нарушение целостности кости приводит к изменению прикуса, затруднению жевания, речи и открывания рта.

Классификация переломов нижней челюсти

Переломы нижней челюсти классифицируют по нескольким основным признакам.

По локализации:

* переломы подбородочного отдела;
* переломы тела нижней челюсти;
* переломы угла нижней челюсти;
* переломы ветви;
* переломы венечного отростка;
* переломы мыщелкового отростка.

По характеру повреждения:

* полные и неполные;
* одиночные и множественные;
* односторонние и двусторонние;
* линейные и оскольчатые.

По состоянию мягких тканей:

* закрытые;
* открытые (в том числе сообщающиеся с полостью рта через зубную альвеолу или повреждённую слизистую).

Также выделяют переломы со смещением и без смещения костных отломков. Смещение зависит от направления удара, силы травмы и тяги жевательных мышц.

Этиология и механизм развития переломов

Основными причинами переломов нижней челюсти являются дорожно-транспортные происшествия, падения с высоты, спортивные травмы, бытовые конфликты и производственные повреждения. Реже переломы возникают при патологических изменениях костной ткани, например при остеомиелите, кистах и опухолях.

Механизм повреждения связан с воздействием прямой или непрямой силы. При прямой травме перелом возникает непосредственно в месте приложения силы. При непрямой травме повреждение может локализоваться на удалённом участке, например в области мыщелкового отростка при ударе по подбородку.

Список использованной литературы:

1. Fonseca R. J. Oral and Maxillofacial Surgery. 3rd ed. Elsevier, 2017.
2. Miloro M., Ghali G. E., Larsen P. E., Waite P. D. Peterson's Principles of Oral and Maxillofacial Surgery. 3rd ed. BC Decker, 2012.
3.Ellis E. III, Zide M. F. Surgical Approaches to the Facial Skeleton. 2nd ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2006.
4.AO Foundation. AO Surgery Reference: Mandible Fractures – Terminology.

© Оразова С.Б., 2026