

Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности |



Том 11 Номер 4 (66)



2026



СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

-
- | | |
|---|-----------|
| 1. Штраух Л.А., Руденко А.А. Внедрение технологий информационного моделирования (BIM) в организацию строительства Санкт-Петербургского метрополитена | 6 |
| Straukh L.A., Rudenko A.A. Implementation of information modeling technologies (BIM) in the construction of the ST. Petersburg Metro | |
| 2. Абдурахманов Р.Т., Афонин П.В. Генетический алгоритм построения учебного расписания в пространстве допустимых решений | 16 |
| Abdurakhmanov R. T., Afonin P. V. Genetic algorithm for constructing an educational schedule in the space of feasible solutions | |
| 3. Давыдов Д.В. Риск-ориентированный процесс одобрения автономных судов и систем морских автономных судов | 23 |
| Davydov D.V. Risk-based approval process for autonomous vessels and autonomous vessel systems | |
| 4. Ефимов Н.А. Специализированные AGILE-методологии в современных ИТ-проектах: XP, FDD, CRYSTAL, DSDM | 30 |
| Efimov N.A. Niche AGILE methodologies in modern IT projects: XP, FDD, CRYSTAL, DSDM | |
| 5. Кильдибаева Е.В. Разработка алгоритма оценки взаимовлияния скважин для поддержки принятия решений при планировании ГТМ | 37 |
| Kildibaeva E. V. Development of an algorithm for assessing well interference to support decision-making in the planning of geological and technical measures | |
| 6. Макарян Г.А., Харитоненков А.И. Потенциал нейронных сетей Колмогорова-Арнольда как альтернативы многослойным перцептронам в задачах логистики | 45 |
| Makaryan G.A., Kharitononkov A.I. The potential of Kolmogorov-Arnold neural networks as an alternative to multilayer perceptrons in logistics problems | |
| 7. Борисенко И.И., Серегин И.А. Методика обнаружения атак класса BADUSB на основе поведенческого анализа клавиатурного почерка | 51 |
| Borisenko I. I., Seregin I. A. A method for detecting BADUSB attacks based on behavioral analysis of keystroke dynamics | |
| 8. Кузнецов А.С. Применение технологии цифровых двойников для повышения надёжности судовых энергетических установок автономных судов | 58 |
| Kuznetsov A.S. Application of digital twin technology for improving reliability of marine power plants of autonomous vessels | |
-

9.	Гриф М. Г., Шамин А.А. Сравнительный анализ архитектур нейронных сетей (RNN, GRU, LSTM) для предсказания стоимости акции	66
	Grif M.G., Shamin A. A. Comparative analysis of neural network architectures (RNN, GRU, LSTM) for stock price prediction	
10.	Ходов М.Д. Адаптация требований ФСТЭК к системам технической защиты информации в медицинских учреждениях (как субъектах КИИ)	74
	Khodov M.D. Adaptation of FSTEC requirements to technical information protection systems in medical institutions (as entities of Critical Information Information)	
11.	Молчанов И.А., Седых К.В. (научный руководитель) Стандартные тестовые методы при тестировании цифровых микросхем	90
	Molchanov I.A., Sedykh K.V. (Academic Supervisor) Standard test methods for digital integrated circuits testing	
12.	Сочинский А.А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования земли	99
	Sochinsky A.A. Crop yield forecasting based on earth remote sensing data	
13.	Прожирко Е.Ю. SMT-ориентированный подход к выявлению типовых дефектов политик доступа	104
	Prozhirko E.Y. SMT-based approach to detecting typical defects in access control policies	
14.	Гарматюк В.В. Оптимизация специальных технических средств контроля и управления доступом на объектах критической информационной инфраструктуры	113
	Garmatyuk V.V. Optimization of special technical access control and management systems at critical information infrastructure facilities	
15.	Каримов В.Р., Галиева А.И. Единая лифтовая аналитическая информационная система как инструмент централизованного контроля лифтового хозяйства	121
	Karimov V.R., Galieva A.I. A unified elevator analytical information system as a tool for centralized control of elevator systems	
16.	Султанова М. Численные методы для сильно связанной плазмы: от гидродинамики к молекулярной динамике	129
	Sultanova M. Numerical methods for strongly coupled plasma: from hydrodynamics to molecular dynamics	
17.	Гарифуллин К.А., Абдулманов А.Р., Иванова Г.Р. (научный руководитель) Повышение надежности и отказоустойчивости систем оплаты через внедрение регламентов ИТ-обслуживания	136
	Garifullin K.A., Abdulmanov A.R., Ivanova G.R. (Academic Supervisor) Improving the reliability and failure-resistance of payment systems through the implementation of IT service regulations	
18.	Абдулманов А.Р., Загируллин Т.А., Шамсутдинова Т.М. (научный руководитель) Интеграция ITSM-системы с 1С: УПП для управления инцидентами и изменениями в расчете себестоимости	144

	Abdulmanov A.R., Zagirullin T.A., Shamsutdinova T.M. (Academic Supervisor) Integration of the ITSM system with 1C: ITIL IUM for incident management and change management in cost calculation	
19.	Сорокин А.А. Архитектурный анализ вертикальной связанности уровней управления в системах обмена сообщениями беспилотной авиации	151
	Sorokin A.A. Architectural analysis of vertical connectivity of control levels in unmanned aircraft messaging systems	
20.	Курбанов А.Э. Комплексная методика переобработки и интеграции геофизических данных для геологического моделирования севера Тимано-Печорской провинции и акватории Печорского моря	161
	Kurbanov A.E. An integrated method for reprocessing and integration of geophysical data for geological modeling of the northern Timan-Pechora province and the Pechora sea	
21.	Абдулманов А.Р. Гарифуллин К.А. Шамсутдинова Т.М. (научный руководитель) Автоматизация управления инцидентами в платежной инфраструктуре предприятия с использованием ITSM-подхода	175
	Abdulmanov A.R., Garifullin K.A., Shamsutdinova T.M. (Academic Supervisor) Automation of incident management in the enterprise's payment infrastructure using the ITSM approach	
22.	Коровай А.А. Применение технологий распознавания жестов для бесконтактного управления функциями систем ВКС	183
	Korovai A.A. APPLICATION OF GESTURE RECOGNITION TECHNOLOGIES FOR CONTACTLESS CONTROL OF VIDEO CONFERENCING SYSTEM FUNCTIONS	
23.	Коровай А.А. Эволюция функциональных требований к платформам для ОНЛАЙН-мероприятий в постпандемийный период	189
	Korovai A.A. EVOLUTION of functional requirements for ONLINE events platforms in the post-pandemic period	
24.	Купцов А.Р., Рыбин С.В. (научный руководитель) Квантование как метод оптимизации нейронных сетей	195
	Kuptsov A.R., Rybin S.V. (Scientific Supervisor) Quantization as a method of neural network optimization	
25.	Машарипова Ю.М. Гибридная архитектура автоматизированного оценивания учебных проектов с реактивной эскалацией на основе генеративных языковых моделей	201
	Masharipova Yu.M. Hybrid architecture of automated assessment of learning projects with reactive escalation based on generative language models	
26.	Машарипова Ю.М. Оптимизация и этические аспекты применения искусственного интеллекта для автоматизированной оценки учебных достижений в системе высшего и дополнительного профессионального образования	208
	Masharipova Yu.M. Optimization and ethical aspects of the use of artificial intelligence for automated assessment of academic achievements in the system of higher and additional professional education	
27.	Сотников А.А., Шаманов П.Е. Автоматическое распознавание релевантных фрагментов текстовой информации на страницах сети интернет	216

Sotnikov A.A., Shamanov P.E. Automatic recognition of relevant text fragments on web pages

28. **Ипполитова Е.В., Николаюк С.Е.** Подходы к проектированию механизма подвижности змеевидного робота 221

Ippolitova E.V., Nikolayuk S.E. Approaches to designing a mobility mechanism for a serpent-shaped robot

29. **Солоненко И.С., Шестоперов И.Д.** Разработка командного интерпретатора с поддержкой управления заданиями и обработкой сигналов 227

Solonenko I.S., Shestoperov I.D. Development of a command interpreter with support for job management and signal processing

30. **Попандопуло П. Р., Мусикаев А.А.** Исследование функционала и скорости срабатывания технологии IP SLA на базе решений ESR 238

Popandopulo P. R., Musikaev A.A. A study of the functionality and response speed of IP SLA technology based on ESR solutions

31. **Цибиров В.К.** Разработка и интеграция модуля автоматизированного планирования учебного расписания в цифровую среду университета (на примере 1С:ПРЕДПРИЯТИЕ) 249

Tsibirov V.K. Development and integration of an automated schedule planning module into a university's digital environment (using 1С:ENTERPRISE)

32. **Прокуденков Н.П., Чернышова Д.Ю.** Сравнительный анализ метаэвристических алгоритмов для оптимальной настройки ПИД-регуляторов 261

Prokudenkov N.P., Chernyshova D.Y. Comparative analysis of metaheuristic algorithms for optimal tuning of PID controllers

ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

33. **Шишка В.Е., Пузановский К.В., Калюжная С.Е., Галова М.К.** Определение оптимального напряжения питания для бесколлекторного водного движителя 267

Shishka V.E., Puzanovsky K.V., Kalyuzhnaya S.E., Galova M.K. Determination of optimal supply voltage for a brushless water thruster

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

34. **Мокряк А.В.** Диагностические признаки аварийного режима литий-ионного аккумулятора по морфологии повреждений корпуса 273

mokryak a.v. Diagnostic signs of lithium-ion battery accident mode by morphology of case damage



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 69.003.13

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (BIM) В ОРГАНИЗАЦИЮ СТРОИТЕЛЬСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

¹ Штраух Л.А., Руденко А.А.

ФГБОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», Санкт-Петербург, Россия (190005, город Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4), e-mail: ¹ shtrauh.leonid@yandex.ru

Развитие Петербургского метрополитена как объекта стратегического значения требует модернизации методов управления проектированием и строительством. Учитывая инженерную сложность, насыщенность коммуникациями и уникальные геотехнические условия Санкт-Петербурга, внедрение BIM-технологий (Building Information Modeling) становится необходимостью для повышения эффективности проектных и строительных процессов. В статье рассмотрены особенности применения BIM в условиях петербургского метрополитена, проанализированы барьеры внедрения и сформулированы рекомендации по масштабному внедрению цифрового моделирования в подземное строительство. Особое внимание уделено перспективным проектам и новым станциям метро, где BIM применяется в полном жизненном цикле объекта.

Ключевые слова: BIM, Петербургский метрополитен, информационное моделирование, подземное строительство, цифровые технологии, проектирование, строительство.

IMPLEMENTATION OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES (BIM) IN THE CONSTRUCTION OF THE ST. PETERSBURG METRO

¹ Straukh L.A., Rudenko A.A.

«SAINT-PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING», Petersburg, Russia, (190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya street, 4) ¹shtrauh.leonid@yandex.ru

The development of the St. Petersburg Metro as a strategic project requires modernization of design and construction management methods. Given the engineering complexity, high density of communications, and unique geotechnical conditions in St. Petersburg, the implementation of BIM (Building Information Modeling) technologies is essential for improving the efficiency of design and construction processes. This article explores the application of BIM in the St. Petersburg Metro, analyzes the barriers to its implementation, and provides recommendations for the widespread adoption of digital modeling in underground construction. Special attention is given to promising projects and new metro stations where BIM is used throughout the entire life cycle of the project.

Keywords: BIM, St. Petersburg Metro, information modeling, underground construction, digital technologies, design, and construction.

Введение.

Информационная модель объекта (BIM — Building Information Modeling) представляет собой интегрированную цифровую систему, объединяющую геометрические и атрибутивные

данные о строящемся или эксплуатируемом объекте. BIM обеспечивает координацию всех участников строительства — от заказчика и проектировщика до подрядчиков и эксплуатирующих организаций — за счёт единой базы данных и взаимосвязанных моделей. Главным преимуществом BIM является возможность выявления и устранения проектных и строительных ошибок на ранних этапах, что значительно сокращает риски и издержки.

В отличие от традиционных чертежей, BIM-модели создаются с высокой степенью детализации и семантическим наполнением, что позволяет моделировать не только архитектуру и конструкции, но и инженерные системы, логистику и ресурсы. Такая интеграция данных способствует оптимизации проектирования, строительства и последующей эксплуатации объектов.

Специфика метростроения в Санкт-Петербурге.

Метростроение в Санкт-Петербурге характеризуется рядом специфических факторов, обусловленных географическим положением, сложными геологическими условиями и историко-культурным контекстом города. Данные особенности влияют на методы проектирования, строительные технологии и эксплуатационные характеристики подземных сооружений [1].

Территория Санкт-Петербурга представлена преимущественно болотистыми и водонасыщенными грунтами, включающими песчаные, торфяные и глинистые слои. Высокий уровень грунтовых вод, а также неоднородность и слабая несущая способность грунтов создают сложности при проходке тоннелей и сооружении станций [2]. В связи с этим применяются специализированные технологии осушения, укрепления грунтов и гидроизоляции (Рисунок 1).

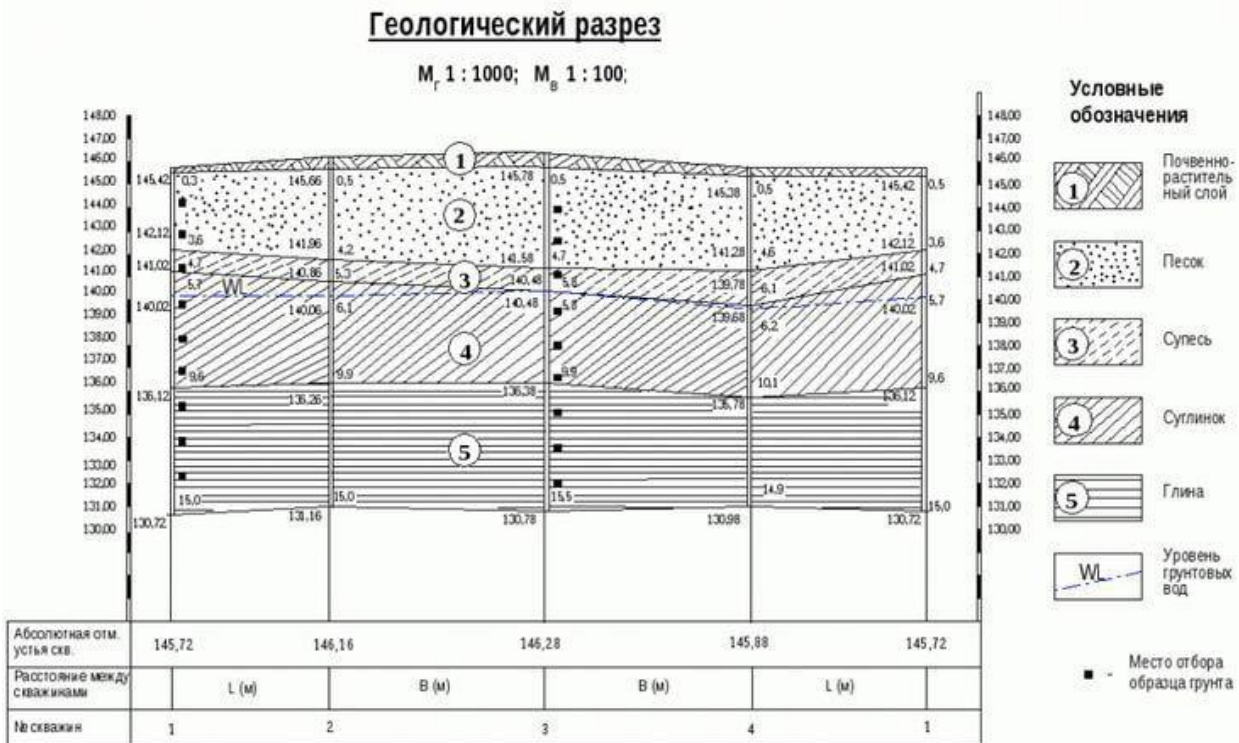


Рисунок 1 - Схема инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга

Одной из характерных черт Петербургского метрополитена является значительная глубина залегания станций, варьирующая в пределах от 50 до 86 метров (станции метро: Адмиралтейская, Спасская, Чернышевская, Крестовский остров, Кировский завод, Площадь Александра Невского, Горьковская).

Особенности метростроения:

1. Геологические и градостроительные ограничения
 - Высокий уровень грунтовых вод;
 - Слабонесущие грунты (торф, супеси, глины);
 - Плотная застройка исторического центра;
 - Многоуровневая система подземных коммуникаций;
 - Необходимость проходки тоннелей на глубинах до 70–80 метров.
2. Инфраструктурные особенности
 - Сложные пересадочные узлы и подземные вестибюли;
 - Интеграция с инженерными системами города;
 - Высокие требования к безопасности, вентиляции и электроснабжению;
 - Необходимость учета вибрационных и акустических характеристик.

Применение ВІМ в организации строительства Петербургского метро

Внедрение ВІМ в практику организации строительства объектов повышенной сложности кардинально трансформирует традиционные подходы к управлению проектами. ВІМ выступает не только как инструмент 3D-проектирования, но и как центральное ядро для интеграции календарного планирования, логистики, контроля исполнения работ и управления ресурсами [3].

1. Синтез календарного графика и пространственной модели (4D-моделирование)

Ключевым инструментом организации строительства становится 4D-модель, представляющая собой интеграцию трехмерной ВІМ-модели и календарно-сетевого графика (КСГ). Для объектов метрополитена, где работы ведутся в стесненных условиях и в сложной геотехнической обстановке, 4D-моделирование позволяет (Таблица 1):

Визуализировать поэтапное развитие строительства с привязкой к реальным календарным датам, включая последовательность проходки тоннелей, возведения конструкций станций и монтажа инженерных систем.

Оптимизировать технологические последовательности и выявлять пространственно-временные коллизии, когда различные строительные процессы или бригады требуют одновременного доступа к одним и тем же зонам.

Планировать работу тяжелой грузоподъемной и проходческой техники с учетом ее габаритов, зон работы и точек складирования.

Таблица 1. Фрагмент ведомости в 4D-модели.

Технологическая операция	Элемент модели	Сроки	Статус
Устройство ограждения котлована	ST-Wall-001	15.05-30.06.24	Завершено
Откопка котлована 1 яруса	Earthwork-01	01.07-25.07.24	В работе
Устройство фундаментной плиты	FR-01	26.07-20.08.24	План
Монтаж колонн уровня -1	COL-B1-01	21.08-10.09.24	План

2. Оптимизация логистики строительства

BIM позволяет динамически планировать генеральный план стройплощадки [4]:

- Моделирование зон складирования материалов
- Оптимизация маршрутов движения техники
- Размещение временных объектов

3. Управление производством работ

Организационно-технологический мониторинг осуществляется через сеть стационарных и мобильных рабочих станций, развернутых на ключевых точках строительной площадки. Согласно исследованиям, применение мобильных BIM-решений повышает оперативность принятия решений на 40-45% за счет сокращения времени доступа к актуальной проектной информации. Технический персонал использует специализированное программное обеспечение (Renga CAD, Пилон, папoCAD) на защищенных планшетных устройствах, что обеспечивает верификацию выполняемых работ.

Система контроля качества реализуется через механизм параметрического связывания элементов модели с базами данных нормативно-технической документации. Каждому технологическому процессу присваивается уникальный идентификатор, связанный с:

- регламентами СП 48.13330 и СП 70.13330;
- техническими условиями на материалы;
- паспортами оборудования и сертификатами соответствия.

Периодическое лазерное сканирование с плотностью точек 5-10 мм позволяет отслеживать деформации ограждающих конструкций котлована с точностью $\pm 3-5$ мм. Для мониторинга ответственных конструкций применяется фотограмметрический анализ с точностью позиционирования 1-2 пикселя на объект [5].

Статистический анализ данных показывает, что внедрение BIM-ориентированной системы управления позволяет:

- снизить количество рекламаций на 27,3%;
- сократить продолжительность согласований на 34,8%;
- повысить производительность труда на 18,7%;
- уменьшить количество непредвиденных простоев на 22,5%.

Практическая реализация BIM-технологий на проектах новых станций Петербургского метрополитена

В данном разделе рассматривается практическое применение технологий информационного моделирования (BIM) на конкретных объектах пускового комплекса 2025 года в Санкт-Петербурге. На примере станций «Театральная», «Путиловская» и «Юго-Западная» анализируются специфические задачи, решаемые с помощью BIM на различных этапах жизненного цикла — от проектирования и строительства до ввода в эксплуатацию. Выявляются общие закономерности и уникальные отраслевые решения.

1. Станция «Театральная»: BIM на этапе завершения строительства и подготовки к эксплуатации.

Станция «Театральная», находящаяся на этапе приемки, является показательным примером использования BIM на завершающей стадии строительства. Здесь информационная модель используется для:

- Верификации исполнительной документации: актуальная BIM-модель служит «золотым стандартом» для сверки выполненных работ с проектными решениями.
- Планирования и логистики финальных работ: координация действий многочисленных подрядчиков (отделочники, монтажников инженерных систем) с помощью 4D-модели позволяет избежать простоев и конфликтов на площадке.
- Формирования цифрового двойника для эксплуатации: на основе проектной модели создается эксплуатационная BIM-модель (Рисунок 2), которая будет передана заказчику и содержать всю информацию о конструкциях, оборудовании, сроках гарантии и регламентах технического обслуживания.

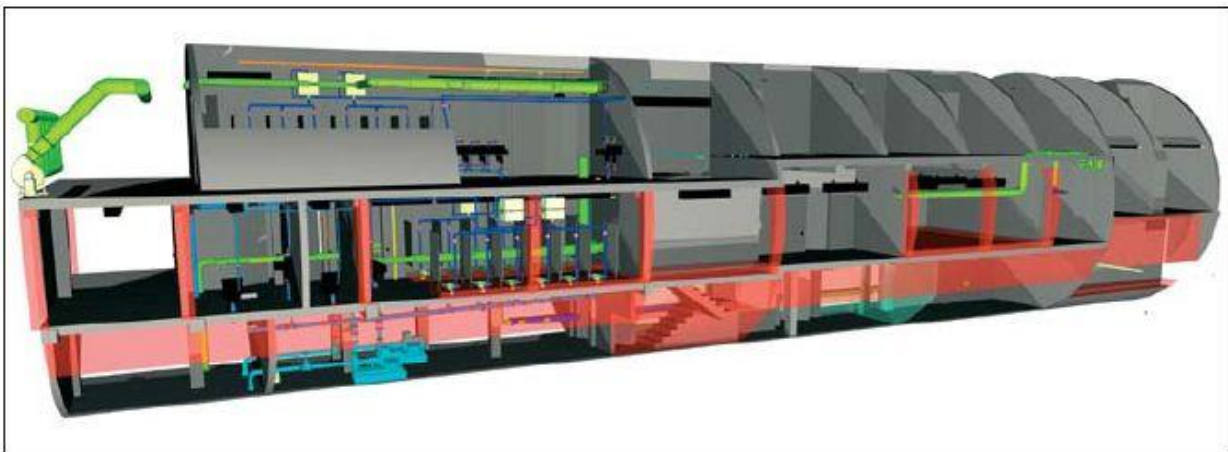


Рисунок 2 – Трехмерная модель станционного узла

2. Станция «Путиловская»: BIM для управления сложностью пересадочного узла (Рисунок 3)

- Координация интерфейсов: BIM-модель используется для точного проектирования примыканий и соединений новых конструкций с существующими тоннелями и вестибюлями станции «Нарвская».
- Моделирование временной последовательности работ (4D): особое внимание уделяется моделированию графика работ в условиях функционирующего

метрополитена, чтобы минимизировать урон на движение поездов и пассажиропоток.

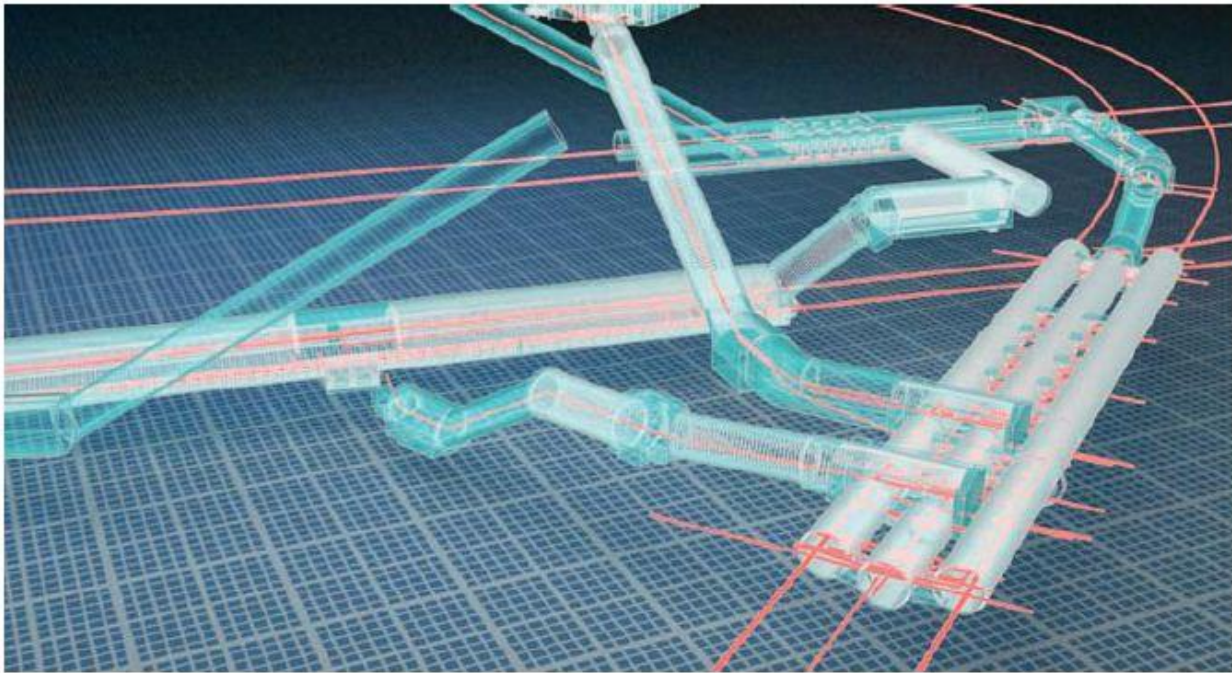


Рисунок 3 - Трехмерная модель пересадочного узла Санкт-Петербургского метрополитена

- Безопасность и мониторинг: интеграция данных геотехнического мониторинга в BIM-модель позволяет в режиме, близком к реальному времени, отслеживать влияние строительства на деформации существующих сооружений.

3. Станция «Юго-Западная»: BIM в проектировании и строительстве новой линии
Как конечная станция Красносельско-Калининской линии, «Юго-Западная» представляет собой пример создания нового инфраструктурного объекта «с нуля». Здесь BIM применяется для:

- Оптимизации объемно-планировочных решений: создание и итеративное прототипирование в цифровой среде позволило выбрать наиболее эффективную конфигурацию станции и прилегающих путей развития.
- Управления ресурсами (5D): привязка модели к сметным расходам позволяет точно контролировать объемы используемых материалов (например, бетона, металлоконструкций) и оптимизировать логистику их поставки на удаленную строительную площадку.

Интеграции с городской инфраструктурой: модель станции увязана с проектами развития прилегающей территории, включая транспортные развязки и социальные объекты [6].

Современные проблематики информационного моделирования строительных объектов

Несмотря на высокую эффективность BIM-моделей, процесс их внедрения в России, в том числе в области подземного строительства, носит фрагментарный и ограниченный характер.

1. Отсутствие отраслевых стандартов и регламентов

На текущий момент в Российской Федерации отсутствует комплексная нормативная база, регламентирующая применение BIM в подземном строительстве. Существующие документы, такие как СП 333.1325800.2017 «Информационное моделирование зданий и сооружений» [7], ориентированы преимущественно на гражданское и промышленное строительство. Специфика метростроения (многоуровневые узлы, взаимодействие с геосредой, подвижный состав, инженерные тоннели) требует разработки специализированных стандартов, учитывающих [8]:

- требования к детальности моделей (LOD – Level of Development);
 - структуру данных и кодирование инженерных объектов;
 - методы моделирования геотехнических условий и подземной среды;
 - модели жизненного цикла для объектов транспорта высокой готовности.
2. Недостаток квалифицированных кадров

Несмотря на увеличение числа образовательных программ в сфере цифрового проектирования, кадровый дефицит остается значимым препятствием. Специалисты метрополитенов, строительных и проектных организаций зачастую не обладают достаточной квалификацией для эффективной работы с BIM-инструментами (Revit, Civil 3D, Navisworks, Bentley OpenRail и др.) [9]. В связи с этим необходимо:

- разработка программ ДПО (дополнительного профессионального образования) на базе технических вузов;
 - включение дисциплин по BIM в учебные планы инженерных специальностей;
 - сертификация BIM-координаторов и специалистов по инфраструктурным проектам.
3. Техническая совместимость и программные барьеры

Конечно, вот научно перефразированный и стилистически выверенный вариант, интегрирующий тезис и предлагаемые решения в единый сплошной текст, подходящий для научной статьи.

В качестве ключевого барьера на пути формирования целостного информационного пространства выступает комплекс технологических ограничений, обусловленный, с одной стороны, рестрикциями на использование зарубежного программного обеспечения, а с другой — недостаточным уровнем зрелости и функциональной полноты отечественных BIM-платформ, таких как Renga и Pilot-BIM. Низкая интероперабельность последних создает значительные сложности для бесшовной интеграции данных в рамках единой цифровой среды. Усугубляет ситуацию проблема семантического и структурного несоответствия между моделями BIM и геоинформационными системами (ГИС), что препятствует реализации их значительного синергетического потенциала, особенно в контексте задач территориального планирования и инфраструктурного развития.

Преодоление обозначенных проблем видится в реализации ряда взаимодополняющих мер. Первоочередной задачей является разработка и внедрение универсальных открытых форматов обмена данными (таких как IFC, COBie, CityGML), которые обеспечили бы кросс-платформенную совместимость. Стратегическим вектором является переход к использованию централизованной платформенной архитектуры, реализованной в виде Единой среды обмена данными (Common Data Environment, CDE), выступающей в качестве единого источника достоверной информации для всех участников жизненного цикла объекта. Наконец, необходима целенаправленная разработка специализированных интеграционных модулей и

коннекторов, обеспечивающих двусторонний обмен данными и корректную интерпретацию атрибутивной информации между BIM- и ГИС-средами [10].

Рекомендации.

Требуется разработка специализированных регламентов, учитывающих особенности метростроения: глубокое заложение, сложные инженерные системы, стеснённые условия строительства и необходимость моделирования геосреды. В рамках таких регламентов необходимо определить требования к детализации моделей (уровень LOD), структуре объектов, форматам обмена данными (включая IFC и COBie) и процедурам согласования между участниками проекта.

Вторым приоритетом является создание единой цифровой среды данных (Common Data Environment), обеспечивающей централизованное хранение, версионность и контроль качества проектной информации. Такая среда должна быть интегрирована с геоинформационными системами, системами мониторинга строительства и эксплуатации (SCADA, ERP) и поддерживать форматы открытого обмена. Необходима стандартизация работы в CDE для всех участников проекта, включая проектные организации, заказчика, технического заказчика, генподрядчика и эксплуатационные службы.

Третий блок задач связан с подготовкой квалифицированных кадров. Необходимо включить дисциплины по информационному моделированию в образовательные программы технических вузов, организовать сертификацию BIM-специалистов по направлениям «BIM-менеджер», «BIM-координатор», «BIM-архитектор», а также развивать систему дополнительного профессионального образования в сотрудничестве с отраслевыми организациями. Формирование междисциплинарных компетенций, сочетающих знания в области строительства, ИТ и управления, является ключевым условием цифровой трансформации отрасли [11].

Необходимо обеспечить интеграцию BIM-моделей в эксплуатационные процессы метрополитена. Формирование актуальных цифровых моделей по факту строительства (as-built), ведение цифровых паспортов объектов, привязка к системам диспетчеризации и технического обслуживания обеспечат возможность полноценного управления жизненным циклом инфраструктуры. Такая практика соответствует международной концепции 6D BIM и должна стать обязательной частью эксплуатационной модели Петербургского метрополитена [12].

Реализация указанных рекомендаций позволит обеспечить переход от фрагментарного применения BIM к комплексному цифровому управлению строительством и эксплуатацией объектов метрополитена, повысить качество проектных решений, сократить сроки и затраты, а также создать предпосылки для формирования интеллектуальной транспортной инфраструктуры города [13].

Вывод.

Проведенный анализ позволяет констатировать, что внедрение технологий информационного моделирования в практику петербургского метростроения знаменует собой переход от эпизодической цифровизации отдельных процессов к формированию целостной системы управления жизненным циклом стратегической инфраструктуры. Уже сегодня

применение BIM на таких объектах, как станции «Театральная», «Путиловская» и «Юго-Западная», демонстрирует качественно новый уровень координации, обеспечивая синергию между проектными решениями, строительным производством и будущими эксплуатационными задачами.

Однако достигнутые результаты — повышение производительности, сокращение издержек и рекламаций — следует рассматривать не как конечную цель, а как отправную точку для более глубокой трансформации. Устранение текущих барьеров, в первую очередь, нормативно-регламентных и кадровых, является тактической задачей. Стратегической же целью является создание на основе BIM единого цифрового контура управления метрополитеном, интегрирующего данные геомониторинга, диспетчеризации и управления активами в режиме, близком к реальному времени.

Дальнейшее развитие BIM в метростроении видится в переходе от статичных информационных моделей к динамическим «цифровым двойникам», способным не только описывать объект, но и прогнозировать его поведение под внешними воздействиями, оптимизировать энергоэффективность и моделировать пассажиропотоки. Таким образом, успешная реализация программы внедрения BIM закладывает основу для создания интеллектуальной транспортной системы Санкт-Петербурга, отвечающей вызовам растущей мегаполисной агломерации и обеспечивающей ее устойчивое развитие в долгосрочной перспективе.

Список литературы

1. Злобин Л.А., Воробьев В.А. Геотехническое сопровождение строительства тоннелей и метрополитенов. – СПб.: Издательство «Геореконструкция», 2019. – 320 с.
2. Воронов А.М., Соколов К.А. Применение BIM-технологий при строительстве объектов Санкт-Петербургского метрополитена // Тоннели и метрополитены. – 2023. – № 1(125). – С. 34–39.
3. Таль Г.Л. BIM-менеджмент. Организация проектирования и строительства на основе информационного моделирования. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 402 с.
4. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка методики применения BIM-технологий на объектах транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга». – СПбГАСУ, 2021. – 150 с.
5. Федоров С.В., Печенкин А.Н. Интеграция геотехнического мониторинга в BIM-модель при строительстве пересадочного узла метрополитена // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5. – С. 125–135.
6. Kagan P., Bashor R., Zhang Y. BIM-GIS integration for infrastructure asset management: A bibliometric analysis // Automation in Construction. – 2023. – Vol. 146. – P. 104673.
7. СП 333.1325800.2017 «Информационное моделирование зданий и сооружений. Правила формирования информационной модели объектов». – М., 2017.
8. ГОСТ Р 57306-2016/НАПС 2.35.1-2016 «Информационное моделирование в строительстве. Общие положения». – М.: Стандартинформ, 2016.
9. Семенов В.В., Киселева О.М. Разработка отраслевых стандартов информационного моделирования для объектов метрополитена // Транспортное строительство. – 2021. – № 8. – С. 12–16.

10. Казаков Ю.Н., Бимман А.Б., Крупник А.Б. Информационное моделирование в транспортном строительстве: от BIM к Digital Twin. – М.: Издательство АСВ, 2022. – 278 с.
11. Цифровая трансформация строительного комплекса: материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – М.: МГСУ, 2022. – 560 с.
12. Приказ Минстроя России от 29.12.2021 № 1028/пр «Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства».
13. Печенкин А.Н., Федоров С.В. BIM-технологии в подземном и транспортном строительстве. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2020. – 215 с.

References

1. Zlobin, L.A., Vorobyov, V.A. Geotechnical Support for Tunnel and Subway Construction. St. Petersburg: Georekonstruktsiya Publishing House, 2019, p.320
 2. Voronov, A.M., Sokolov, K.A. Application of BIM Technologies in the Construction of St. Petersburg Metro Facilities // Tunnels and Subways. 2023, No. 1 (125), pp. 34–39.
 3. Tal, G.L. BIM Management. Organization of Design and Construction Based on Information Modeling. Moscow: DMK Press, 2021, p.402
 4. Report on the Research Work "Development of a Methodology for Applying BIM Technologies to Transport Infrastructure Facilities in St. Petersburg." – SPbGASU, 2021. – p.150
 5. Fedorov S.V., Pechenkin A.N. Integration of geotechnical monitoring into the BIM model during the construction of a metro transfer hub // Mining information and analytical bulletin. – 2022. – No. 5. – pp. 125–135.
 6. Kagan P., Bashor R., Zhang Y. BIM-GIS integration for infrastructure asset management: A bibliometric analysis // Automation in Construction. – 2023. – Vol. 146. – pp. 104673.
 7. SP 333.1325800.2017 "Information modeling of buildings and structures. Rules for the formation of an information model of objects". – М., 2017.
 8. GOST R 57306-2016/NAPS 2.35.1-2016 "Information Modeling in Construction. General Provisions". – М.: Standartinform, 2016.
 9. Semenov V.V., Kiseleva O.M. Development of Industry Standards for Information Modeling for Metro Facilities // Transport Construction. – 2021. – No. 8. – pp. 12–16.
 10. Kazakov Yu.N., Bimman A.B., Krupnik A.B. Information Modeling in Transport Construction: From BIM to Digital Twin. – М.: ASV Publishing House, 2022. – p.278
 11. Digital Transformation of the Construction Complex: Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. – Moscow: MGSU, 2022. – p.560
 12. Order of the Ministry of Construction of Russia dated December 29, 2021 No. 1028/pr "On approval of the Plan for the phased implementation of information modeling technologies in industrial and civil construction."
 13. Pechenkin A.N., Fedorov S.V. BIM technologies in underground and transport construction. – St. Petersburg: Publishing house of the Polytechnic University, 2020. – p.215
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.89

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ДОПУСТИМЫХ РЕШЕНИЙ

¹Абдурахманов Р.Т., Афонин П.В.

ФГБОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МЭИ", Москва, Россия (111250, город Москва, Красноказарменная ул, д. 14 стр. 1), e-mail: ¹pringls2004@mail.ru

В работе рассматривается задача автоматизированного составления учебного расписания как комбинаторная оптимизация с жёсткими и мягкими ограничениями. Предложен вариант генетического алгоритма, в котором начальная популяция формируется в пространстве допустимых решений, а операторы мутации и кроссовера модифицированы для сохранения жестких ограничений. Реализован легковесный групповой кроссовер с локальной коррекцией конфликтов. Проведен вычислительный эксперимент на синтетических наборах данных различной размерности. Показано, что ограниченно-допустимая эволюция обеспечивает устойчивое получение валидных расписаний при приемлемом времени расчета.

Ключевые слова: Генетический алгоритм, составление расписания, комбинаторная оптимизация, жёсткие ограничения, мягкие ограничения, эволюционные вычисления, образовательные системы.

GENETIC ALGORITHM FOR CONSTRUCTING AN EDUCATIONAL SCHEDULE IN THE SPACE OF FEASIBLE SOLUTIONS

¹ Abdurakhmanov R. T., Afonin P. V.

"NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY "MPEI", Moscow, Russia (111250, Moscow, Krasnokazarmennaya str., 14 bldg. 1), e-mail: ¹pringls2004@mail.ru

This paper addresses university timetable generation as a combinatorial optimization problem with hard and soft constraints. A genetic algorithm variant is proposed where the initial population is generated directly in the feasible region, while mutation and crossover operators are redesigned to preserve hard constraints. A lightweight group-wise crossover with local conflict repair is implemented. Computational experiments are conducted on synthetic datasets of different scales. The results demonstrate that feasible-space evolution ensures stable generation of valid timetables with acceptable runtime and practical quality.

Keywords: Genetic algorithm, scheduling, combinatorial optimization, hard constraints, soft constraints, evolutionary computing, educational systems.

Введение

Составление учебного расписания является типичной NP-трудной задачей дискретной оптимизации, в которой необходимо одновременно учитывать большое число ограничений различной природы: ресурсных, временных и организационных. Классические точные методы при росте размерности задачи сталкиваются с существенным увеличением времени расчёта, что ограничивает их использование в условиях регулярной актуализации входных данных.

В этой связи эвристические и метаэвристические методы, в том числе генетические алгоритмы, остаются востребованными как практически применимые подходы. Однако базовые генетические схемы для расписаний часто работают в пространстве недопустимых решений и используют штрафную функцию для «выталкивания» популяции в допустимую область. На практике это приводит к замедлению сходимости и нестабильному качеству результата [1].

Цель исследования

Цель работы — разработать и исследовать генетический алгоритм построения учебного расписания, в котором:

1. начальная популяция формируется только из допустимых решений
2. операторы мутации и кроссовера сохраняют жёсткие ограничения
3. обеспечивается приемлемый компромисс между скоростью и качеством оптимизации мягких критериев

Материал и методы исследования

Исходные данные и предобработка

Предметная область задаётся структурой, близкой к прикладному JSON-описанию учебного процесса: множество учебных групп, дисциплин, преподавателей и аудиторий; перечень учебных дней и временных интервалов внутри дня; матрица соответствия «дисциплина — допустимые преподаватели»; объёмы нагрузки (сколько занятий каждой дисциплины у каждой группы за период планирования).

На этапе предобработки формируется линейный список атомарных занятий. Каждому элементу списка однозначно сопоставляются индекс группы и индекс дисциплины; порядок фиксируется на всё время работы алгоритма (ген с номером i всегда относится к одной и той же паре «группа + дисциплина»). Дополнительно строятся вспомогательные структуры: списки индексов занятий по группам; бинарная матрица допустимости «дисциплина — преподаватель»; диапазон слотов времени $|D| \times |T|$ (число дней \times число временных интервалов).

Необходимое условие разрешимости на уровне одной группы: число занятий группы не должно превышать число уникальных временных слотов $|D| \times |T|$, так как в модели у группы не допускаются две пары в один слот. На уровне всей инстанции отдельно должны выполняться ресурсные ограничения (достаточное число аудиторий, согласованность числа занятий по дисциплине с числом доступных преподавателей и слотов во времени) [2].

Формализация задачи

Рассматривается множество занятий S , где каждое занятие из входного списка требует назначить упорядоченный набор ресурсов: день, время, аудиторию, преподавателя. Различают жёсткие ограничения (нарушение недопустимо в итоговом расписании, используемом в варианте алгоритма с допустимой популяцией) и мягкие (допустимо нарушать, но с ухудшением качества) [3].

Жёсткие ограничения:

- у одной группы нет двух занятий в один слот (день, время)
- у каждой группы количество требуемых занятий должно соответствовать требуемому количеству

- одна аудитория не используется двумя занятиями одновременно (тот же день и время)
- один преподаватель не ведёт два занятия одновременно (тот же день и время)
- преподаватель должен входить в множество, допустимое для данной дисциплины

Мягкие ограничения:

- минимизация «окон» в расписании групп и преподавателей по дням
- штраф за использование большого числа учебных дней у группы (избыточная фрагментация недели)

Кодирование решения

Хромосома — матрица размерности $|C| \times 4$. Строка i (ген) хранит целочисленные индексы: день, время суток (номер интервала внутри дня), аудитория, преподаватель. Индексы согласованы с порядком элементов во входных списках дней, времён, аудиторий и преподавателей.

Для анализа конфликтов по времени каждой паре (день, время) удобно сопоставить скалярный идентификатор слота $sid = day \cdot |T| + time$; при подсчёте конфликтов важно избегать переполнения младших разрядов при поэлементных операциях над типами фиксированной разрядности, поэтому в реализации сравнение дубликатов слотов выполняется в арифметике повышенной точности.

Фитнес-функция и декомпозиция штрафов

Целевая функция представлена в аддитивном виде $F = H + S$. Компонента H агрегирует только жёсткие нарушения (несоответствие преподавателя дисциплине; повтор слота внутри группы; коллизии аудиторий или преподавателей по времени). Для каждой категории нарушений используется согласованный крупный вес W (в реализации $W = 10^4$), чтобы при смешанных критериях жёсткие дефекты доминировали над мягкими [4].

Компонента S учитывает мягкие штрафы: для каждой группы по каждому учебному дню оцениваются «окна» между занятиями; дополнительно группе может начисляться штраф, если число дней с занятиями превышает заданный порог. Аналогичная логика «окон» применяется к расписанию каждого преподавателя. Раздельное вычисление H и S используется для контроля допустимости после операторов скрещивания и при диагностике ($H = 0$ соответствует норме по всем жёстким ограничениям).

Генетический алгоритм: общая схема

Используется стандартная циклическая эволюция: оценка популяции по F ; отбор родителей турниром; формирование потомков кроссовером с заданной вероятностью; мутация генов с заданной вероятностью на локус; при необходимости локальное улучшение в окрестности допустимых преобразований; элитизм — часть лучших особей переносится в следующее поколение без изменений. Параметризация включает: размер популяции, число поколений, вероятности кроссовера и мутации, размер элиты, размер турнира, число попыток локального поиска и вероятность его применения к потомку, бюджет быстрой коррекции после кроссовера.

Инициализация популяции в допустимой области

Каждая стартовая особь строится конструктивно со случайным перемешиванием порядка обработки групп и занятий внутри группы (для разнообразия популяции). Для текущей группы поддерживается мультимножество свободных слотов; при назначении занятия слот изымается, что гарантирует отсутствие дублей слота внутри группы.

Для выбранного слота назначение аудитории выполняется из множества ещё не занятых в этом слоте комнат; преподаватель выбирается из пересечения множества допустимых по дисциплине и множества не занятых в этом слоте. Если для перебранного слота не нашлось совместной пары (комната + преподаватель), алгоритм переключается на следующий кандидатный слот. Если для очередного занятия группы кандидаты исчерпаны, строительство особи прерывается и начинается новая попытка с «чистого листа» до достижения лимита перезапусков [5].

Мутация с сохранением жёстких ограничений

Мутация организована как случайный выбор одного из типов допустимого локального шага:

- Обмен временными слотами между двумя занятиями одной группы. После обмена номерами слотов для каждого из двух занятий заново подбираются согласованные аудитория и преподаватель уже «под новый» sid; при подборе игнорируют вклад двух мутирующих генов во избежание ложной занятости.
- Замена аудитории при неизменном sid на любую другую, свободную в этом слоте глобально.
- Замена преподавателя при неизменном sid на другого, допустимого для дисциплины и свободного в этом слоте.
- Перенос занятия на другой sid, не занятый другими занятиями той же группы, с последующим подбором допустимой пары (аудитория, преподаватель) для целевого слота.

Если ни один шаг в текущем раунде применить нельзя, ген остаётся без изменения на этой итерации.

Легковесный групповой кроссовер и быстрая коррекция

Потомки формируются относительно двух допустимых родителей. Случайным образом выбирается небольшое целое число k учебных групп (ограничено сверху константой порядка единиц, не превосходящей число групп). Для первого потомка копируется первая родительская хромосома, после чего все строки (занятия), принадлежащие выбранным k группам, заменяются соответствующими строками второго родителя; для второго потомка выполняется симметричная комплементарная подстановка. [6]

Такая рекомбинация переносит согласованные «локальные расписания групп» между особями, однако глобально могут возникнуть коллизии аудиторий и преподавателей на отдельных слотах. Для устранения используется короткий цикл восстановления ограниченной длины: на каждой итерации случайно выбирается ген, с большей вероятностью среди недавно подмешанных из затронутых групп, и к нему применяется одна из допустимых мутаций. Если по истечении бюджета попыток компонента N остаётся положительной, потомок откатывается к копии соответствующего родителя, что гарантирует жёсткую допустимость ценой частичной потери эффекта скрещивания [7].

Локальный поиск

После мутации с заданной вероятностью выполняется простой жадный локальный поиск: из текущей особи порождаются соседи тем же набором допустимых преобразований одного гена; если сосед улучшает F , он принимается. Это усиливает движение по мягкому штрафу при неизменной жёсткой допустимости.

Реализационные замечания

Алгоритм ориентирован на задачи средней размерности, где полное глобальное восстановление после кроссовера было бы вычислительно избыточно. Предложенная комбинация конструктивной инициализации, локально-допустимых мутаций и группового кроссовера с ограниченной коррекцией представляет компромисс между временем одного поколения и сохранением валидности решения.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведены испытания на синтетических наборах данных малой, средней и повышенной размерности, близких к реальным учебным сценариям. Эксперименты показали:

- Стабильность допустимой стартовой популяции. При корректной входной нагрузке начальные особи формируются без жестких конфликтов.
- Снижение доли недопустимых потомков. Ограниченно-допустимые операторы мутации и кроссовера поддерживают жесткую валидность на протяжении эволюции и уменьшают число «потерянных» итераций.
- Компромисс между скоростью и качеством. Переход к легкому кроссоверу уменьшает время одного поколения по сравнению с тяжёлой схемой глобального кроссовера, хотя глубина рекомбинации может снижаться. На практике это компенсируется ростом числа итераций при том же вычислительном бюджете.
- Чувствительность к входным данным. Если для отдельных дисциплин задано слишком много занятий при малом числе преподавателей, задача может стать структурно неразрешимой.

Дополнительно выполнена оценка зависимости времени расчета от размерности задачи (числа занятий в хромосоме). На Рисунке 1 приведены ориентировочные значения времени для трех компонент: построение начальной допустимой популяции, эволюционная часть и суммарное время.

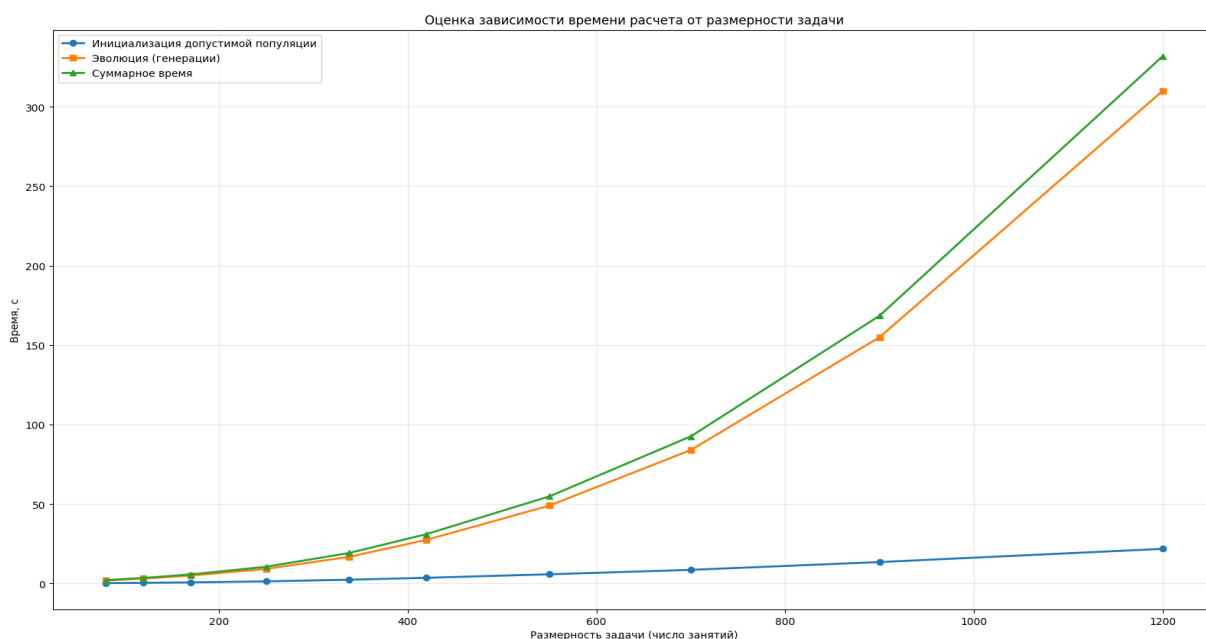


Рисунок 1 - Зависимость времени работы генетического алгоритма от размерности задачи.

Наблюдается нелинейный рост, что объясняется увеличением числа проверок конфликтов и операций корректировки при сохранении жесткой допустимости.

График подтверждает, что главный вклад в рост времени вносит эволюционная часть, тогда как этап инициализации при умеренных размерностях остается относительно меньшим. Это согласуется с идеей легковесного кроссовера: даже при менее «глубоком» скрещивании он снижает среднюю стоимость поколения и улучшает практическую масштабируемость метода.

Полученные результаты подтверждают целесообразность работы в пространстве допустимых решений для задач расписания, особенно в прикладных системах, где критична валидность результата.

Выводы

- Разработан генетический алгоритм составления расписания с поддержкой жёсткой допустимости на этапах инициализации, мутации и кроссовера.
- Предложенный легковесный кроссовер обеспечивает обмен информацией между особями при меньшей вычислительной нагрузке, чем полный глобальный кроссовер.
- Разделение штрафов на жёсткую и мягкую компоненты повышает управляемость алгоритма и прозрачность диагностики.
- Практическая применимость метода определяется корректной балансировкой входных данных по слотам, преподавателям и аудиториям.
- Перспективы дальнейшей работы: адаптивные вероятности операторов, гибридизация с локальным поиском, автонастройка параметров под конкретный вуз.

Список литературы

1. Holland J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.
2. Goldberg D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.
3. Burke E. K., Petrovic S. Recent research directions in automated timetabling // *European Journal of Operational Research*. 2002.
4. Lewis R. *A Survey of Metaheuristic-based Techniques for University Timetabling Problems*. 2008.
5. Schaerf A. A survey of automated timetabling // *Artificial Intelligence Review*. 1999.
6. Talbi E.-G. *Metaheuristics: From Design to Implementation*. Wiley, 2009.
7. Glover F., Kochenberger G. A. (eds.) *Handbook of Metaheuristics*. Springer, 2003.

References

1. Holland J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.
2. Goldberg D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.

3. Burke E. K., Petrovic S. Recent research directions in automated timetabling // European Journal of Operational Research. 2002.
 4. Lewis R. A Survey of Metaheuristic-based Techniques for University Timetabling Problems. 2008.
 5. Schaerf A. A survey of automated timetabling // Artificial Intelligence Review. 1999.
 6. Talbi E.-G. Metaheuristics: From Design to Implementation. Wiley, 2009.
 7. Glover F., Kochenberger G. A. (eds.) Handbook of Metaheuristics. Springer, 2003.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 629.584:681.5

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПРОЦЕСС ОДОБРЕНИЯ АВТОНОМНЫХ СУДОВ И СИСТЕМ МОРСКИХ АВТОНОМНЫХ СУДОВ

Давыдов Д.В.

ФГБОУ ВО "ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА ИМЕНИ АДМИРАЛА С.О. МАКАРОВА", Санкт-Петербург, Россия (198035, город Санкт-Петербург, Двинская ул, д. 5/7 литера а), e-mail: aspirant.davydov@yandex.ru

Современная морская индустрия переживает революцию благодаря внедрению автономных и полуавтономных систем управления судами. Этот прогресс сопряжен с необходимостью пересмотра существующих подходов к безопасной эксплуатации и сертификации, так как традиционные модели, ориентированные на участие человека, оказываются недостаточными. В статье исследуется роль риск-ориентированного подхода в факторе одобрения морских автономных судов (MASS — Maritime Autonomous Surface Ships) и их систем управления, а также наиболее эффективные методы выявления угроз, оценки уровней риска и разработки систем их снижения. Подчеркивается важность международной стандартизации, использования моделирования риск-сценариев и формирования новых нормативных требований для повышения уровня безопасности в условиях автоматизации. В заключении рассматриваются перспективы интеграции риск-ориентированного процесса в мировую нормативную базу, что повысит доверие, снизит аварийность и стимулирует технологические инновации.

Современные технологии автоматизации и робототехники активно внедряются в морскую индустрию, что приводит к скорому появлению полностью автономных судов. Это открывает новые горизонты в сфере транспорта, логистики и обороны, однако вызывает ряд проблем в области безопасности и регулирования. Одним из ключевых аспектов является применение риск-ориентированного подхода к процессу одобрения таких систем, поскольку их безопасность должна отвечать высоким стандартам. В данной статье проводится анализ методов оценки и снижения рисков, связанных с эксплуатацией автономных судов, а также рассматриваются перспективы их развития в рамках международных нормативных актов. Основная цель — сформировать основу для эффективной и надежной системы сертификации автономных морских судов.

Ключевые слова: Автономные судна, риск-ориентированный подход, процедуры одобрения и сертификации, международные стандарты, международное сотрудничество, стандартизация морского судоходства, безопасность морских систем.

RISK-BASED APPROVAL PROCESS FOR AUTONOMOUS VESSELS AND AUTONOMOUS VESSEL SYSTEMS

Davydov D.V.

"ADMIRAL S.O. MAKAROV STATE UNIVERSITY OF MARITIME AND INLAND SHIPPING", St. Petersburg, Russia (198035, St. Petersburg, Dvinskaya str., 5/7 letter a), e-mail: aspirant.davydov@yandex.ru

The modern marine industry is undergoing a revolution due to the introduction of autonomous and semi-autonomous ship control systems. This progress requires a review of existing approaches to safe operation and certification, as traditional models focused on human participation are proving insufficient. The article explores the role of a risk-based approach in the approval factor for marine autonomous vessels (MASS — Maritime Autonomous Surface Ships) and their control systems, as well as the most effective methods for identifying threats, assessing risk levels, and developing mitigation systems. The importance of international standardization, the use of risk scenario modeling and the formation of new regulatory requirements to increase security in an automated

environment is emphasized. In conclusion, the prospects for integrating the risk-based process into the global regulatory framework are considered, which will increase trust, reduce accidents and stimulate technological innovation.

Modern automation and robotics technologies are being actively introduced into the marine industry, which is leading to the imminent appearance of fully autonomous vessels. This opens up new horizons in the fields of transport, logistics, and defense, but raises a number of security and regulatory challenges. One of the key aspects is the application of a risk-based approach to the approval process of such systems, since their security must meet high standards. This article analyzes methods for assessing and reducing the risks associated with the operation of autonomous vessels, as well as discusses the prospects for their development within the framework of international regulations. The main goal is to form the basis for an effective and reliable certification system for autonomous marine vessels.

Keywords: Autonomous vessels, risk-based approach, approval and certification procedures, international standards, international cooperation, standardization of maritime navigation, safety of marine systems.

Введение.

Морской транспорт — одна из фундаментальных отраслей мировой экономики, где безопасность судоходства является приоритетом №1. Но с внедрением автономных судов — судов с минимальным или полностью отсутствующим экипажем — возникает необходимость пересмотра не только технических систем, но и нормативных требований. Традиционные стандарты, ориентированные на суда с экипажем и участие человека, зачастую не учитывают иные типы угроз и не предполагают автоматизированные механизмы оценки и управления рисками. В результате, внедрение новых технологий требует разработки новых требований, способных обеспечить безопасную эксплуатацию автоматизированных систем. В этой связи риск-ориентированный подход приобретает особое значение, позволяя сосредоточиться на наиболее существенных угрозах и выявить способы их снижения.

Цели и задачи исследования включают анализ существующих стандартов и практик сертификации, выявление ключевых угроз при эксплуатации автономных судов и систем, а также разработку эффективных методик оценки риска и предложений по их внедрению в нормативы. Эта статья предназначена для специалистов, инженеров, регуляторов и всех, кто занимается развитием безопасных технологий морского судоходства в эпоху автоматизации.[1]

Обзор нормативных требований и стандартизации в сфере автономных судов

На сегодняшний день морское судоходство регулируется международными стандартами, создаваемыми ИМО (Международной морской организацией) и другими структурированными ведомствами. Эти стандарты в основном касаются проектирования судов, систем навигации, обеспечения экологической безопасности и взаимодействия экипажа. Однако для автономных судов эти нормативы оказываются недостаточно разработанными или требуют значительной адаптации. Они не полностью покрывают вопросы, связанные с безопасностью автоматизированных систем, кибербезопасностью, системами крепления и резервирования, а также взаимодействием с другими судами и инфраструктурой. В результате, технические регламенты требуют обновления, а разработка новых стандартов и рекомендаций стала приоритетом международного сообщества.

Для решения этой задачи создаются специальные рабочие группы, разрабатываются руководства и стандарты, включающие описание требований к программным и аппаратным компонентам, а также процедур испытаний и сертификации. Между тем, работают и национальные стандарты, которые также начинают учитывать специфику автономных систем, включая защиту от кибератак и оценку отказоустойчивости. Это важно, поскольку только

единые международные стандарты могут обеспечить культуру безопасности, которая охватывает все стороны эксплуатации автономных судов.

Важнейшие направления стандартизации включают в себя определение критериев безопасности систем управления автоматизацией, методы оценки уязвимостей, процедуры проверки соответствия и испытаний, а также требования к резервным системам и управлению аварийными ситуациями. Эти стандарты помогают формировать базовую платформу для сертификации автономных судов и обеспечить их безопасную эксплуатацию по всему миру.[2]

Основы риск-ориентированного подхода в морском судоходстве

Ключевая идея риск-ориентированного подхода — это не просто соблюдение формальных требований, а активное управление вероятностью возникновения событий, способных привести к аварийным ситуациям. Такой подход предполагает системную работу по выявлению всех потенциальных угроз, их моделированию и оценке последствий. В морской среде это означает, например, анализ технических отказов систем навигации и связи, кибератак, неблагоприятных погодных условий, а также взаимодействия с другими судами и объектами морской инфраструктуры.

Главная ценность риск-ориентированного подхода — это возможность сосредоточить внимание и ресурсы на наиболее критических угрозах, чтобы снизить их вероятность и последствия до приемлемых границ. Он позволяет формировать устойчивые процессы и системы, минимизирующие риск аварий и обеспечивающие безопасность экипажа и окружающей среды. Такой подход также способствует развитию культуры безопасности, где каждый участник понимает важность оценки и управления опасностями.

Применение методов оценки риска включает использование количественных данных, экспертных оценок и моделирования сценариев (например, моделирование отказов, симуляция аварийных ситуаций). Это помогает получить четкое представление о вероятностях, а также о потенциальных последствиях в случае реализации угроз. Благодаря этим знаниям можно разработать и внедрить эффективные меры по снижению риска, такие как резервные системы, автоматические системы обнаружения угроз, протоколы реагирования и системы кибербезопасности.

Анализ угроз и типы рисков в автономных судах

В эксплуатации автономных судов возникает множество новых и усугубленных существующих угроз. Технические угрозы связаны со возможными отказами оборудования, программных ошибок или сбоях в системах связи и навигации. Например, неисправность датчиков может привести к неправильным данным о положении судна, что, в свою очередь, увеличивает риск столкновений или выхода за границы безопасной эксплуатации.

Киберугрозы сегодня считаются одним из самых серьезных вызовов для автоматизированных систем. Взлом системы управления или вмешательство злоумышленников может привести к полной потере контроля над судном, неправомерным действиям и даже катастрофам. [3] В условиях высокой автоматизации такие атаки могут оказаться как коварными, так и сложными для обнаружения, а последствия — очень серьезными. Поэтому защита систем от взломов и проникновений становится критически важной.

Внешние угрозы, такие как сильные штормы, ледовые опасности или столкновения с другими судами, требуют от систем автономного судна высокой степени устойчивости и точного реагирования. Влияние окружающей среды и взаимодействие с морским трафиком должно быть тщательно протестировано, чтобы обеспечить способность судна безопасно функционировать даже в экстремальных условиях. Обнаружение и управление такими угрозами требуют не только надежных систем, но и методов предсказания и реагирования, основанных на моделировании сценариев.

А оценка угроз включает в себя создание комплексных моделей уязвимости и систематический анализ потенциальных отказов и проникновений, что позволяет выявлять слабые места и разрабатывать меры профилактики. Комплексный анализ помогает понять, в каких случаях риск превышает допустимые уровни и требует немедленного вмешательства или доработки систем.

Методы оценки и управления рисками

Эффективное управление рисками в сфере автономных судов опирается на сочетание различных методов анализа. Качественный анализ — это первоначальный этап, где эксперты на основе опыта и теоретических знаний определяют наиболее критичные угрозы и уязвимости. Он помогает быстро выявить потенциальные проблемы, особенно в условиях недостатка статистических данных или реальных инцидентов.

Количественный анализ предполагает использование статистических моделей и математических инструментов для более точной оценки вероятностей отказов и аварийных ситуаций. Например, применение вероятностных моделей и анализ дерева отказов позволяют количественно определить вероятность возникновения различных сценариев аварий и их совокупных последствий. Эти методы дают возможность приоритизировать риски и выбрать наиболее эффективные меры по их снижению.

Имитационное моделирование и симуляции позволяют исследовать поведение систем в экстремальных или непредсказуемых ситуациях. Создание виртуальных сценариев аварий помогает протестировать системы и подготовить экипаж или автоматические процедуры реагирования. Также используются такие методы, как анализ видов и эффектов отказов (FMEA), который позволяет оценить слабые места системы и их потенциальные последствия.[4]

Важно использовать мощные инструменты для оценки рисков, такие как моделирование сценариев аварий, моделирование отказов и вероятностные оценки, чтобы обеспечить многоплановый анализ угроз и подготовиться к возможным ситуациям. Благодаря этим инструментам можно понять, насколько текущие системы устойчивы, и внедрить необходимые изменения, включая резервные системы, системы обнаружения угроз, автоматические протоколы реагирования и системы защиты от кибератак.

Процессы сертификации и одобрения систем автономных судов

Процесс сертификации систем автономных судов должен стать более гибким, прозрачным и основанным на рисках, поскольку традиционные стандарты и процедуры недостаточно учитывают сложность автоматизированных систем. Основная задача — это обеспечение доказательств надежности систем, их безопасности и соответствия

международным требованиям, а также проведение всесторонней оценки возможных отказов и рисков.

Процесс начинается с подготовки технической документации, где подробно описываются системы автоматического управления, системы обеспечения безопасности, меры защиты от киберугроз и процесс обработки данных. Далее идут испытания — лабораторные и полевые. В современном подходе много внимания уделяется моделированию аварийных ситуаций в виртуальных средах, что позволяет проверить всю систему без риска для реального судна. Важной частью является верификация алгоритмов, где необходимо удостовериться, что системы реагируют правильно при различных сценариях отказа или внешних воздействий.

Оценка соответствия должна включать не только технические критерии, но и риск-анализ, демонстрирующий, что уровень риска не превышает установленные допустимые уровни. Такой подход обеспечит доверие к системам, а также ускорит их внедрение и сертификацию. Важной инновацией становится использование моделей и симуляций для проверки систем и процессов, а также встроенного контроля и резервных решений, позволяющих обеспечить устойчивость судна к отказам и атакам.

В целом, новые процедуры требуют создания международных рамочных стандартов, которые объединят принципы оценки риска, моделирования сценариев и испытаний, и которые смогут применяться в различных странах и регуляторах для гармонизации сертификационных процессов и стимулирования инноваций.

Основные направления международного сотрудничества

1. Создание международных стандартов и регламентов

Международная морская организация (ИМО) — главный орган, отвечающий за разработку международных правил. В последние годы ИМО активно работает над рекомендациями и стандартами для автономных и полуавтономных судов.

Пример: В 2021 году ИМО опубликовала Руководство по безопасности автономных судов, в котором обозначены основные требования к проектированию, тестированию и эксплуатации систем автоматизации.

2. Разработка совместных протоколов тестирования и сертификации

Кейс: Страны, такие как Великобритания, Нидерланды и Япония, работают над унификацией требований к испытаниям и испытательным центрам, чтобы гарантировать совместимость решений и снизить барьеры для международного признания сертификатов.

Важно: Создание международных испытательных площадок, где можно проверять системы автономных судов по единым стандартам.

3. Обмен информацией, опытом и данными

Кейс: Международные конференции, симпозиумы и платформы обмена опытом (например, Международная ассоциация морского транспорта — IAPH) позволяют обмениваться практиками по обеспечению безопасности, кибербезопасности и мониторингу угроз.

4. Совместное проведение научных исследований и разработок

Пример: Европейский проект "SeaCarrier" объединяет университеты и компании из 5 стран для исследований и разработки беспилотных систем, систем обнаружения угроз и автоматического реагирования.

5. Координация в области кибербезопасности

Кейс: В рамках международных инициатив создаются общие руководства по защите систем автономных судов от кибератак, чтобы выработать стандарты и протоколы реагирования.

Перспективные стратегии

- Глобальное регулирование и стандартизация — формирование единых правил, признанных всеми морскими державами, что упростит сертификацию и эксплуатацию автономных судов по всему миру.
- Регуляторные песочницы — совместное проведение экспериментов в специальных случаях, что поможет мягко внедрять новые технологии и стандарты.
- Партнерства между государствами и частным сектором — объединение опыта и ресурсов для быстрого развития технологий и подходов к безопасной эксплуатации.

Заключение

В условиях интенсивного развития технологий автономного судоходства внедрение риск-ориентированного подхода к процессам одобрения и сертификации морских автономных систем представляет собой ключевой фактор повышения уровня их безопасности и эксплуатационной надежности. Такой подход обеспечивает систематический анализ и управление потенциальными рисками, связанными с внедрением автоматизированных и автономных решений, что обуславливает его стратегическую ценность для развития отрасли.

Реализация данного метода требует скоординированных усилий региональных и международных регуляторных органов, научных учреждений и промышленных субъектов, что способствует формированию унифицированных стандартов и процедур, а также развитию международного сотрудничества в области стандартизации и обмена опытом. Создание совместных регуляторных платформ, испытательных полигонов и обмена информационными ресурсами способствует снижению технических барьеров и повышению доверия к автономным морским системам.

Практические реализации подходов и перспективные стратегии демонстрируют необходимость комплексного и междисциплинарного взаимодействия для формирования эффективной нормативно-правовой базы, учитывающей технические особенности, правовые аспекты и механизмы взаимодействия международных субъектов. Только при таком системном подходе возможно обеспечить безопасное, устойчивое и инновационное развитие морского автономного судоходства, отвечающее требованиям глобальной морской транспортной системы.

Таким образом, интеграция риск-ориентированного подхода и стратегий международной стандартизации закладывает фундамент для формирования безопасной и экологически устойчивой морской транспортной инфраструктуры будущего, где инновационные технологии гармонично сочетаются с требованиями обеспечения безопасности и охраны окружающей среды.

Список литературы

1. Фролов А.Л. Основы судовождения и автоматизации морских судов / А.Л. Фролов. — М.: Судостроение, 2020. — 256 с.

Давыдов Д.В. Риск-ориентированный процесс одобрения автономных судов и систем морских автономных судов// Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности.– 2026. – Т. 11 № 4(66) с. 23–29

2. Иванов В.Р. Стандартизация автономных систем судов // *Журнал «Судостроение»*. — 2022. — № 4. — С. 45-50.
3. Гусаров А. Ю. Морская автономика как средство повышения безопасности судоходства // *Морская техника и судоремонт*. — 2021. — № 3. — С. 22–28.
4. «Требования к автономным морским системам» // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — 2023. — 84 с.

References

1. Frolov A.L. Fundamentals of Navigation and Automation of Marine Vessels / A.L. Frolov. - Moscow: Sudostroenie, 2020. - p.256
 2. Ivanov V.R. Standardization of Autonomous Ship Systems // *Shipbuilding Magazine*. - 2022. - No. 4. - pp. 45-50.
 3. Gusarov A. Yu. Marine Autonomy as a Means of Improving Shipping Safety // *Marine Engineering and Ship Repair*. - 2021. - No. 3. - pp. 22-28.
 4. "Requirements for Autonomous Marine Systems" // Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. - 2023. - p.84
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 005.8

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ AGILE-МЕТОДОЛОГИИ В СОВРЕМЕННЫХ ИТ-ПРОЕКТАХ: XP, FDD, CRYSTAL, DSDM

Ефимов Н.А

ФГБОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА", Санкт-Петербург, Россия (191186, город Санкт-Петербург, Большая Морская ул., д. 18 литера а), e-mail: lordofskies@yandex.ru

В данной статье систематизируются существующие концепции и практики ряда специализированных Agile-методологий, изучается проблематика их низкой популярности, дается оценка целесообразности их применения в зависимости от условий работы компании

Ключевые слова: Agile, Scrum, управление проектами, методология, ИТ-проекты

NICHE AGILE METHODOLOGIES IN MODERN IT PROJECTS: XP, FDD, CRYSTAL, DSDM

Efimov N.A.

SAINT-PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGIES AND DESIGN, St. Petersburg, Russia (191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya ul., d. 18 litera a), e-mail: lordofskies@yandex.ru

This article summarizes the existing concepts and practices used in several niche Agile methodologies, examines the problem of their low popularity and assesses the feasibility of their use depending on the company's working conditions.

Keywords: Agile, Scrum, project management, methodology, IT-projects

Введение.

Современный деловой мир характеризуется быстрыми изменениями, требующими оперативной реакции на постоянно меняющиеся требования. С началом глобализации организации перестали ограничиваться определенным регионом и расширили свою сферу деятельности, охватив бесконечное количество возможностей [2].

Постепенно, такие факторы как глобализация, появление массовых производств, а также экономическая и рыночная турбулентность привели к ряду проблем, например, неспособности некоторых организаций соответствовать быстрорастущим требованиям. Эта проблема также затронула область разработки ИТ-проектов, в большей степени из-за неспособности традиционных подходов к разработке программного обеспечения и организационных процессов противостоять вызовам нового времени.

Так, в 2001 году, в качестве ответа на устоявшуюся ранее традиционную каскадную модель разработки появился «Манифест гибких методологий разработки» («Agile Manifesto»), который сфокусировался на итеративном подходе к разработке, постоянном взаимодействии

с заказчиком и готовности к любым изменениям на всех этапах проектной деятельности [1]. Постепенно, появляются отдельные методологии, которые наследуют основные идеи и принципы Agile и вносят свои коррективы.

Объектом статьи являются методологии управления проектами в современных ИТ-компаниях.

Предметом статьи является специфика и эффективность применения специализированных гибких методологий (FDD, DSDM, Crystal, ASD).

Целью данной статьи является систематизация знаний и выявление причин низкой популярности альтернативных Agile-методов (FDD, DSDM, Crystal), а также определение условий, при которых их применение экономически и организационно эффективнее, чем использование стандартных подходов (Scrum/Kanban).

Актуальность выражена возросшими требованиями к скорости разработки ПО в современных условиях. Это подчеркивает необходимость систематизации существующих концепций специализированных гибких методологий разработки ПО с целью корректности выбора подхода, метода и инструментов для достижения успеха при разработке будущего программного продукта.

Разновидности гибких методологий разработки ПО

Как известно, организации бывают разных типов, ориентируются на достижение разных целей и состоят из разных структур и процессов. По этой причине гибкие методологии также бывают разных типов для выполнения различных функций, связанных с гибкостью.

Scrum

По данным исследования «The 17th State of Agile Report» Scrum является наиболее популярным методом, используемым на командном уровне – 63% респондентов отметил его как наиболее используемый подход [7]. Scrum основан на итеративном и инкрементальном подходе разработки для достижения максимального качества продукта путем постоянного получения обратной связи от заказчика. В основу Scrum заложена работа в рамках 2-3 недельных циклов спринта, проведение ежедневных (стендап, «stand-up») и ретроспективных («ретро») встреч для оценки состояния текущего и прошедшего спринтов, а также формирование команд из 5-7 человек с возможностью последующего масштабирования.

Структура Scrum основана на правиле «3-5-3»: 3 роли, 5 событий, 3 артефакта.

К ролям относятся:

- Разработчики;
- Владелец продукта;
- Скрам-мастер.

Пять событий, задающих ритм работы:

- Спринт;
- Планирование спринта;
- Ежедневный скрам;

- Обзор спринта;
- Ретроспектива спринта.

Артефакты, представляющие работу и ценность:

- Бэклог продукта;
- Бэклог спринта;
- Инкремент [5].

Kanban

Второй по популярности метод управления задачами, который основан на визуализации рабочего процесса с помощью специальной доски. Основной целью Kanban является оптимизация потока задач и повышение прозрачности процессов [1]. В основу Kanban заложены следующие практики и инструменты:

- Визуализация процесса с помощью Kanban-доски;
- Ограниченный объем работы на одном этапе;
- Планирование спринта;
- Равномерный поток задач путем их приоритизации;
- Постоянная обратная связь для повышения качества продукта;
- Итеративная и непрерывная разработка программного обеспечения или проекта.

Стоит отметить, что Scrum и Kanban хоть и являются наиболее «дружелюбными» подходами, они все же имеют ряд недостатков, которым попытались найти решение в других методах.

Extreme Programming (XP)

В отличие от описанных выше методологий, Extreme Programming является исключительно методологией разработки ПО, которая оптимизирует процесс путем эффективного управления изменениями в коде. Основной акцент сделан на проактивное и автоматизированное тестирование, которое начинается с самых ранних этапов разработки и является его ключевым элементом. Характерные черты XP — это короткие итеративные циклы разработки с поэтапным проектированием и планированием. Методология требует постоянного взаимодействия с клиентом на всех стадиях проекта. Кроме того, программный код проходит ежедневную интеграцию и развертывание.

Суть Extreme Programming заключается в использовании наилучших практик в сфере разработки ПО и выведение их на «экстремальный» уровень.

Всего XP насчитывает двенадцать практик, которые можно условно разделить на управленческие и технические:

Управленческие практики:

- Коллективное владение кодом;
- 40-часовая рабочая неделя;
- Игра в планирование;
- Частые малые релизы;
- Заказчик на месте.

Технические практики:

- Парное программирование;

- Непрерывная интеграция;
- Разработка через тестирование;
- Рефакторинг;
- Простота;
- Метафора системы;
- Стандарт программирования [8].

Feature-Driven Development (FDD)

Это методология, ориентированная на создание функциональных возможностей путем итеративного и инкрементального процесса разработки. Приоритетной целью FDD является частая поставка работающего ПО в установленные сроки. FDD выделяет пять ключевых процессов:

- Разработка общей модели;
- Составление списка функций;
- Планирование по функциям;
- Проектирование по функции;
- Реализация по функции [5].

Crystal

Одна из наиболее легковесных Agile-методологий, в основном за счет минимального ведения проектной документации. Crystal опирается на командное взаимодействие, отодвигая процессы и инструменты на второй план. Основные принципы методологии:

- Команда проекта определяет подход к работе (исходя из того, что каждый проект уникален);
- Члены команды могут сами решать, как улучшить и оптимизировать свои рабочие процессы [3].

Dynamic System Development Method (DSDM)

Метод разработки динамических систем используется как при разработке ИТ-проектов, так и при работе над проектами в других сферах. DSDM решает наиболее распространенные проблемы ИТ-проектов, такие как несоблюдение сроков, перерасход бюджета и отсутствие вовлеченности пользователей. DSDM опирается на восемь ключевых принципов:

- Сфокусированность на потребностях бизнеса;
- Поставка в срок;
- Сотрудничество;
- Соблюдение высокого качества
- Постепенная разработка на прочном фундаменте;
- Итеративная разработка;
- Постоянная и прозрачная коммуникация;
- Демонстрация контроля.

Проблемы использования специализированных методологий в современных ИТ-проектах

Если Scrum и Kanban де-факто стали стандартами при выборе методологии проектного управления, в том числе при разработке ПО, то использование перечисленных выше специализированных методологий часто сопряжено с определенными сложностями.

Первая и главная проблема специализированных методологий – это их критическая несамостоятельность. Так, ежегодно проводимое исследование «The 15th State of Agile Report» [6] вновь показало, что Scrum является самым популярным гибким подходом: 66% респондентов назвали его наиболее предпочтительной методологией, 15% используют производные от Scrum (9% — ScrumBan и 6% — Scrum/XP Hybrid), в то время, как всего 1% респондентов используют практики Extreme Programming (XP) и 2% признались что не знают какая методология используется в их организации:

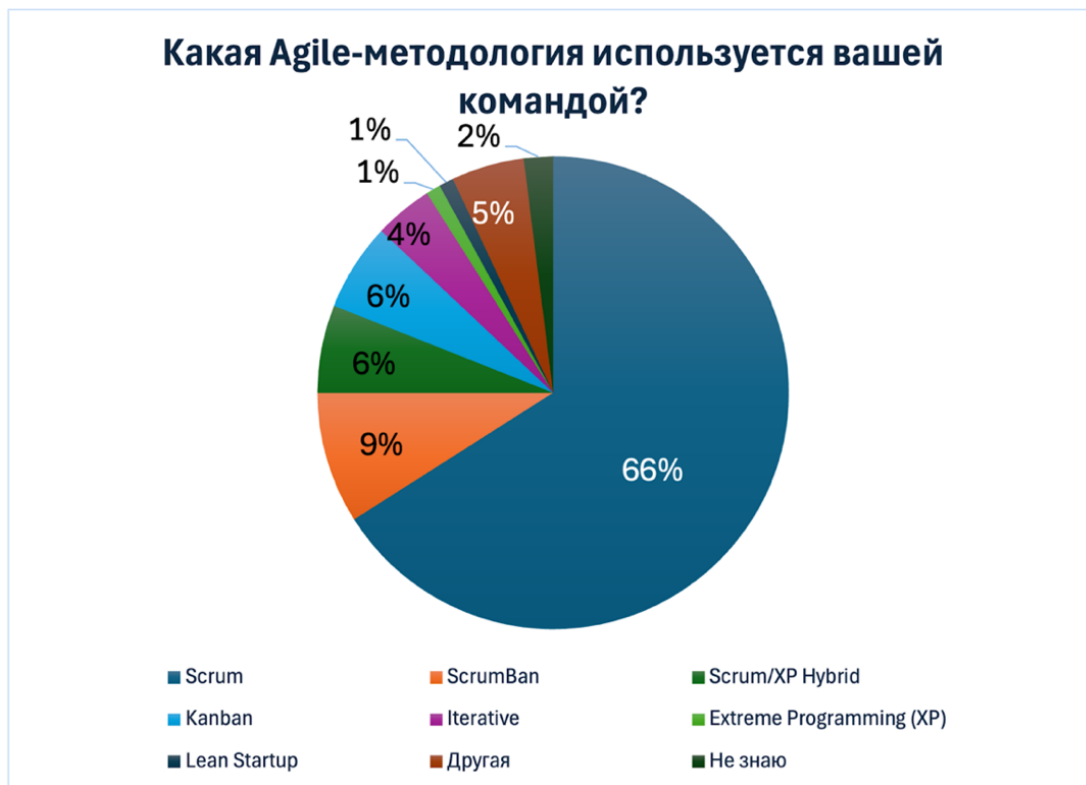


Рисунок 1 - Популярность Agile-методологий

Таким образом, специализированные методологии практически перестали существовать в качестве обособленных фреймворков и составлять фундамент проекта. Впоследствии они перешли в разряд «наборов практик» или нишевых решений для специфических индустрий, где решаются задачи узкого профиля.

Другой проблемой специализированных методологий можно считать их малую коммерциализацию и отсутствие сертификации. В то время, как Scrum и Kanban имеют мощную маркетинговую поддержку и простую систему сертификации, выделяя отдельную роль Scrum или Kanban-мастера, такие методологии как Extreme Programming (XP), Crystal или Feature Driven Development (FDD) отличаются высоким порогом входа и практически полным отсутствием маркетинговой поддержки и наличия сертификации.

Заключение

Проведенный в рамках статьи анализ позволяет сделать вывод, что положение гибких методологий разработки программного обеспечения претерпело сильные изменения за последние два десятилетия. Несмотря на то, что такие специализированные подходы, как Extreme Programming (XP), Feature Driven Development (FDD), Crystal и Dynamic System Development Method (DSDM) стояли у истоков «Манифеста гибкой разработки программного обеспечения», их роль в современных ИТ-проектах перешла из разряда управленческих стандартов в «best practices», т.е. наборы лучших практик.

Однако, говорить о полном исчезновении специализированных методологий было бы некорректно. Например, ключевые положения Extreme Programming (XP), такие как парное программирование, непрерывная интеграция и разработка через тестирование, а также архитектурные принципы, заложенные в основу Feature Driven Development (FDD), стали основой современной культуры DevOps, которая создает единую среду работы внутри команды разработки и поддержки.

Таким образом, рассмотренные выше специализированные методологии стоит применять не напрямую, а воспользоваться их проверенными инженерными и управленческими практиками для улучшения популярных управленческих методологий, таких как Scrum или Kanban, поскольку успех современного ИТ-проекта заключается не столько в следовании идеям и принципам выбранной методологии, но также от способности менеджмента выстраивать гибридные процессы, руководствуясь гибкостью Scrum или Kanban и жестких стандартов качества, заложенных в основу специализированных методологий.

Список литературы

1. Шаврей А.Г. Применение гибких методологий (Agile, Scrum, Kanban) в продакт-менеджменте // Научный Лидер. 2024. № 43 (193). С. 56 – 62.
2. Fowler M. The Agile Manifesto / M. Fowler, J. Highsmith // Software Development. — 2001. — Vol. 9, № 8. — P. 28–35.
3. Gonen B. Significance of Agile Software Development and SQA Powered by Automation / B. Gonen, D. Sawant // Proceedings of the 2020 3rd International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT). — 2020. — P. 7–11.
4. Mrsic M. Crystal Methods [Электронный ресурс] // ActiveCollab Blog. — 2017. — URL: <https://activecollab.com/blog/project-management/crystal-methods> (дата обращения: 07.04.2026).
5. Nawaz Z. Simplified FDD Process Model / Z. Nawaz, Sh. Aftab, F. Anwer // International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS). — 2017. — Vol. 9, № 9. — P. 53–59
6. Schwaber K. The Scrum Guide (2020 edition) [Электронный ресурс] / K. Schwaber, J. Sutherland. — Scrum.org, 2020. — URL: <https://scrumguides.org> (дата обращения: 07.04.2026).
7. The 15th State of Agile Report [Электронный ресурс]. — URL: <https://info.digital.ai/rs/981-LQX-968/images/SOA15.pdf> (дата обращения: 07.04.2026).
8. The 17th State of Agile Report [Электронный ресурс]. — URL: <https://info.digital.ai/rs/981-LQX-968/images/RE-SA-17th-Annual-State-Of-Agile-Report.pdf> (дата обращения: 07.04.2026).

9. Yadav K. S. Review on Extreme Programming-XP / K. S. Yadav, M. A. Yasvi, Shubhika // International Conference on Robotics, Smart Technology and Electronics Engineering. — Дели, 2019.

References

1. Shavrey A.G. Primenenie gibkikh metodologii (Agile, Scrum, Kanban) v produkt-menedzhmente // Nauchnyi Lider. 2024. № 43 (193). S. 56–62.
 2. Fowler M. The Agile Manifesto / M. Fowler, J. Highsmith // Software Development. — 2001. — Vol. 9, № 8. — P. 28–35.
 3. Gonen B. Significance of Agile Software Development and SQA Powered by Automation / B. Gonen, D. Sawant // Proceedings of the 2020 3rd International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT). — 2020. — P. 7–11.
 4. Mrsic M. Crystal Methods [Elektronnyi resurs] // ActiveCollab Blog. — 2017. — URL: <https://activecollab.com/blog/project-management/crystal-methods> (data obrashcheniya: 07.04.2026).
 5. Nawaz Z. Simplified FDD Process Model / Z. Nawaz, Sh. Aftab, F. Anwer // International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS). — 2017. — Vol. 9, № 9. — P. 53–59.
 6. Schwaber K. The Scrum Guide (2020 edition) [Elektronnyi resurs] / K. Schwaber, J. Sutherland. — Scrum.org, 2020. — URL: <https://scrumguides.org> (data obrashcheniya: 07.04.2026).
 7. The 15th State of Agile Report [Elektronnyi resurs]. — URL: <https://info.digital.ai/rs/981-LQX-968/images/SOA15.pdf> (data obrashcheniya: 07.04.2026).
 8. The 17th State of Agile Report [Elektronnyi resurs]. — URL: <https://info.digital.ai/rs/981-LQX-968/images/RE-SA-17th-Annual-State-Of-Agile-Report.pdf> (data obrashcheniya: 07.04.2026).
 9. Yadav K.S. Review on Extreme Programming-XP / K.S. Yadav, M.A. Yasvi, Shubhika // International Conference on Robotics, Smart Technology and Electronics Engineering. — Delhi, 2019.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.021

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ СКВАЖИН ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ГТМ

Кильдибаева Е.В.

ФГБОУ ВО "УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Уфа, Россия (450064, Республика Башкортостан, город Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), e-mail: kildibaevakate@gmail.com

В данной статье рассматривается задача оценки взаимовлияния скважин при планировании геолого-технических мероприятий в условиях действующих нефтяных месторождений. Проведен сравнительный анализ подходов к оценке межскважинной интерференции. В результате предложен алгоритм, включающий выделение группы гидродинамически связанных скважин на основе радиуса влияния, расчёт изменений дебитов нефти и жидкости, а также обводнённости. Рассмотрены два подхода к реализации алгоритма: с использованием обобщённого параметра интенсивности геолого-технического мероприятия и на основе изменения депрессии на пласт. Были рассмотрены основные сложности реализации и ограничения предложенных подходов. Сделан вывод об эффективности и практической применимости разработанного алгоритма, а также указаны направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: Геолого-технические мероприятия, взаимовлияние скважин, межскважинная интерференция, алгоритм, подходы, информационная система, принятие решений, эффективность ГТМ.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR ASSESSING WELL INTERFERENCE TO SUPPORT DECISION-MAKING IN THE PLANNING OF GEOLOGICAL AND TECHNICAL MEASURES

Kildibaeva E. V.

UFA STATE PETROLEUM TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, Ufa, Russia (450064, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1), e-mail: kildibaevakate@gmail.com

This article addresses the problem of assessing well interference in the planning of geological and technical measures under the conditions of operating oil fields. A comparative analysis of existing approaches to the evaluation of inter-well interference is conducted. Based on the results obtained, an algorithm is proposed that includes the identification of hydrodynamically connected well groups using a radius of influence criterion, as well as the calculation of changes in oil and total liquid production rates and water cut. Two approaches to the implementation of the proposed algorithm are considered: one based on a generalized parameter characterizing the intensity of geological and technical measures, and the other based on changes in reservoir drawdown. The main challenges associated with the implementation of these approaches, as well as their limitations, are analyzed. The results demonstrate the effectiveness and practical applicability of the proposed algorithm. Directions for further research are also outlined.

Keywords: Geological and technical measures, well interference, inter-well interference, algorithm, approaches, information system, decision-making, efficiency of geological and technical measures.

Введение

Эффективность разработки нефтяных месторождений на поздних стадиях во многом определяется качеством планирования геолого-технических мероприятий (ГТМ). При этом

любое воздействие на систему «скважина–пласт» приводит к перераспределению фильтрационных потоков и может оказывать влияние на режим работы соседних скважин. Игнорирование данного фактора может приводить к снижению эффективности мероприятий и ухудшению качества принимаемых решений.

Целью настоящей работы является разработка алгоритма оценки взаимовлияния скважин, пригодного для интеграции в цифровые системы поддержки принятия решений.

Методы

В работе применялись общенаучные методы: анализ, синтез, сравнение. В ходе работы были изучены научные публикации о различных подходах к оценке взаимовлияния скважин.

В исследовании [1] представлен обзор существующих методов и оценка результатов их применения на синтетической модели нефтяной залежи. Были рассмотрены работы, посвященные аналитическим и статистическим методам оценки интерференции [2, 4]. Гуторов с соавторами [3] на примере турнейских горизонтов Пермского края обосновали применимость нейросетевого подхода для выявления интерференции скважин. Также проанализирована работа [5], в которой предложен подход к прогнозированию добычи с учётом интерференции, основанный на анализе перераспределения пластового давления.

Сравнительный анализ рассмотренных подходов представлен в Таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительный анализ подходов к оценке взаимовлияния скважин

Подход	Принцип работы	Достоинства	Ограничения
Геометрический (входит в группы аналитических методов)	Использует геометрические или пространственные характеристики объектов и процессов для анализа и прогнозирования (например, построение кривых, углов, расстояний между точками)	Простота, прозрачность, наглядность; легко интерпретировать результаты	Ограничен в случае сложных нелинейных процессов; чувствителен к шуму данных
Статистический анализ данных (САД)	Применяет статистические методы для выявления закономерностей, трендов и взаимосвязей в данных (корреляции, регрессии, распределения)	Позволяет работать с большими объемами данных; даёт количественные оценки; выявляет скрытые зависимости	Требует достаточного объёма данных; плохо работает при сильной нелинейности или отсутствующих данных
CRM-модель	Базируются на уравнениях материального баланса и фильтрации, используют упрощенные физические представления.	Имеют физическое обоснование, средняя ресурсозатратность, пригодны для оперативных расчетов.	Требуют калибровки параметров (емкость, сопротивление), чувствительны к качеству исходных данных.
Гидродинамическая модель	Решение уравнений движения жидкости и газа в скважинах/пластах с учётом давления, проницаемости, насыщенности	Высокая точность; учитывает физические и геометрические характеристики	Сложность, высокая вычислительная нагрузка; требует точных данных о пластах
Нейронные сети	Машинное обучение: строит модель зависимости выходных параметров от входных через слои нейронов, обучаясь на исторических данных	Способны моделировать сложные нелинейные зависимости; автоматическое выявление скрытых закономерностей	Требуют больших объемов данных для обучения; «чёрный ящик» — сложно интерпретировать решения; риск переобучения

Источник: анализ автора

Результаты



Рисунок 1 – Блок-схема разработанного алгоритма

Источник: анализ автора

На начальном этапе необходимо выделить группу скважин, потенциально подверженных влиянию ГТМ на целевой скважине. Это связано с тем, что межскважинное взаимодействие носит локальный характер и проявляется в пределах ограниченной области пласта. Учет всех скважин фонда нецелесообразен, так как увеличивает вычислительную сложность и приводит к искажению результатов за счёт включения слабо связанных объектов.

Для определения расстояния до целевой скважины d_i необходимы координаты скважин, которые присутствуют в любой информационной системе, а также радиус зоны влияния. Радиус зоны влияния скважины — это расстояние от скважины, в пределах которого она изменяет пластовое давление и движение флюидов, и его рассчитывают для корректной оценки продуктивности, дренируемой области и взаимного влияния скважин.

Радиус зоны влияния:

$$R(t) = \sqrt{4\alpha t} \quad (1)$$

где $\alpha = \frac{k}{\phi \mu c t}$ – пьезопроводность пласта, t – характерный период анализа.

Таким образом, можно выделить группу скважин: $N = \{i | d_i \leq R\}$.

Далее необходимо определить изменение следующих показателей для каждой скважины, входящей в группу: дебит нефти ΔQ_n , дебит жидкости $\Delta Q_{ж}$, обводненность ΔW .

В зависимости от типа геолого-технического мероприятия изменяются как механизм воздействия на пласт, так и набор параметров, необходимых для оценки последствий для соседних скважин, что продемонстрировано в Таблице 2.

Таблица 2 - Входные параметры для оценки изменения технологических показателей при различных типах ГТМ

Тип ГТМ	Параметры, необходимые для расчета ΔQ_n , ΔQ_j , ΔW
Обработка призабойной зоны (ОПЗ)	Проницаемость (горизонтальной или вертикальной скважины); скин-фактор; вязкость жидкости; радиус контура питания; забойное, пластовое давления на текущую дату; плотность нефти
Гидроразрыв пласта (ГРП)	Проницаемость; скин-фактор; нефтенасыщенная толщина пласта; вязкость жидкости; радиус контура питания; забойное, пластовое давления на текущую дату; плотность нефти; коэффициент продуктивности
Перевод на выше-/нижележащий горизонт (ПВЛГ / ПНЛГ)	Скин-фактор; угол отклонения ствола скважины от вертикали; проницаемость; анизотропия пласта по проницаемости; пластовое давления на текущую дату; плотность нефти в поверхностных условиях; плотность воды в поверхностных условиях; глубина кровли пласта ПВЛГ/ПНЛГ и т.д.

Источник: анализ автора

В процессе разработки алгоритма рассматривалась возможность использования прямых технологических параметров ГТМ (таблица 2). Однако данный подход показал ограниченную применимость, поскольку различные типы ГТМ имеют различную физическую природу и несопоставимые параметры.

Следует отметить, что расчет изменений технологических зависит от контекста разработки алгоритма.

При разработке алгоритма изначально независимо от информационной системы необходимые расчетные формулы и данные можно вывести на основе аналитических зависимостей. В таком случае было принято решение ввести обобщённый параметр — интенсивность геолого-технического мероприятия $I_{ГТМ}$ который представляет собой характеристику воздействия на пласт. Данный параметр позволяет привести различные типы ГТМ к единой шкале и использовать универсальную расчетную зависимость.

Для количественной оценки межскважинного взаимодействия необходимо установить зависимость, позволяющую связать параметры проводимого геолого-технического мероприятия с изменением дебита соседних скважин. С учетом того, что интерференционное воздействие распространяется через пласт и затухает с расстоянием, а дебит скважины определяется условиями фильтрации и градиентом давления, целесообразно использовать упрощённую аналитическую зависимость (2), отражающую характер убывания влияния с удалением от источника возмущения и учитывающую интенсивность проводимого мероприятия.

$$\Delta Q_{ni} = K \cdot \frac{I_{ГТМ}}{d_i^n} \quad (2)$$

K – коэффициент условий пласта;

d_i – расстояние до целевой скважины;

n – коэффициент затухания.

Изменение дебита жидкости рассчитывается с учётом текущей обводнённости W_{ci}^0 :

$$\Delta Q_{жи} = \frac{\Delta Q_{ни}}{1 - W_{ci}^0/100} \quad (3)$$

Новая обводнённость продукции определяется из баланса нефти и жидкости:

$$W_{ci} = \frac{Q_{жи}^0 + \Delta Q_{жи} - (Q_{ни}^0 + \Delta Q_{ни})}{Q_{жи}^0 + \Delta Q_{жи}} \cdot 100 \quad (4)$$

$$\text{Изменение обводнённости: } \Delta W_{ci} = W_{ci} - W_{ci}^0 \quad (5)$$

Работа над алгоритмом существенно упрощается при условии изначальной его разработки для информационной системы. При внедрении алгоритма в существующую информационную систему большинство исходных параметров уже имеются в системе: сохранены данные технологического режима; определены и сохранены значения необходимых параметров на этапе расчета целевого потенциала при планировании ГТМ.

В этом случае основной расчет сосредоточен на определении изменения депрессии на пласт ΔP_i на соседних скважинах. После получения ΔP_i дальнейшее вычисление изменений дебитов нефти и жидкости, а также обводнённости производится с использованием вспомогательных формул и уже существующих зависимостей, что позволяет избежать повторного расчета всех исходных параметров.

Депрессия на пласт ΔP определяется как разность между пластовым и забойным давлением в скважине при ее эксплуатации. Для соседних скважин, входящих в группу, изменяется только пластовое давление. Изменение пластового давления может быть оценено с использованием упрощённой зависимости, отражающей затухание интерференционного воздействия с расстоянием. В качестве такой зависимости принята пропорциональность изменения давления отношению радиуса зоны влияния к расстоянию до скважины. При этом максимальное изменение давления соответствует целевой скважине, а для соседних скважин оно уменьшается обратно пропорционально расстоянию.

Формула нахождения ΔP_i :

$$\Delta P_i = \Delta P_{ц} \cdot \frac{R}{d_i} \quad (6)$$

В общем случае формула дебита жидкости будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{жи} = K \cdot \Delta P_i \quad (7)$$

Для разных типов ГТМ и типа скважины (горизонтальная или вертикальная) будет разный коэффициент K . Для его расчета берутся те же самые данные, что и при подсчете целевого потенциала.

Соответственно изменение дебита жидкости:

$$\Delta Q_{жи} = Q_{жи} - Q_{жи}^0 \quad (8)$$

Расчет дебита нефти и изменение дебита нефти на i -скважине:

$$Q_{ни} = Q_{жи} \cdot \rho_n \cdot \frac{100 - W_{ci}^0}{100}; \quad \Delta Q_{ни} = Q_{ни} - Q_{ни}^0 \quad (9)$$

Изменение обводнённости на i -скважине так же рассчитывается по формулам (4), (5).

Обсуждение

Предложенные алгоритмы оценки межскважинного взаимодействия основаны на использовании доступных промысловых данных, что позволяет интегрировать их в существующие информационные системы без существенных изменений.

В результате внедрения разработанного алгоритма специалист в информационной системе получает не только прогнозные показатели по целевой скважине, но и оценку влияния планируемого геолого-технического мероприятия на соседние скважины. Используемые параметры имеют физический смысл и понятны специалистам, что облегчает их использование при принятии решений. В интерфейсе системы могут отображаться перечень гидродинамически связанных скважин, расстояние до них, а также прогнозируемые изменения дебита нефти и обводнённости по каждой из них. Это позволяет специалисту учитывать совокупный эффект ГТМ на группу скважин, выявлять потенциально негативные последствия, такие как снижение добычи или рост обводнённости на соседних объектах, и принимать более обоснованные решения. В результате появляется возможность корректировки параметров мероприятия или выбора альтернативного варианта с учетом минимизации отрицательного воздействия и максимизации общего эффекта по фонду скважин.

Вместе с тем первый подход основан на упрощённых представлениях о фильтрации и не учитывает неоднородность пласта, а также не описывает временную динамику изменений после проведения ГТМ. Дополнительно требуется калибровка эмпирических параметров, включая коэффициенты модели и показатель интенсивности $I_{ГТМ}$.

Коэффициенты K и n могут быть определены:

- экспертным путем,
- на основе исторических данных,
- с использованием методов машинного обучения.

Это позволит адаптировать модель под конкретные условия месторождения.

Во втором подходе необходима корректная калибровка коэффициента K и использование достоверных исходных данных, что обеспечит приемлемую точность прогнозов и оперативную оценку эффективности ГТМ.

Заключение

В работе разработан алгоритм оценки взаимовлияния скважин, ориентированный на использование в информационных системах поддержки принятия решений при планировании геолого-технических мероприятий. Предложенные подходы позволяют учитывать влияние ГТМ на соседние скважины с использованием упрощенных зависимостей и уже имеющихся промысловых данных, что обеспечивает его вычислительную эффективность и практическую применимость.

Показано, что при наличии двух подходов в разработке алгоритма оценки взаимовлияния скважин — с использованием обобщенного параметра интенсивности геолого-технического мероприятия и на основе изменения депрессии на пласт — второй подход является более предпочтительным для практической реализации в информационных системах. Это обусловлено тем, что использование данного параметра позволяет опираться на уже имеющиеся промысловые данные и существенно упростить расчетную схему без потери физического смысла модели.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на вопросы практической реализации алгоритма в промышленных информационных системах, включая разработку архитектуры модуля, методов калибровки параметров и интеграции с существующими цифровыми решениями.

Список литературы

1. Степанов С.В., Соколов С.В., Ручкин А.А. и др. Проблематика оценки взаимовлияния добывающих и нагнетательных скважин на основе математического моделирования // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. Т. 4. № 3. С. 146-164.
2. Анаприенко Е.В., Жукова Е.М. Оценка интерференции скважин аналитическими и статистическими методами // Достижения науки и образования. 2019. № 5(46). С. 11-12.
3. Гуторов А.Ю., Гилязетдинов Р.А., Луцко А.С. Опыт использования нейросетевого подхода для оценки взаимовлияния скважин (на примере турнейских горизонтов группы месторождений Пермского края) // Нефтегазовое дело. 2023. № 1. С. 118-125.
4. Карим Мохаммед Расул Карим. Аналитическая методика оценки интерференции скважин на нефтегазовом месторождении Западная Курна с использованием радиальной модели фильтрации // Neftegaz.RU. 2025. № 8(164). С. 52-56
5. Сулейманов, Б. А. Прогнозирование добычи нефти при вторичном и третичном воздействии на залежь, с учетом интерференции скважин / Б. А. Сулейманов, Ф. С. Исмаилов, Н. И. Гусейнова // Нефтепромышленное дело. – 2015. – № 2. – С. 19-22.

References

1. Stepanov S.V., Sokolov S.V., Ruchkin A.A., et al. Problems of Assessing the Interaction of Production and Injection Wells on the Basis of Mathematical Modeling. Physical and mathematical modeling. Oil, gas, energy. 2018. T. 4. № 3. pp. 146-164.
 2. Anaprienko E.V., Zhukova E.M. Assessment of well interference by analytical and statistical methods. 2019. № 5(46). pp. 11-12.
 3. Gutorov A.Yu., Gilyazetdinov R.A., Lutsko A.S. Experience of using a neural network approach to assess the interaction of wells (on the example of tournaisian horizons of the Perm Region field group). 2023. № 1. pp. 118-125.
 4. Karim Mohammed Rasul Karim. Analytical Method for Estimating Well Interference at the West Qurna Oil and Gas Field Using a Radial Filtration Model // Neftegaz.RU. 2025. № 8(164). pp. 52-56
 5. Suleymanov B. A., Ismailov F. S., Guseynova N. I. Forecasting of oil production under secondary and tertiary impact on the deposit, taking into account the interference of wells / B. A. Suleymanov, F. S. Ismailov, N. I. Guseynova // Neftepromyslovoe delo. – 2015. – № 2. – pp. 19-22.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.8

ПОТЕНЦИАЛ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ КОЛМОГОРОВА-АРНОЛЬДА КАК АЛЬТЕРНАТИВЫ МНОГОСЛОЙНЫМ ПЕРЦЕПТРОНАМ В ЗАДАЧАХ ЛОГИСТИКИ

¹ Макарян Г.А., ²Харитоненков А. И.

ФГАОУ ВО "МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)", Москва, Россия (125993, город Москва, Волоколамское ш., д. 4), e-mail: ¹gevorg.makaryan1@mail.ru, ²kharitonenkov.a.i@gmail.ru

В условиях глобальной цифровизации и автоматизации большое количество различных отраслей, в том числе логистические компании, начали использовать в своей работе нейросетевые технологии. А с постоянным усложнением цепей поставок, эффективность логистических систем становится критическим фактором конкурентоспособности, поэтому компании все чаще предлагают новые решения с использованием ИИ для улучшения работы. Большинство современных интеллектуальных систем, использующихся в работе в различных сферах, преимущественно базируются на архитектуре многослойных перцептронов (MLP). Но с появлением новой архитектуры все может измениться.

Данная статья посвящена исследованию потенциала применения принципиально новой архитектуры нейронных сетей, Колмогорова-Арнольда (KAN). В работе был проведен теоретический анализ преимуществ новой архитектуры перед MLP в контексте ключевых задач логистики, таких как: прогнозирование спроса, оптимизация транспортных маршрутов и управление складскими запасами. Целью статьи является теоретическое исследование целесообразности интеграции нейросетевых технологий на архитектуре KAN, в интеллектуальные логистические платформы.

Ключевые слова: Сети Колмогорова-Арнольда, KAN, логистика, искусственный интеллект, оптимизация, прогнозирование, MLP.

THE POTENTIAL OF KOLMOGOROV-ARNOLD NEURAL NETWORKS AS AN ALTERNATIVE TO MULTILAYER PERCEPTRONS IN LOGISTICS PROBLEMS

¹ Makaryan G.A., ²Kharitonenkov A.I.

"MOSCOW AVIATION INSTITUTE (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY)", Moscow, Russia (125993, Moscow city, Volokolamskoe sh., 4), e-mail: ¹gevorg.makaryan1@mail.ru, ²kharitonenkov.a.i@gmail.ru

In the context of global digitalization and automation, a large number of various industries, including logistics companies, have begun to use neural network technologies in their operations. With the constant complication of supply chains, the efficiency of logistics systems is becoming a critical factor of competitiveness, which is why companies are increasingly offering new AI-based solutions to improve performance. Most modern intelligent systems used in various fields are mainly based on the multilayer perceptron (MLP) architecture. However, with the emergence of a new architecture, everything may change.

This article is devoted to the study of the potential of applying a fundamentally new neural network architecture Kolmogorov-Arnold networks (KAN). The paper presents a theoretical analysis of the advantages of the new architecture over MLP in the context of key logistics tasks, such as: demand forecasting, transport route optimization, and inventory management. The purpose of the article is a theoretical study of the feasibility of integrating neural network technologies based on the KAN architecture into intelligent logistics platforms.

Keywords: Kolmogorov-Arnold networks, KAN, logistics, artificial intelligence, optimization, forecasting, MLP.

Нейронные сети развиваются стремительными темпами и уже внедряются во многие сферы жизни. Например, во флагманские смартфоны активно стали интегрировать ИИ для выполнения повседневных задач, таких как редактирование фото или помощь в написании сообщений. [1] Нейросети нашли применение и в такой важной области, как медицина. Они помогают врачам в постановке диагнозов, прогнозировании заболеваний, а также находят применение в сфере роботизированной хирургии. [2] Масштабы внедрения ИИ в эти и другие отрасли наглядно отражает динамика роста мирового рынка искусственного интеллекта.

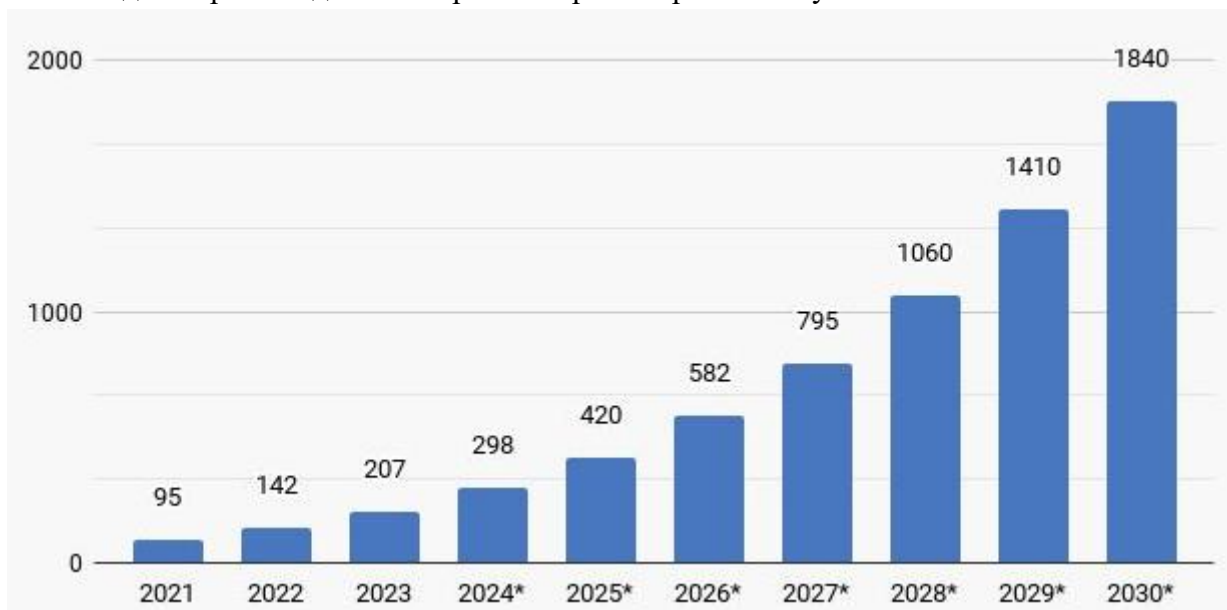


Рисунок 1 - Размер и прогноз международного рынка ИИ

Как видно из представленных данных, рынок ИИ демонстрирует устойчивый экспоненциальный рост: с 95 млрд долл. в 2021 году до прогнозируемых 1840 млрд долл. в 2030 году. Этот рост сопровождается активным развитием самих нейросетевых архитектур, лежащих в основе интеллектуальных систем. [3]

На сегодняшний день в основе большинства интеллектуальных систем лежат архитектуры на базе многослойных перцептронов, которые успешно используются в решении широкого круга задач [4]. Однако такие нейросети в первую очередь требуют значительных объемов данных для качественного обучения, что не всегда выполнимо в условиях реальных логистических систем.

В апреле 2024 года исследовательской группой из Массачусетского технологического института (MIT) была предложена новая архитектура – нейронные сети Колмогорова-Арнольда. [5] KAN базируются на теореме Андрея Николаевича Колмогорова и Владимира Игоревича Арнольда, которая гласит, что каждая многомерная непрерывная функция может быть представлена в виде суперпозиции непрерывных функций одной переменной [6]. Если в MLP обучению подлежат скалярные веса соединений между нейронами, а функции активации фиксированы, то в KAN обучение переносится на ребра графа, где вместо скалярных весов размещаются параметризуемые одномерные функции [5].

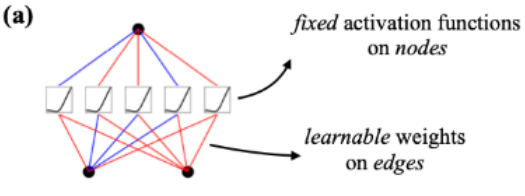
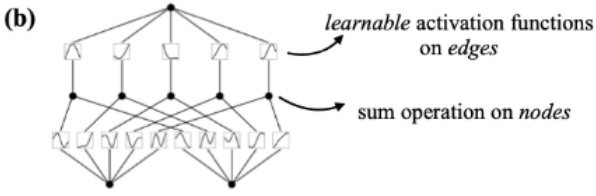
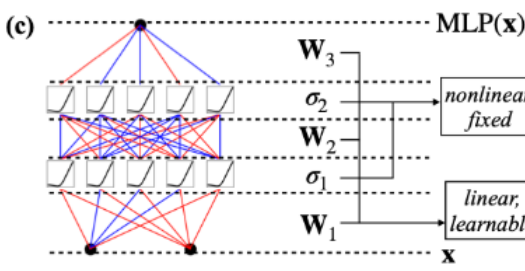
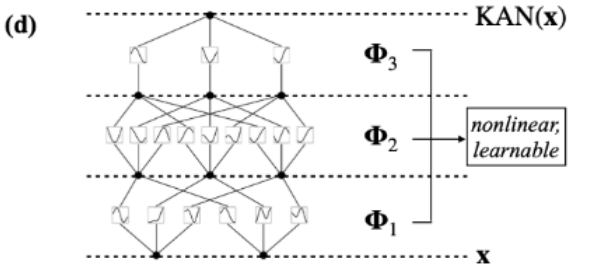
Model	Multi-Layer Perceptron (MLP)	Kolmogorov-Arnold Network (KAN)
Theorem	Universal Approximation Theorem	Kolmogorov-Arnold Representation Theorem
Formula (Shallow)	$f(\mathbf{x}) \approx \sum_{i=1}^{N(e)} a_i \sigma(\mathbf{w}_i \cdot \mathbf{x} + b_i)$	$f(\mathbf{x}) = \sum_{q=1}^{2n+1} \Phi_q \left(\sum_{p=1}^n \phi_{q,p}(x_p) \right)$
Model (Shallow)	(a)  fixed activation functions on nodes learnable weights on edges	(b)  learnable activation functions on edges sum operation on nodes
Formula (Deep)	$\text{MLP}(\mathbf{x}) = (\mathbf{W}_3 \circ \sigma_2 \circ \mathbf{W}_2 \circ \sigma_1 \circ \mathbf{W}_1)(\mathbf{x})$	$\text{KAN}(\mathbf{x}) = (\Phi_3 \circ \Phi_2 \circ \Phi_1)(\mathbf{x})$
Model (Deep)	(c)  \mathbf{W}_3 σ_2 \mathbf{W}_2 σ_1 \mathbf{W}_1 \mathbf{x} nonlinear, fixed linear, learnable	(d)  Φ_3 Φ_2 Φ_1 \mathbf{x} nonlinear, learnable

Рисунок 2 - Отличия MLP от KAN

Такое архитектурное решение обеспечивает более высокую точность аппроксимации сложных нелинейных зависимостей при меньшем числе параметров, а также возможность визуализации и интерпретации выученных функциональных зависимостей, что особенно важно для управленческих задач [7].

Мировые лидеры розничной торговли, такие как Amazon и Walmart, уже активно используют искусственный интеллект для оптимизации своей работы. По открытым данным в 2025 году на складах Amazon работает уже более 1 млн роботов. Мобильные платформы перевозят стеллажи к людям, сортировщики раскладывают посылки по направлениям, роботизированные манипуляторы отбирают коробки. [8] Amazon применяет ИИ в том числе и для маршрутизации доставки. Его система обрабатывает данные о трафике, погоде и спросе в реальном времени, что позволило сократить время доставки на 30% и снизить расход топлива на 25%. Walmart, в свою очередь, сделал ставку на предиктивную аналитику. Благодаря системе Self-Healing Inventory которая автоматически выявляет избыток товаров на одних складах и перенаправляет их туда, где есть дефицит, компания уже сэкономила более 55 млн долларов. Также Walmart использует ИИ для оптимизации маршрутов доставки свежих продуктов, что сокращает порчу товаров и уменьшает время в пути. [9]

Несмотря на впечатляющие успехи, текущие ИИ-решения Amazon и Walmart построены на классических архитектурах, а KAN предлагает ряд принципиальных преимуществ, которые делают её особенно привлекательной для логистических задач.

Рассмотрим три основные области логистической деятельности, где свойства KAN могут быть наиболее востребованы.

Прогнозирование спроса.

Точность прогнозов спроса определяет эффективность всей цепи поставок. Традиционные MLP требуют больших объёмов данных и не позволяют интерпретировать результаты. KAN, напротив, обеспечивают параметрическую эффективность и интерпретируемость — логист может увидеть, как цена или сезонность влияют на прогноз, и при необходимости скорректировать модель.

Оптимизация транспортных маршрутов.

Задачи маршрутизации характеризуются многокритериальностью и высокой динамикой. KAN могут быть интегрированы в гибридные системы обучения с подкреплением для аппроксимации функции ценности. Кроме того, интерпретируемость KAN даёт возможность понять, какие факторы могут внести наибольший вклад в выбор маршрута.

Управление складскими запасами.

Управление запасами требует баланса между издержками хранения и дефицита. Исследование, проведённое группой учёных из Китая и США, показало, что KAN способны заменить MLP в алгоритмах глубокого обучения с подкреплением для управления запасами, преодолевая такие ограничения MLP, как сложность интерпретации и высокая чувствительность к гиперпараметрам. Результаты показывают, что MLP обеспечивает более высокую эффективность управления запасами по сравнению с KAN в стандартных сценариях, однако, с увеличением времени выполнения заказа разница в производительности между MLP и KAN сокращается. Это указывает на сопоставимую эффективность при длительных сроках поставки. Эти результаты подтверждают надёжность RL на основе многослойных перцептронов в типичных условиях и демонстрируют потенциал сетей на основе KAN в более сложных средах. [10]

В ходе выполнения данной работы был проведён теоретический анализ потенциала применения нейронных сетей Колмогорова-Арнольда (KAN) в логистике. Были рассмотрены архитектурные особенности KAN, их отличия от классических многослойных перцептронов (MLP), а также возможности использования новой архитектуры в трёх ключевых задачах логистики: прогнозировании спроса, оптимизации транспортных маршрутов и управлении складскими запасами. Проведённое исследование демонстрирует значительный потенциал применения нейронных сетей Колмогорова-Арнольда в логистической сфере.

Список литературы

1. Исследование Apple Intelligence: всесторонний обзор функций и ограничений / А. Д. Сальников, И. А. Винтер, Н. С. Жаравин [и др.] // России - творческую молодёжь : Материалы XVIII Всероссийской научно-практической студенческой конференции. В 5-ти томах, Камышин, 17–18 апреля 2025 года. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2025. – С. 148-150. – EDN SFRMQU.
2. Уролбой Абдуманнон Угли Хусанов, Мейрбек Бахитбай Угли Кудратиллаев, Бобирбек Норпулат Угли Сиддиков, Саияра Балтабаевна Довлетова Искусственный интеллект в медицине // Science and Education. 2023. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyu-intellekt-v-meditsine-4> (дата обращения: 01.04.2026).

3. Статистика искусственного интеллекта (2025). — Текст : электронный // ИНКЛИЕНТ : [сайт]. — URL: <https://inclient.ru/ai-stats/> (дата обращения: 01.04.2026).
4. MLP Architecture. — Текст : электронный // henrygwb.github.io : [сайт]. — URL: <https://henrygwb.github.io/posts/mlp.htm#arch> (дата обращения: 01.04.2026).
5. Liu Z., Wang Y., Vaidya S., Ruehle F., Halverson J., Soljačić M., Hou T. Y., Tegmark M. KAN: Kolmogorov–Arnold Networks // [arXiv.org](https://arxiv.org). — 2024. — 30 Apr. — URL: <https://arxiv.org/abs/2404.19756> (дата обращения: 01.04.2026).
6. Андрей Колмогоров, «О представлении непрерывных функций нескольких переменных суперпозициями непрерывных функций меньшего числа переменных», Известия АН СССР, 108 (1956), с. 179—182; английский перевод: Amer. Math. Soc. Transl., 17 (1961), pp. 369—373.
7. Koenig B. C., Kim S., Deng S. LeanKAN: A Parameter-Lean Kolmogorov-Arnold Network Layer with Improved Memory Efficiency and Convergence Behavior // *Neural Networks*. 2025. Vol. 192. P. 107883.
8. Amazon has more than 1 million robots that sort, lift, and carry packages—see them in action. — Текст: электронный // AmazonNews: [сайт]. — URL: <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-robotics-robots-fulfillment-center> (дата обращения: 02.04.2026).
9. Ivy, Tse AI in Last-Mile Delivery: Amazon Walmart Success Stories 2025 / Tse Ivy. — Текст: электронный//FreightAmigo: [сайт]. — URL: <https://www.freightamigo.com/en/blog/logistics/ai-in-last-mile-delivery-success-stories-from-amazon-walmart/#Amazon-Prime-Air-Drones-2025-Last-Mile-Breakthrough> (дата обращения: 02.04.2026).
10. Tsang Y. P., Mo D. Y., Chung K. T., Lee C. K. M. Can Kolmogorov-Arnold Network (KAN) Replace Multi-layer Perception (MLP) in Reinforcement Learning for Stochastic Inventory Control? // *Proceedings of the 2025 9th International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics & Swarm Intelligence (ISMSI '25)*. ACM, 2025. DOI: 10.1145/3760622.3760623.

References

1. Research of Apple Intelligence: A Comprehensive Review of Functions and Limitations / A. D. Salnikov, I. A. Winter, N. S. Zharavin [i dr.] // *Rossii - tvorcheskuyu molodezh : Materialy XVIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy studencheskoy konferentsii*. In 5 volumes, Kamyshin, April 17–18, 2025. – Volgograd: Volgograd State Technical University, 2025. – pp. 148-150. – EDN SFRMQU.
2. Urolboy, Abdumannon Ugli Khusanov, Meirbek Bakhitbay, Ugli Kudratillaev, Bobirbek Norpulat, Ugli Siddikov, Sayyara Baltabayevna Dovletova *Artificial Intelligence in Medicine*. 2023. №5. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-v-medsine-4> (accessed: 01.04.2026).
3. Artificial Intelligence Statistics (2025). — Text : electronic // INCLIENT : [site]. URL: <https://inclient.ru/ai-stats/> (accessed: 01.04.2026).
4. MLP Architecture. — Text : electronic // henrygwb.github.io : [site]. — URL: <https://henrygwb.github.io/posts/mlp.htm#arch> (data obrashcheniya: 01.04.2026).
5. Liu Z., Wang Y., Vaidya S., Ruehle F., Halverson J., Soljačić M., Hou T. Y., Tegmark M. KAN: Kolmogorov–Arnold Networks // [arXiv.org](https://arxiv.org). — 2024. — 30 Apr. — URL: <https://arxiv.org/abs/2404.19756> (дата обращения: 01.04.2026).

6. Andrei Kolmogorov, "On the representation of continuous functions of several variables by superpositions of continuous functions of a smaller number of variables," *Izvestia of the USSR Academy of Sciences*, 108 (1956), pp. 179-182; English translation: *Amer. Math. Soc. Transl.*, 17 (1961), pp. 369-373.
 7. Koenig B. C., Kim S., Deng S. LeanKAN: A Parameter-Lean Kolmogorov-Arnold Network Layer with Improved Memory Efficiency and Convergence Behavior // *Neural Networks*. 2025. Vol. 192. P. 107883.
 8. Amazon has more than 1 million robots that sort, lift, and carry packages—see them in action. — Текст: электронный // AmazonNews: [сайт]. — URL: <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-robotics-robots-fulfillment-center> (дата обращения: 02.04.2026).
 9. Ivy, Tse AI in Last-Mile Delivery: Amazon Walmart Success Stories 2025 / Tse Ivy. — Text: electronic//FreightAmigo: [site]. Available at: <https://www.freightamigo.com/en/blog/logistics/ai-in-last-mile-delivery-success-stories-from-amazon-walmart/#Amazon-Prime-Air-Drones-2025-Last-Mile-Breakthrough> (accessed: 02.04.2026).
 10. Tsang Y. P., Mo D. Y., Chung K. T., Lee C. K. M. Can Kolmogorov-Arnold Network (KAN) Replace Multi-layer Perception (MLP) in Reinforcement Learning for Stochastic Inventory Control? // *Proceedings of the 2025 9th International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics & Swarm Intelligence (ISMSI '25)*. ACM, 2025. DOI: 10.1145/3760622.3760623.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.056.53

МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ АТАК КЛАССА BADUSB НА ОСНОВЕ ПОВЕДЕНЧЕСКОГО АНАЛИЗА КЛАВИАТУРНОГО ПОЧЕРКА

¹Борисенко И.И., ²Серегин И.А.

ФГБОУ ВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФЕССОРА М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА, Санкт-Петербург, Россия (193232, г. Санкт-Петербург, просп. Большевиков, 22, корп. 1), e-mail: ¹ivanborisenko03@yandex.ru, ²yoyore2015@yandex.ru

В статье рассматривается методика обнаружения атак класса BadUSB, основанная на анализе индивидуального клавиатурного почерка пользователя. Предложен метод, сочетающий извлечение шести статистических признаков временной динамики ввода, алгоритм обнаружения аномалий Isolation Forest и механизм многоуровневого счётика страйков. Экспериментальная проверка на виртуальном стенде продемонстрировала точность 94,86%, полноту обнаружения 95,33% и долю ложных срабатываний 5,5%. Вероятность ошибочной блокировки легитимного пользователя составляет 0,017%.

Ключевые слова: BadUSB, клавиатурный почерк, Isolation Forest, обнаружение аномалий, HID-атаки, поведенческая биометрия, информационная безопасность, машинное обучение.

A METHOD FOR DETECTING BADUSB ATTACKS BASED ON BEHAVIORAL ANALYSIS OF KEYSTROKE DYNAMICS

¹Borisenko I. I., ²Seregin I. A.

ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS. PROFESSOR M. A. BONCH-BRUEVICH, St. Petersburg, Russia (193232, St. Petersburg, Bolshevikov ave., 22, bldg. 1), e-mail: ¹ivanborisenko03@yandex.ru, ²yoyore2015@yandex.ru

The paper presents a methodology for detecting BadUSB attacks based on the analysis of individual keystroke dynamics. The proposed method combines the extraction of six statistical features of input timing, the Isolation Forest anomaly detection algorithm, and a multi-level strike accumulation mechanism. Experimental evaluation on a virtual test bench demonstrated an accuracy of 94.86%, a detection recall of 95.33%, and a false positive rate of 5.5%. The probability of erroneously locking out a legitimate user is 0.017%.

Keywords: BadUSB, keystroke dynamics, Isolation Forest, anomaly detection, HID attacks, behavioral biometrics, information security, machine learning.

Введение.

Атаки класса BadUSB представляют собой один из наиболее трудно детектируемых векторов компрометации корпоративных информационных систем. Данный класс угроз основан на перепрограммировании встроенного программного обеспечения USB-устройств с последующей эмуляцией клавиатуры через протокол Human Interface Device (HID). Операционная система воспринимает скомпрометированное устройство как легитимное средство ввода и предоставляет ему неограниченный доступ к командному интерфейсу без какой-либо верификации [1].

Масштаб проблемы подтверждается актуальной статистикой. По данным ежегодного доклада Verizon Data Breach Investigations Report за 2024 год, физические векторы компрометации, включая атаки через модифицированные периферийные устройства, составили 8% от общего числа подтверждённых инцидентов информационной безопасности в корпоративном секторе [2]. Аналитический центр Positive Technologies зафиксировал рост числа инцидентов с применением HID-устройств на 127% за период 2022–2024 годов [3].

Существующие методы противодействия BadUSB-атакам характеризуются рядом существенных ограничений. Аппаратные блокираторы USB-портов требуют затрат от 5 400 до 10 800 рублей на рабочую станцию и снижают операционную гибкость [4]. Программные системы контроля на основе белых списков идентификаторов VID/PID уязвимы к атакам клонирования: исследование Tian и соавторов показало, что 94% протестированных систем пропускают устройства с подделанными идентификаторами [5]. Коммерческие решения с фиксированными глобальными порогами скорости ввода демонстрируют уровень ложных срабатываний 15–20% [6].

В данной работе предлагается принципиально иной подход: обнаружение BadUSB-атак на основе анализа индивидуального клавиатурного почерка пользователя — совокупности временных характеристик взаимодействия с клавиатурой, уникальных для каждого человека [7]. Автоматизированное устройство формирует принципиально иной временной профиль, выявляемый методами машинного обучения.

Цель исследования

Целью настоящего исследования является разработка и экспериментальная апробация методики обнаружения атак класса BadUSB, основанной на персонализированном анализе клавиатурного почерка с применением алгоритма обнаружения аномалий Isolation Forest и механизма многоуровневой аккумуляции аномальных событий, функционирующей в режиме реального времени без привилегий администратора операционной системы.

Материал и методы исследования

Архитектура системы обнаружения

Разработанная система BadUSB Guard функционирует в двух последовательных фазах. В фазе калибровки осуществляется сбор обучающих данных клавиатурного ввода конкретного пользователя и построение персонализированной модели его типичного поведения. Минимальный объём обучающей выборки составляет 300 событий нажатия клавиш, рекомендуемый — 500 и более. В фазе защиты система непрерывно перехватывает события клавиатуры, сегментирует их на окна фиксированного размера, извлекает признаковый вектор и классифицирует каждое окно как нормальное или аномальное. Архитектура фазы защиты представлена на Рисунке 1.

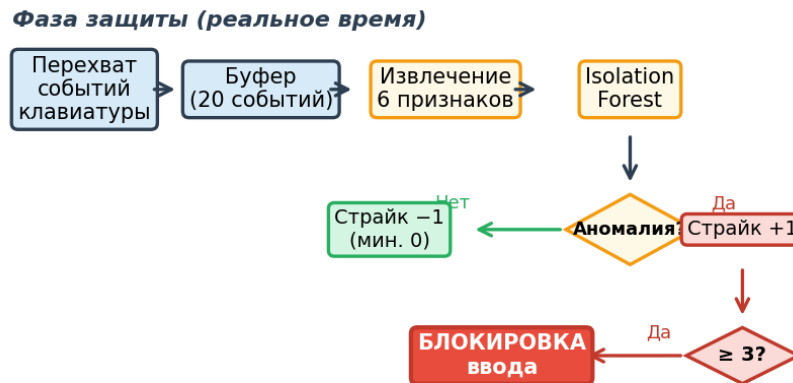


Рисунок 1 - Архитектура фазы защиты системы BadUSB Guard

Источник: разработка автора

Принципиальной особенностью архитектуры является функционирование исключительно в пространстве пользователя операционной системы, без модификации драйверов или компонентов ядра. Система реализована на языке Python 3.10+ с использованием библиотек ruyprut (перехват событий клавиатуры), scikit-learn (Isolation Forest), pandas и numpy (обработка данных) [11].

Признаковый вектор

Для каждого окна из $WINDOW_SIZE = 20$ последовательных событий вычисляется вектор из шести статистических признаков, основанных на двух базовых временных характеристиках ввода. Время удержания клавиши (dwell time) определяется как интервал между событиями нажатия и отпускания одной клавиши. Межклавишный интервал (flight time) — как интервал между отпусканием предыдущей и нажатием текущей клавиши.

На основе значений в пределах окна вычисляются: среднее значение и стандартное отклонение dwell time, максимальное dwell time, среднее значение и стандартное отклонение flight time, минимальное flight time. Стандартное отклонение flight time является наиболее информативным признаком: у человека оно составляет 30–80 мс вследствие вариативности нейромоторной активности, тогда как у HID-устройства — менее 2 мс из-за детерминированности программного цикла [8]. Минимальное flight time ниже физиологического порога ~30 мс однозначно указывает на автоматизированный ввод.

Алгоритм обнаружения аномалий

В качестве алгоритма классификации выбран Isolation Forest — метод обнаружения аномалий, основанный на построении ансамбля случайных деревьев изоляции [9]. Аномальные точки изолируются за меньшее число случайных разбиений пространства, что преобразуется в оценку аномальности. Выбор обусловлен тремя факторами: алгоритм обучается только на нормальных образцах (unsupervised), вычислительная сложность предсказания $O(T \cdot \log n)$ обеспечивает классификацию за < 1 мс, а отсутствие потребности в ковариационных матрицах позволяет работать без GPU [10].

Параметры модели: $n_estimators = 100$, $contamination = 0,02$, $max_samples = auto$.

Механизм счётчика страйков

Блокировка инициируется не по единичной классификации, а при обнаружении STRIKE_LIMIT = 3 последовательных аномальных окон. При аномалии счётчик инкрементируется; при нормальном окне — декрементируется (минимум 0). Вероятность ложной блокировки при FPR = 0,055 составляет 0,055 в третьей степени, что приблизительно равно 0,000166, то есть 0,017%.

Виртуальный испытательный стенд

Экспериментальная проверка проведена на виртуальном стенде: Oracle VirtualBox 7.0, две ВМ (Windows 10 Pro + Kali Linux 2024.1) через Internal Network. Эмулированный HID-ввод генерируется Python-скриптом с параметрами: dwell time ~5 мс (стд. откл. 1 мс), flight time ~1 мс (стд. откл. 0,5 мс), что воспроизводит характеристики реальных BadUSB-устройств типа Rubber Ducky.

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка проведена на 350 неперекрывающихся окнах: 200 класса «Человек» и 150 класса «HID». Матрица ошибок представлена на рисунке 2 и в таблице 1.



Рисунок 2 - Матрица ошибок классификатора BadUSB Guard

Источник: результаты эксперимента автора

Таблица 1 — Матрица ошибок классификатора

	Предсказано: Норма	Предсказано: Аномалия
Фактически: Человек (N=200)	TN = 189	FP = 11
Фактически: HID (N=150)	FN = 7	TP = 143

Источник: результаты эксперимента автора

На основании матрицы ошибок вычислены ключевые метрики качества, систематизированные в Таблице 2.

Таблица 2 — Метрики качества классификации системы BadUSB Guard

Метрика	Значение	Целевое значение
Accuracy	0,9486 (94,86%)	$\geq 0,90$
Precision	0,9286 (92,86%)	$\geq 0,95$
Recall	0,9533 (95,33%)	$\geq 0,90$
F1-мера	0,9410 (94,10%)	$\geq 0,92$
FPR	0,055 (5,5%)	$\leq 0,05$
P(ложная блокировка)	0,000166 (0,017%)	$\leq 0,01\%$

Источник: расчёты автора

Четыре из шести целевых показателей достигнуты. Precision (92,86%) незначительно ниже целевого (95%), что объясняется 11 ложноположительными срабатываниями. FPR составляет 5,5% при целевом 5%, однако механизм страйков компенсирует превышение: вероятность фактической блокировки — лишь 0,017%.

Для верификации преимуществ проведено сравнение с наивным подходом на основе фиксированного порога скорости ввода. Результаты представлены на рисунке 3 и в Таблице 3.

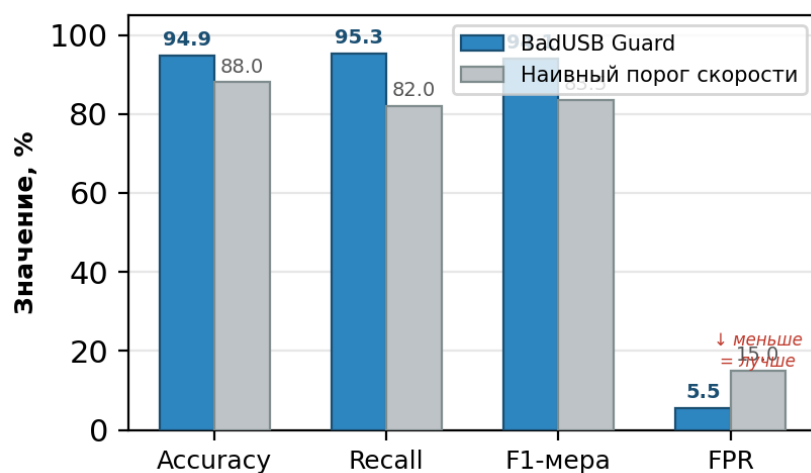


Рисунок 3. Сравнение метрик BadUSB Guard и наивного порога скорости

Источник: расчёты автора

Таблица 3 — Сравнение предложенного метода с наивным порогом скорости

Показатель	BadUSB Guard	Наивный порог
Accuracy	94,86%	88,0%
Recall	95,33%	82,0%
FPR	5,5%	15,0%
F1-мера	94,10%	83,5%
Адаптация к пользователю	Да	Нет
Обнаружение медленных атак	Да	Нет

Источник: расчёты автора

Предложенный метод превосходит наивный по всем показателям. Наивный подход не способен обнаруживать атаки с искусственно замедленным вводом (low-and-slow), при которых скорость находится в пределах нормы, но вариативность отсутствует. Isolation Forest выявляет такие атаки благодаря признакам стандартного отклонения.

Практические характеристики подтверждают возможность эксплуатации на типовых рабочих станциях: потребление памяти — не более 52 МБ, нагрузка на ЦП — менее 1%, время классификации одного окна — 0,54 мс. Задержка обнаружения варьируется от 1,2 с (скорость 3000 символов/мин) до 14,4 с (250 символов/мин), что существенно меньше времени исполнения типичного BadUSB-payload (8–15 с для reverse shell).

Выводы

В результате исследования разработана и экспериментально апробирована методика обнаружения атак класса BadUSB на основе поведенческого анализа клавиатурного почерка. Основные результаты заключаются в следующем.

Предложен признаковый вектор из шести агрегированных статистических характеристик временной динамики ввода, обеспечивающий эффективное разделение классов «человек» и «HID-устройство» при минимальных вычислительных затратах.

Обоснован выбор алгоритма Isolation Forest для обнаружения аномалий в условиях отсутствия размеченных атакующих образцов. Время классификации одного окна составляет 0,54 мс.

Разработан механизм многоуровневого счётчика страйков, снижающий вероятность ложной блокировки до 0,017% при полноте обнаружения 95,33%.

Система функционирует в пространстве пользователя без привилегий администратора и без модификации ядра ОС, что упрощает развёртывание в корпоративной инфраструктуре.

Направления развития: адаптивное дообучение модели, интеграция с SIEM-системами, расширение на иные HID-устройства (мыши, сенсорные панели).

Список литературы

1. Нол, К. BadUSB — Об аксессуарах, которые превращают зло / К. Нол, Дж. Лелл // Исследовательские лаборатории безопасности. — 2014.
2. Verizon. Отчет о расследовании утечек данных за 2024 год. — 2024. — 100 стр.
3. Positive Technologies. Актуальные киберугрозы: итоги 2024 года. — М., 2024.

4. Форум разработчиков USB. Спецификация универсальной последовательной шины, версия 2.0. — 2000.
5. Тиан, Д. Дж. ProvUSB: Блочная защита данных на основе данных о происхождении для USB-устройств хранения / Д. Дж. Тиан, А. Бейтс, К. Батлер // ACM SIGSAC CCS. - 2015. — С. 242-253.
6. Гришчоли, Ф. Проверка USB: предотвращение BadUSB—атак / Ф. Гришчоли, М. Пиццония // PST. - 2016. — С. 493-496.
7. Монроуз, Ф. Динамика нажатия клавиши как биометрический показатель / Ф. Монроуз, А. Д. Рубин // Компьютерные системы будущего поколения. — 2000. — Том 16, № 4. — С. 351-359.
8. Киллоури, К. С. Сравнение алгоритмов обнаружения аномалий для динамики нажатия клавиш / К. С. Киллоури, Р. А. Максион // IEEE/IFIP DSN. - 2009. — С. 125-134.
9. Лю Ф. Т. Изолированный лес / Ф. Т. Лю, Вэнь. М. Тин, З.-Х. Чжоу // 8—я конференция IEEE ICDM. - 2008. - С. 413-422.
10. Лю Ф. Т. Обнаружение аномалий на основе изоляции / Ф. Т. Лю, Вэнь. М. Тин, З.-Х. Чжоу // ACM t. - 2012. — Том 6, № 1. - ст. 3.
11. Педрегоса, Ф. Sci-learn: машинное обучение на Python / Ф. Педрегоса [СОСТ.] // JMLR. — 2011. - Том 12. - С. 2825-2830.

References

1. Nohl, K. BadUSB — On Accessories that Turn Evil / K. Nohl, J. Lell // Security Research Labs. — 2014.
 2. Verizon. 2024 Data Breach Investigations Report. — 2024. — p.100
 3. Positive Technologies. Актуальные киберугрозы: итоги 2024 года. — М., 2024.
 4. USB Implementers Forum. Universal Serial Bus Specification, Rev. 2.0. — 2000.
 5. Tian, D. J. ProvUSB: Block-level Provenance-Based Data Protection for USB Storage Devices / D. J. Tian, A. Bates, K. Butler // ACM SIGSAC CCS. — 2015. — pp. 242–253.
 6. Griscioli, F. USBCheckIn: Preventing BadUSB Attacks / F. Griscioli, M. Pizzonia // PST. — 2016. — pp. 493–496.
 7. Monrose, F. Keystroke Dynamics as a Biometric / F. Monrose, A. D. Rubin // Future Generation Computer Systems. — 2000. — Vol. 16, No. 4. — pp. 351–359.
 8. Killourhy, K. S. Comparing Anomaly-Detection Algorithms for Keystroke Dynamics / K. S. Killourhy, R. A. Maxion // IEEE/IFIP DSN. — 2009. — pp. 125–134.
 9. Liu, F. T. Isolation Forest / F. T. Liu, K. M. Ting, Z.-H. Zhou // 8th IEEE ICDM. — 2008. — pp. 413–422.
 10. Liu, F. T. Isolation-Based Anomaly Detection / F. T. Liu, K. M. Ting, Z.-H. Zhou // ACM TKDD. — 2012. — Vol. 6, No. 1. — Art. 3.
 11. Pedregosa, F. Scikit-learn: Machine Learning in Python / F. Pedregosa [и др.] // JMLR. — 2011. — Vol. 12. — pp. 2825–2830.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 629.5.03:004.94

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК АВТОНОМНЫХ СУДОВ

Кузнецов А.С.

*ФГБОУ ВО "ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА
ИМЕНИ АДМИРАЛА С.О.МАКАРОВА", Санкт-Петербург, Россия (198035, город Санкт-
Петербург, Двинская ул, д. 5/7 литера а), e-mail: bongo93@bk.ru*

В статье рассматривается применение технологии цифровых двойников для обеспечения надёжной эксплуатации судовых энергетических установок (СЭУ) автономных судов. Проанализированы основные принципы построения цифровых двойников применительно к двухтопливным двигателям и вспомогательным механизмам. Предложена многоуровневая архитектура цифрового двойника СЭУ, включающая модели физических процессов, модуль обработки данных и блок принятия решений. Рассмотрены алгоритмы адаптивного обновления модели на основе потоковых данных с датчиков. Показано, что внедрение цифрового двойника позволяет сократить число незапланированных отказов на 35–45 % и увеличить межремонтный интервал оборудования на 15–20 %. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании систем мониторинга технического состояния СЭУ перспективных автономных судов.

Ключевые слова: Цифровой двойник, судовая энергетическая установка, автономное судно, предиктивная диагностика, техническое обслуживание по состоянию, надёжность, мониторинг.

APPLICATION OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY FOR IMPROVING RELIABILITY OF MARINE POWER PLANTS OF AUTONOMOUS VESSELS

Kuznetsov A.S.

*"ADMIRAL S.O. MAKAROV STATE UNIVERSITY OF MARITIME AND INLAND SHIPPING", St.
Petersburg, Russia (198035, St. Petersburg, Dvinskaya str., 5/7 letter a), e-mail:
bongo93@bk.ru*

The article examines the application of digital twin technology for ensuring reliable operation of marine power plants (MPP) of autonomous vessels. The main principles of constructing digital twins for dual-fuel engines and auxiliary machinery are analyzed. A multi-level architecture of the MPP digital twin is proposed, including physical process models, a data processing module, and a decision-making block. Algorithms for adaptive model updating based on streaming sensor data are considered. It is shown that the implementation of a digital twin can reduce unplanned failures by 35–45% and increase the overhaul interval by 15–20%. The results can be applied in the design of condition monitoring systems for MPP of prospective autonomous vessels.

Keywords: Digital twin, marine power plant, autonomous vessel, predictive diagnostics, condition-based maintenance, reliability, monitoring.

Введение.

Развитие автономного судоходства ставит перед инженерным сообществом задачу обеспечения надёжной и безаварийной работы судовых энергетических установок (СЭУ) в

условиях отсутствия или существенного сокращения численности экипажа на борту. При эксплуатации автономных судов традиционные механизмы контроля технического состояния оборудования — визуальный осмотр, органолептическая оценка вахтенным механиком, оперативное устранение мелких неисправностей — становятся недоступными. Это предъявляет качественно новые требования к средствам дистанционного мониторинга и интеллектуальной диагностики.

Одним из наиболее перспективных подходов к решению данной проблемы является создание цифровых двойников (ЦД) — виртуальных моделей физических объектов, функционирующих в реальном масштабе времени и непрерывно синхронизируемых с данными, поступающими от бортовых датчиков [1]. Концепция цифрового двойника, впервые сформулированная М. Гривсом в 2002 году, в последнее десятилетие получила широкое распространение в авиационной, энергетической и автомобильной промышленности [2]. Применительно к морской отрасли данная технология находится на начальном этапе внедрения, однако обладает значительным потенциалом для повышения надёжности и оптимизации эксплуатации СЭУ [3].

Целью настоящей работы является разработка концептуальной архитектуры цифрового двойника судовой энергетической установки автономного судна и оценка его влияния на показатели надёжности основных элементов СЭУ. В отличие от методов формализованной оценки безопасности, ориентированных на классификацию и ранжирование рисков, предлагаемый подход направлен на создание непрерывно действующего инструмента прогнозирования технического состояния, интегрированного в контур управления автономным судном.

1. Особенности эксплуатации СЭУ автономных судов, определяющие потребность в цифровых двойниках

Переход к автономной эксплуатации судна приводит к принципиальному изменению условий функционирования его энергетической установки. В первую очередь существенно возрастает время реагирования на неисправности: если вахтенный механик на традиционном судне способен обнаружить и локализовать дефект в течение нескольких минут, то цикл дистанционного реагирования — от передачи данных через спутниковый канал до формирования управляющего воздействия — может занимать от 5 до 30 минут [4]. За это время начальное повреждение способно перерасти в серьёзную аварию.

Кроме того, на автономном судне отсутствует возможность оперативного ремонта: временные решения (перевязка трубопровода, замена прокладки, ручное переключение резервного агрегата), которые штатный экипаж выполняет за минуты, становятся недоступными. Следовательно, каждый отказ элемента СЭУ приобретает потенциально критический характер и требует либо предупреждения, либо автоматической компенсации.

Международная ассоциация классификационных обществ (МАКО) в унифицированном требовании UR Z27 «Provisions for Machinery Systems Condition Monitoring» устанавливает принципы мониторинга технического состояния машинных установок [5]. Для автономных судов выполнение данных требований предполагает наличие интеллектуальных систем, способных не только фиксировать текущие параметры, но и прогнозировать развитие

дефектов. Цифровой двойник СЭУ является инструментом, позволяющим реализовать эту функцию на качественно новом уровне.

2. Архитектура цифрового двойника СЭУ

Предлагаемая архитектура цифрового двойника СЭУ автономного судна основана на трёхуровневой модели, каждый уровень которой решает специфические задачи и взаимодействует с остальными через стандартизированные интерфейсы обмена данными.

Уровень 1 — Физическое моделирование. На данном уровне реализуются термодинамические, гидродинамические и механические модели основных компонентов СЭУ. Для главного двигателя (например, двухтопливного Wärtsilä типа 34DF) модель включает: рабочий процесс в цилиндрах (сжатие, сгорание, расширение, газообмен), теплообмен через стенки цилиндров и выпускной коллектор, динамику турбонаддува, характеристики топливоподачи при работе на газообразном и жидком топливе. Модели строятся на основе среднеобъёмных (0D) и квазистационарных (1D) подходов, что обеспечивает приемлемую вычислительную нагрузку для работы в реальном времени [6].

Уровень 2 — Обработка данных и диагностика. Модуль осуществляет приём, фильтрацию и агрегирование потоковых данных от бортовой сети датчиков. Выполняются сравнение фактических параметров работы оборудования с расчётными значениями модели первого уровня и формирование вектора отклонений. Статистический анализ отклонений позволяет обнаруживать аномалии на ранних стадиях развития дефектов. Дополнительно на этом уровне используются алгоритмы машинного обучения (ансамблевые методы, рекуррентные нейронные сети типа LSTM), обученные на исторических данных эксплуатации флота [7].

Уровень 3 — Принятие решений. Верхний уровень формирует рекомендации для берегового оператора или автономной системы управления. Основные функции: оценка остаточного ресурса (Remaining Useful Life, RUL) критических компонентов, формирование плана технического обслуживания по состоянию (Condition Based Maintenance, CBM), генерация сценариев реагирования при обнаружении развивающихся дефектов, приоритизация действий с учётом текущей навигационной обстановки и удалённости от порта [8].

Таблица 1 — Основные характеристики уровней цифрового двойника СЭУ

Характеристика	Уровень 1: физическое моделирование	Уровень 2: обработка данных	Уровень 3: принятие решений
Тип моделей	0D/1D термодинамические	Статистические, ML (LSTM, GBM)	Экспертные правила, оптимизация
Частота обновления	1–10 Гц	0,1–1 Гц	1 раз в 1–60 мин
Объём входных данных	50–100 параметров	100–300 параметров	Агрегированные индексы
Горизонт прогноза	Секунды–минуты	Часы–дни	Дни–месяцы
Вычисл. платформа	Бортовой контроллер (Edge)	Бортовой сервер / облако	Береговой центр

3. Алгоритмы адаптивного обновления модели

Ключевым отличием цифрового двойника от традиционных имитационных моделей является способность к непрерывной адаптации на основе поступающих эксплуатационных данных. В процессе работы СЭУ параметры оборудования постепенно изменяются вследствие износа, загрязнения теплообменных поверхностей, деградации смазочного масла и других факторов. Статическая модель, откалиброванная на заводских испытаниях, со временем теряет адекватность, что приводит к росту числа ложных срабатываний диагностической системы.

Для решения данной проблемы предлагается использовать алгоритм адаптивной калибровки, основанный на методе расширенного фильтра Калмана (Extended Kalman Filter, EKF). Вектор настраиваемых параметров модели θ включает коэффициенты теплоотдачи, механические потери на трение, характеристики форсунок и турбокомпрессора. Обновление параметров выполняется по рекуррентной формуле [9]:

$$\theta_{k+1} = \theta_k + K_k \cdot (y_k - h(\theta_k)), \quad (1)$$

где θ_k — вектор параметров на шаге k ; K_k — матрица усиления Калмана; y_k — вектор измерений; $h(\theta)$ — вектор-функция модели.

Практическая реализация алгоритма предполагает следующую последовательность. На каждом временном шаге бортовая система сбора данных формирует вектор измерений, включающий температуры выпускных газов по цилиндрам, давление наддувочного воздуха, частоту вращения турбокомпрессора, расход топлива и другие параметры. Модель первого уровня рассчитывает предсказание этих параметров для текущего режима работы двигателя. Разница между измерениями и предсказанием (вектор невязок) используется для коррекции параметров модели через фильтр Калмана.

Важным аспектом является разделение параметров на «медленные» (коэффициенты износа, загрязнения — обновляются с периодом в часы и дни) и «быстрые» (режимные параметры — обновляются каждые несколько секунд). Такое разделение позволяет отфильтровать влияние изменения режима работы от реальной деградации оборудования и существенно снизить количество ложных срабатываний диагностической системы [10].

4. Прогнозирование остаточного ресурса

Одной из главных задач цифрового двойника является оценка остаточного ресурса (RUL) критических компонентов СЭУ. Для автономного судна эта задача имеет особое значение, поскольку позволяет заблаговременно планировать заходы в порт для технического обслуживания и избегать отказов в открытом море.

Предлагается гибридный подход к прогнозированию RUL, сочетающий физическую модель деградации и модель машинного обучения. Физическая модель описывает основные механизмы износа: абразивный износ цилиндро-поршневой группы, усталостное разрушение подшипников, коррозионно-эрозионный износ лопаток турбины. Скорость деградации определяется через индикатор состояния (Health Indicator, HI), рассчитываемый на основе отклонений параметров модели от начальных значений [11]:

$$HI(t) = 1 - \|\theta(t) - \theta_0\| / \|\theta_{crit} - \theta_0\|, \quad (2)$$

где $\theta(t)$ — текущий вектор параметров; θ_0 — начальные (номинальные) значения; θ_{crit} — критические значения, при которых необходима замена компонента.

Модель машинного обучения на основе рекуррентной нейронной сети LSTM обучается на временных рядах индикатора НН и прогнозирует момент достижения порогового значения. Комбинирование двух подходов повышает точность прогноза: физическая модель обеспечивает интерпретируемость и устойчивость при недостатке данных, а нейронная сеть улавливает скрытые нелинейные зависимости [12].

Таблица 2 — Оценка влияния цифрового двойника на показатели надёжности элементов СЭУ

Элемент СЭУ	Снижение незаплан. отказов, %	Рост межрем. интервала, %	Точность прогноза RUL, %	Горизонт прогноза, сут.
Главный двигатель (ЦПГ)	35–40	15–18	82–88	14–30
Турбокомпрессор (подшипники)	40–45	18–22	85–92	7–21
Система смазки (насосы)	30–38	12–16	78–85	10–20
Генераторы (обмотки, подш.)	38–43	16–20	80–90	14–28
Топливная система СПГ	35–42	10–15	75–83	5–14

5. Интеграция цифрового двойника в контур управления автономным судном

Эффективность цифрового двойника СЭУ в значительной степени определяется его интеграцией с системой управления автономным судном и береговым центром. Предлагается следующая схема взаимодействия. Бортовая часть цифрового двойника (уровни 1 и 2) функционирует на выделенном промышленном компьютере, установленном в машинном отделении, и обменивается данными с системой автоматического управления СЭУ через стандартный интерфейс IEC 61162-450. Результаты диагностики и прогнозы передаются в береговой центр управления по резервированному каналу связи (VSAT + LTE/5G).

При обнаружении развивающегося дефекта система формирует три типа реагирования в зависимости от оценённого времени до отказа. Если остаточный ресурс компонента превышает время рейса, формируется рекомендация о включении компонента в план ближайшего технического обслуживания в порту. Если остаточный ресурс составляет менее 72 часов, генерируется предупреждение для берегового оператора с предложением скорректировать маршрут для захода в ближайший порт. При угрозе немедленного отказа (остаточный ресурс менее 4 часов) система автоматически переключает нагрузку на резервное оборудование и уведомляет оператора о необходимости экстренного вмешательства [13].

Важным преимуществом цифрового двойника является возможность моделирования альтернативных сценариев эксплуатации. Перед принятием решения о снижении мощности, переключении на резервное оборудование или изменении маршрута оператор может оценить влияние каждого варианта на прогнозируемый остаточный ресурс всех критических

компонентов. Это позволяет принимать обоснованные решения с учётом взаимного влияния элементов СЭУ, что особенно актуально для двухтопливных установок со сложной системой взаимосвязей между газовой и дизельной линиями питания [14].

6. Обсуждение результатов и направления дальнейших исследований

Предложенная архитектура цифрового двойника СЭУ обладает рядом преимуществ перед традиционными системами мониторинга. Во-первых, комбинирование физических моделей и алгоритмов машинного обучения обеспечивает более высокую точность прогнозирования по сравнению с каждым из подходов в отдельности. Во-вторых, механизм адаптивной калибровки позволяет поддерживать адекватность модели в течение всего жизненного цикла судна без необходимости ручной переналадки. В-третьих, многоуровневая структура обеспечивает гибкое распределение вычислительной нагрузки между бортовым оборудованием и береговой инфраструктурой.

Вместе с тем необходимо отметить ряд ограничений. Создание достоверной физической модели требует доступа к детальной конструкторской документации производителя двигателя, что не всегда возможно. Обучение моделей машинного обучения нуждается в значительном объёме эксплуатационных данных, которые для новых типов оборудования могут быть недостаточны. Кроме того, вопросы кибербезопасности цифрового двойника требуют отдельного исследования, поскольку компрометация модели может привести к генерации ложных рекомендаций по управлению СЭУ [15].

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: разработка методов трансферного обучения для переноса моделей между однотипными двигателями различных судов; создание федеративной системы обучения, позволяющей агрегировать данные флота без передачи конфиденциальной информации; интеграция цифрового двойника СЭУ с навигационным цифровым двойником для комплексной оптимизации маршрута и режимов работы энергетической установки.

Заключение

В настоящей работе предложена концептуальная архитектура цифрового двойника судовой энергетической установки автономного судна, включающая три уровня: физическое моделирование, обработку данных и диагностику, принятие решений. Разработан алгоритм адаптивной калибровки модели на основе расширенного фильтра Калмана, обеспечивающий поддержание адекватности модели при постепенной деградации оборудования. Предложен гибридный подход к прогнозированию остаточного ресурса, сочетающий физическую модель деградации и рекуррентную нейронную сеть.

Оценка ожидаемой эффективности показала, что внедрение цифрового двойника позволяет сократить число незапланированных отказов основных элементов СЭУ на 35–45 %, увеличить межремонтный интервал на 15–20 % и обеспечить горизонт прогнозирования остаточного ресурса от 5 до 30 суток в зависимости от типа оборудования. Предложенная схема интеграции цифрового двойника в контур управления автономным судном предусматривает трёхуровневую систему реагирования на развивающиеся дефекты.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании систем мониторинга технического состояния СЭУ перспективных автономных судов, а также при

разработке нормативных требований к интеллектуальным системам обеспечения надёжности судового оборудования.

Список литературы

1. Гривз, М. Цифровой двойник: совершенствование производства посредством виртуального копирования фабрики / М. Гривз // Белая книга, Флоридский технологический институт. – 2014. – 7 с.
2. Тао, Ф. Цифровой двойник в промышленности: современное состояние / Ф. Тао, Х. Чжан, А. Лю, А.Ю.К. Ни // Труды IEEE по промышленной информатике. – 2019. – Том 15, № 4. – С. 2405–2415.
3. Корадду, А. Цифровой двойник судна на основе данных для оценки потери скорости, вызванной обрастанием / А. Корадду, Л. Онето, Ф. Бальди, Д. Ангита // Океанотехника. – 2019. – Том 186. – Статья 106063.
4. ИМО. Морские автономные надводные суда. Определение области применения нормативных требований: MSC.1/Circ.1638. – Лондон: Международная морская организация, 2021. – 47 с.
5. IACS. Единое требование UR Z27: Положения о мониторинге состояния машинных систем. – Лондон: Международная ассоциация классификационных обществ, 2023. – 15 с.
6. Теотокатос Г. Вычислительное исследование сопоставления параметров производительности и выбросов судовой движительной системы / Г. Теотокатос // Труды Института инженеров-механиков, Часть М. – 2008. – Том 222, № 1. – С. 63–74.
7. Сюй С. Обнаружение аномалий в киберфизических системах на основе цифрового двойника / С. Сюй, Ц. Лу, Л. Лю, З. Ду // Труды 14-й Международной конференции по цифровым двойникам. – 2019. – С. 205–216.
8. Эриксен, С. Цифровой двойник для прогнозного обслуживания судовых механизмов / С. Эриксен, Р.Э. Мо // Материалы Морской конвенции SNAME. – 2020. – С. 1–12.
9. Саймон, Д. Оценка оптимального состояния: Калман, Н-бесконечность и нелинейные подходы / Д. Саймон. – Хобокен: Wiley-Interscience, 2006. – 526 с.
10. Бахурин Б.П. Вибрационная диагностика судовых дизелей / Б.П. Бахурин, А.А. Сиротенко. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2018. – 156 с.
11. Меджахер, К. Оценка остаточного срока службы критически важных компонентов с применением к подшипникам / К. Меджахер, Д.А. Тобон-Мехия, Н. Зерхуни // IEEE Transactions on Reliability. – 2012. – Том 61, № 2. – С. 292–302.
12. Чжан, Ю. Долговременная кратковременная память для прогнозирования остаточного срока службы машин / Ю. Чжан, Р. Сюн, Х. Хе, М.Г. Пехт // Journal of Manufacturing Systems. – 2018. – Том 48. – С. 78–86.
13. DNV GL. Автономные и дистанционно управляемые суда: Руководство по классификации DNVGL-CG-0264. – Хёвик: DNV GL, 2018. – 58 с.
14. Wärtsilä. Wärtsilä Expert Insight: Прогнозируемое техническое обслуживание для морских судов. Технический документ. – Хельсинки: Корпорация Wärtsilä, 2021. – 12 с.
15. Болбот, В. Новый метод оценки киберрисков для судовых систем / В. Болбот, Г.Теотокатос, Л.М. Булугурис, Д. Вассалос // Safety Science. – 2020. – Том 131. – Статья 104908.

References

1. Grieves, M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication / M. Grieves // White Paper, Florida Institute of Technology. – 2014. – p.7
 2. Tao, F. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art / F. Tao, H. Zhang, A. Liu, A.Y.C. Nee // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2019. – Vol. 15, No. 4. – pp. 2405–2415.
 3. Coraddu, A. Data-driven ship digital twin for estimating the speed loss caused by the biofouling / A. Coraddu, L. Oneto, F. Baldi, D. Anguita // Ocean Engineering. – 2019. – Vol. 186. – Art. 106063.
 4. IMO. Maritime Autonomous Surface Ships. Regulatory Scoping Exercise: MSC.1/Circ.1638. – London: International Maritime Organization, 2021. – p.47
 5. IACS. Unified Requirement UR Z27: Provisions for Machinery Systems Condition Monitoring. – London: International Association of Classification Societies, 2023. – p.15
 6. Theotokatos, G. A computational study on the performance and emission parameters mapping of a ship propulsion system / G. Theotokatos // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M. – 2008. – Vol. 222, No. 1. – pp. 63–74.
 7. Xu, X. Digital twin-based anomaly detection in cyber-physical systems / X. Xu, Q. Lu, L. Liu, Z. Du // Proceedings of the 14th International Conference on Digital Twins. – 2019. – pp. 205–216.
 8. Eriksen, S. Digital Twin for Predictive Maintenance of Ship Machinery / S. Eriksen, R.E. Moe // Proceedings of the SNAME Maritime Convention. – 2020. – pp. 1–12.
 9. Simon, D. Optimal State Estimation: Kalman, H-Infinity, and Nonlinear Approaches / D. Simon. – Hoboken: Wiley-Interscience, 2006. – p. 526
 10. Bakhurin B.P., Sirotenko A.A. Vibration diagnostics of ship diesels. – Vladivostok: Mor. State University, 2018. – p. 156
 11. Medjaher, K. Remaining Useful Life Estimation of Critical Components with Application to Bearings / K. Medjaher, D.A. Tobon-Mejia, N. Zerhouni // IEEE Transactions on Reliability. – 2012. – Vol. 61, No. 2. – pp. 292–302.
 12. Zhang, Y. Long Short-Term Memory for Machine Remaining Life Prediction / Y. Zhang, R. Xiong, H. He, M.G. Pecht // Journal of Manufacturing Systems. – 2018. – Vol. 48. – pp. 78–86.
 13. DNV GL. Autonomous and Remotely Operated Ships: Class Guideline DNVGL-CG-0264. – Høvik: DNV GL, 2018. – p.58
 14. Wärtsilä. Wärtsilä Expert Insight: Predictive Maintenance for Marine. Technical White Paper. – Helsinki: Wärtsilä Corporation, 2021. – p.12
 15. Bolbot, V. A novel cyber-risk assessment method for ship systems / V. Bolbot, G. Theotokatos, L.M. Boulougouris, D. Vassalos // Safety Science. – 2020. – Vol. 131. – Art. 104908.
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.852

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ (RNN, GRU, LSTM) ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ СТОИМОСТИ АКЦИИ

¹Гриф М. Г., ²Шамин А. А.

ФГБОУ ВО "НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Новосибирск, Россия (630073, Новосибирская область, город Новосибирск, пр-кт Карла Маркса, д. 20), e-mail: ¹grifmg@mail.ru, ²shaminandrey2021@gmail.com

Целью данной работы является сравнительный анализ трех архитектур нейронных сетей - Vanilla RNN, LSTM и GRU применительно к задаче краткосрочного прогнозирования курса акции Apple Inc. (AAPL).

В качестве данных были использованы исторические данные за период с января 2010 по апрель 2026 в формате OHLCV. Данные были разбиты на обучающую, валидационную и тестовую выборку в хронологическом порядке. Для оценки эффективности нейросетевых моделей были также реализованы три базовых метода - наивный прогноз, линейная регрессия и модель ARIMA(5, 1, 0). Подбор гиперпараметров осуществлялся методом полного перебора по 18 конфигурациям для каждой архитектуры. Итоговая оценка осуществлялась путем оценки пяти независимых запусков с различными инициализациями весов, а значимость различий между моделями была верифицирована посредством проведения теста Дибольда-Мариано.

Полученные результаты показали, что RNN продемонстрировал наилучшее качество прогнозирования среди нейросетевых архитектур. Вместе с тем все три архитектуры уступили наивному базовому методу, что свидетельствует об ограниченной предсказательной ценности OHLCV в рамках рассматриваемой задачи.

Ключевые слова: Рекуррентные нейронные сети, прогнозирование временных рядов, LSTM, GRU, фондовый рынок.

COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURAL NETWORK ARCHITECTURES (RNN, GRU, LSTM) FOR STOCK PRICE PREDICTION

Grif M.G., Shamin A. A.

"NOVOSIBIRSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY", Novosibirsk, Russia (630073, Novosibirsk region, Novosibirsk city, Karla Marksa prospekt, 20), e-mail: ¹grifmg@mail.ru, ²shaminandrey2021@gmail.com "

The objective of this paper is to compare three neural network architectures: Vanilla RNN, LSTM, and GRU for the short-term Apple Inc. (AAPL) stock price forecasting problem.

The dataset used was historical data from January 2010 to April 2026 in OHLCV format. The data was divided into training, validation, and test sets in chronological order. To evaluate the performance of the neural network models, three baseline methods were also implemented: naive forecasting, linear regression, and the ARIMA(5, 1, 0) model. Hyperparameter selection was performed using an exhaustive search across 18 configurations for each architecture. The final evaluation was performed by evaluating five independent runs with different weight initializations, and the significance of differences between the models was verified using the Diebold-Mariano test.

The results showed that RNN demonstrated the best forecasting performance among the neural network architectures. However, all three architectures outperformed the naive baseline method, indicating the limited predictive value of OHLCV for the problem under consideration.

Keywords: Recurrent neural networks, time series forecasting, LSTM, GRU, stock market.

Введение.

В современном мире, где экономика с каждым годом усложняется и глобализируется, инвесторам и аналитикам чаще приходится сталкиваться с необходимостью прогнозирования курса акций для принятия обоснованных решений [6]. Для данных специалистов критически важно иметь возможность уловить меняющиеся закономерности рынка акций, так как возможность прогнозирования стоимости акций напрямую связана с возможностью получения прибыли.

Для компаний, представленных на фондовом рынке, цена акций отражает условия деятельности, ожидаемое будущее развитие от инвесторов, а также является важным показателем для анализа компании среди других инвесторов.

Так как такая сложная система как финансовый рынок имеет огромный объем данных, то традиционные методы анализа (фундаментальный и технический анализ) могут быть не совсем точны, либо очень сложны для практического применения [7]. В связи с этим в данной работе мы предлагаем подход к прогнозированию стоимости акций при помощи нейронных сетей.

Нейронные сети представляют собой структуру, представляющую из себя взаимосвязанную совокупность узлов. Обрабатывающая способность сети заключена в силе связей между этими узлами, которая формируется в процессе “обучения” на основе некоторой обучающей выборки. В общих чертах принцип работы нейронных сетей схож с принципами работы биологических нейронов.

Моделирование нейронных сетей позволяет решать широкий спектр задач, таких как: обработка естественного языка, распознавание объектов, а также предсказание временных рядов (в том числе предсказание стоимости курса акций в будущем)

Актуальность нейронных сетей можно выразить посредством следующих факторов:

- Высокая адаптивность и гибкость;
- Способность обучаться на больших объемах данных;
- Возможность обрабатывать данные в режиме реального времени.

Практическая ценность данной работы заключается в возможности предсказания стоимости курса акций на фондовой бирже, что дает возможность принимать более точные и взвешенные решения для участников фондового рынка.

Описание эксперимента

Эксперимент направлен на сравнительную оценку трех архитектур рекуррентных нейронных сетей (Vanilla RNN, GRU и LSTM) в рамках задачи однодневного прогнозирования цены акции Apple Inc. (AAPL) на основе исторических данных.

Формально данную задачу можно сформулировать как одношаговое регрессионное прогнозирование. По окну из L последовательных наблюдений предсказать значение на следующий день.

$$\hat{y}_{t+1} = f_{\theta}(x_{t-L+1}, x_{t-L+2}, \dots, x_t)$$

где x_t - вектор признаков в момент времени t , L - длина скользящего окна, f_{θ} - параметрическая модель с обучаемыми весами θ , \hat{y}_{t+1} - прогнозируемая цена закрытия.

Данные

В качестве набора данных используется исторический ценовой ряд AAPL за период с 04.01.2010 по 02.04.2026. Каждое наблюдение представлено в виде пятимерного вектора признаков, то есть в качестве вектора x_t используются следующие признаки:

- Цена открытия - цена первой сделки за торговый день;
- Максимум за день - наивысшая цена за день;
- Минимум за день - наименьшая цена за день;
- Цена закрытия - цена последней сделки за торговый день;
- Объем торгов - количество акций сменивших владельца за торговый день.

Разбиение происходит строго в хронологическом порядке во избежание утечки данных:

- Тренировочная выборка: 04.01.2010 - 30.12.2022 (3272 дней)
- Валидационная выборка: 03.01.2023 - 29.12.2023 (250 дней)
- Тестовая выборка: 02.01.2024 - 02.04.2026 (565 дней)

Нормализация признаков выполняется по методу Min - Max [10]:

$$\tilde{x} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

причем x_{min} и x_{max} вычислены исключительно на D_{train} .

Отбор гиперпараметров

Производится полный факторный эксперимент по трем слоям (Таблица 1):

Таблица 1 - Отбор гиперпараметров

Фактор	Значение
Размер скрытого слоя Н	{64, 128, 256}
Длина окна L	{30, 60, 90}
Число слоев N	{1, 2}

Путем полного перебора комбинаций получаем 18 конфигурация для каждой архитектуры. Оптимальная конфигурация для каждой архитектуры определяется по минимуму RMSE на тестовой выборке.

Применяется техника скользящего окна: по L последовательным дням предсказывалась цена на день L+1. Как уже было сказано - размер окна определяется в результате поиска оптимальных гиперпараметров для каждой архитектуры.

Оценка качества

Финальная оценка качества производится по результатам 5 независимых запусков с различными начальными приближениями (random seeds).

Используются следующие метрики:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|$$

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y}_t)^2}$$

Для оценки относительной эффективности нейронных сетей также были реализованы три классических алгоритма прогнозирования: наивный метод (значение предыдущего дня), линейная регрессия и модели ARIMA(5, 1, 0) [10].

Лучшая конфигурация каждой архитектуры обучалась 5 раз с различными случайными инициализациями (seeds = 42, 123, 456, 789, 1024).

Результаты эксперимента

Приведем лучшие конфигурации для каждой архитектуры (Рисунок 1):

arch	hidden	lookback	layers	params	RMSE	MAE	MAPE	R2	DA	train_time
GRU	256	60	2	596993	4.222	3.097	1.377	0.977	53.968	1056.233
LSTM	256	90	1	269569	5.270	4.070	1.754	0.955	51.899	616.588
RNN	256	90	1	67585	4.038	2.896	1.267	0.973	52.954	175.638

Рисунок 1 - Оптимальные конфигурации для RNN, GRU, LSTM.

Далее для представленных конфигураций представим фиксированные параметры нейронных сетей (Таблица 2):

Таблица 2 - Общие фиксированные параметры

Параметр	Значение
Оптимизатор	Adam, скорость обучения = 0.001
Функция потерь	Среднеквадратичная ошибка (MSE)
Размер батча	32
Dropout	0.2
Максимальное число эпох	100
Ранняя остановка (patience)	10
Число запусков	5

Далее приведем графики работы RNN, GRU и LSTM на тестовой выборке (Рисунок 2):

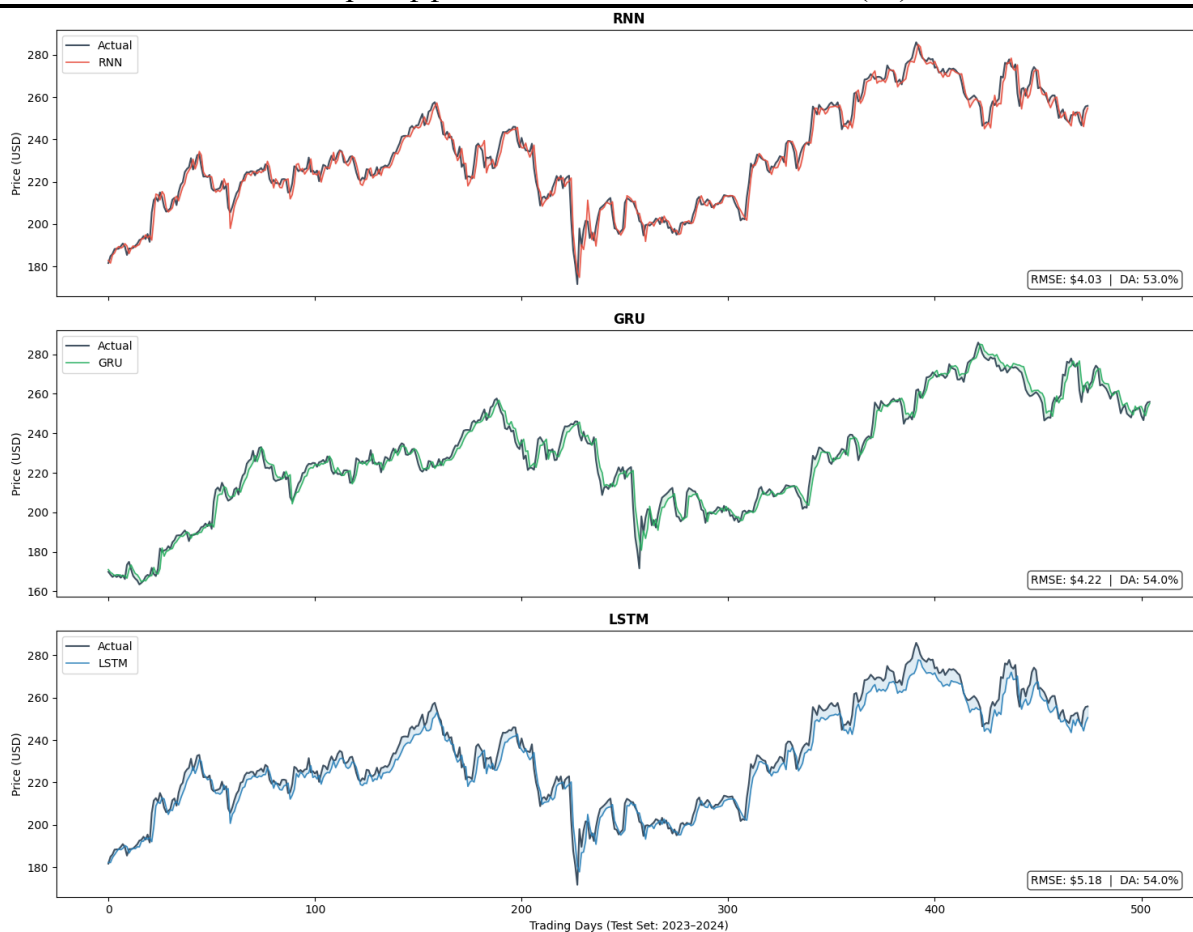


Рисунок 2 - Графическое отображение работы на тестовой выборке RNN, GRU и LSTM

Далее приведем сводные результаты оценки прогностической точности всех рассматриваемых моделей. Стоит отметить, что для нейросетевых архитектур значения метрик приведены в формате $\mu \pm \sigma$ по результатам пяти независимых запусков с различными инициализациями весов. Базовые методы запускались однократно, поэтому для них дисперсия не указана. Результаты приведены на Рисунке 3:

	Params	RMSE	MAE	MAPE (%)	R ²	DA (%)
Model						
RNN	67,585	4.108 ± 0.093	2.945 ± 0.074	1.29 ± 0.03	0.9724	53.08 ± 0.41
GRU	596,993	5.372 ± 0.925	4.085 ± 0.787	1.79 ± 0.34	0.9626	52.66 ± 0.92
LSTM	269,569	5.658 ± 0.608	4.432 ± 0.465	1.90 ± 0.19	0.9473	52.57 ± 0.98
Naive	—	3.834	2.610	1.17	0.9814	52.78
LinearReg	—	3.919	2.678	1.20	0.9805	52.98
ARIMA	—	4.294	2.719	1.23	0.9766	51.59

Рисунок 3 - Итоговые результаты для различных архитектур.

Для более наглядного результата приведем оценку прогностической точности по ключевым метрикам в виде гистограмм (Рисунок 4):

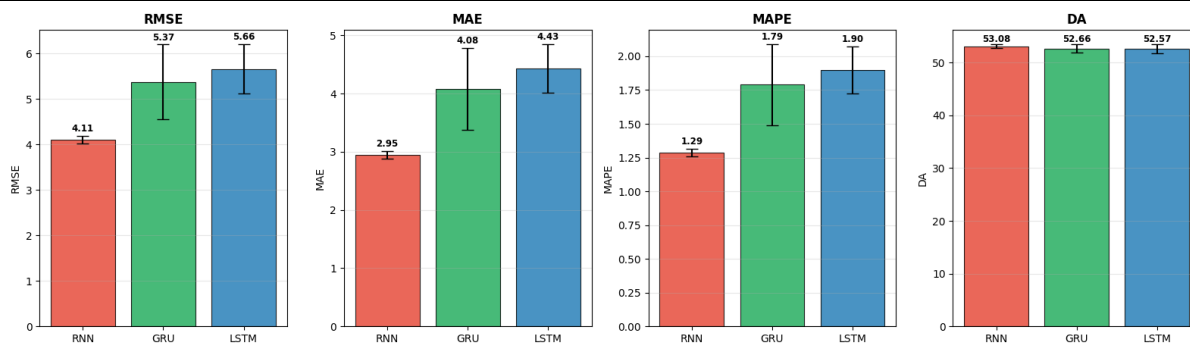


Рисунок 4 - Сравнение результата работы моделей по ключевым метрикам

Анализ результатов, представленных на Рисунке 3 позволяет сформировать ряд наблюдений.

Среди нейросетевых архитектур лучшие показатели по всем метрикам показала RNN (RMSE = 4.108, MAE = 2.945, MAPE = 1.29%). GRU и LSTM уступили RNN по точности прогнозов, продемонстрировав больший разброс результатов между запусками, что свидетельствует об их меньшей стабильности на данном временном ряду при текущих параметрах.

Вместе с тем все три нейросетевые архитектуры уступили базовым методам сравнения по метрикам RMSE, MAE и R^2 . Наивный метод (RMSE = 3.834) и линейная регрессия (RMSE = 3.919) превзошли даже лучшую нейросетевую модель, что указывает на высокую степень автокорреляции исследуемого ценового ряда и ограниченную предсказательную ценность признаков в рамках рассматриваемой задачи. Единственным базовым методом, который уступил RNN, оказалась ARIMA (RMSE = 4.294).

Также отметим, что показатель направленной точности (DA) у всех моделей находится в диапазоне от 51.6% до 53.1%, что говорит о некотором превышении уровня случайного угадывания (50%) и свидетельствует об отсутствии устойчивой способности предсказывать направление движения цены в рамках данных рассматриваемых моделей.

Впоследствии для проверки статистической значимости наблюдаемых различий между архитектурами применялся тест Дибольда-Марьяно [3]. Для каждой архитектуры в качестве прогнозов использовались усредненные показания по пяти независимым запускам. Парно сравнивались все три комбинации архитектур RNN-GRU, RNN-LSTM, GRU-LSTM. Результаты представлены на Рисунке 5:

	DM stat	p-value
Comparison		
RNN vs GRU	-3.434	0.0006
RNN vs LSTM	-6.284	0.0000
GRU vs LSTM	-4.162	0.0000

Рисунок 5 - Результат теста Дибольда-Мариано

Результаты данного теста свидетельствуют о статистически значимых различиях между всеми тремя парами архитектур на уровне значимости $p < 0.001$. Отрицательные значения во всех трех случаях указывают на то, что первая модель в каждой паре обеспечивает более высокую прогностическую точность. Получаем, что RNN наиболее статистически значимая, далее идет GRU и уже потом LSTM. Таким образом, в рамках данного эксперимента с текущими параметрами и набором данных можно утверждать, что превосходство RNN перед гейтированными архитектурами не случайно и воспроизводится на уровне статистической значимости $p < 0.001$.

Выводы

В результате выполнения данного эксперимента по прогнозированию стоимости акций на основе нейронных сетей было выявлено, что Vanilla RNN показала наилучшие результаты среди нейросетевых архитектур по всем метрикам ошибок. Гейтированные архитектуры GRU и LSTM показали более высокую ошибку. Такой результат может быть объяснен тем, что при однодневном горизонте прогнозирования долгосрочная память, которую обеспечивает GRU и LSTM, не помогает.

Однако в рамках данного эксперимента ни одна из нейросетевых моделей не превзошла наивный базовый метод, даже лучшая нейросетевая архитектура (RNN) уступает тривиальному предсказанию “завтра будет та же цена”, что согласуется с гипотезой информационной эффективности рынка [1]. Исторические ценовые данные не содержат информации, достаточной для систематически точного прогнозирования. Для улучшения результатов необходимо расширение признаков [6], например, за счет технических индикаторов, макроэкономических данных или анализа новостного фона.

Список литературы

1. Fama, Eugene F. "Efficient capital markets: A review of theory and empirical work." *The journal of Finance* 25.2 (1970): pp.383-417.
2. Hochreiter, Sepp, and Jürgen Schmidhuber. "Long short-term memory." *Neural computation* 9.8 (1997): pp. 1735-1780.
3. Diebold, Francis X., and Robert S. Mariano. "Comparing predictive accuracy." *Journal of Business & economic statistics* 20.1 (2002): pp. 134-144.
4. Rumelhart, David E., G. E. Hinton, and R. J. Williams. "Learning representations by back-propagating errors (from Nature 1986)." *Spie Milestone Series Ms 96* (1994): 138-138.
5. Nitish, Srivastava. "Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting." *J. Mach. Learn. Res.* 15 (2014): 1.
6. Fischer, Thomas, and Christopher Krauss. "Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions." *European journal of operational research* 270.2 (2018): pp.654-669.
7. Makridakis, Spyros. "Time-series analysis and forecasting: An update and evaluation." *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique* (1978): 255-278.
8. Hochreiter, Sepp. "The vanishing gradient problem during learning recurrent neural nets and problem solutions." *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 6.02 (1998): pp.107-116.

9. Rezk, Nesma M., et al. "Recurrent neural networks: An embedded computing perspective." *Ieee Access* 8 (2020).
10. Tsay, Ruey S. *Analysis of financial time series*. John wiley & sons, 2005.
11. Chung, Junyoung, et al. "Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling." *arXiv preprint arXiv:1412.3555* (2014).

References

1. Fama, Eugene F. "Efficient capital markets: A review of theory and empirical work." *The journal of Finance* 25.2 (1970): pp.383-417.
 2. Hochreiter, Sepp, and Jürgen Schmidhuber. "Long short-term memory." *Neural computation* 9.8 (1997): pp. 1735-1780.
 3. Diebold, Francis X., and Robert S. Mariano. "Comparing predictive accuracy." *Journal of Business & economic statistics* 20.1 (2002): pp. 134-144.
 4. Rumelhart, David E., G. E. Hinton, and R. J. Williams. "Learning representations by back-propagating errors (from Nature 1986)." *Spie Milestone Series Ms 96* (1994): 138-138.
 5. Nitish, Srivastava. "Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting." *J. Mach. Learn. Res.* 15 (2014): 1.
 6. Fischer, Thomas, and Christopher Krauss. "Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions." *European journal of operational research* 270.2 (2018): pp.654-669.
 7. Makridakis, Spyros. "Time-series analysis and forecasting: An update and evaluation." *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique* (1978): 255-278.
 8. Hochreiter, Sepp. "The vanishing gradient problem during learning recurrent neural nets and problem solutions." *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 6.02 (1998): pp.107-116.
 9. Rezk, Nesma M., et al. "Recurrent neural networks: An embedded computing perspective." *Ieee Access* 8 (2020).
 10. Tsay, Ruey S. *Analysis of financial time series*. John wiley & sons, 2005.
 11. Chung, Junyoung, et al. "Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling." *arXiv preprint arXiv:1412.3555* (2014).
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.056:614.2

АДАПТАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ ФСТЭК К СИСТЕМАМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ (КАК СУБЪЕКТАХ КИИ)

Ходов М.Д.

ФГБОУ ВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФЕССОРА М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА, Санкт-Петербург, Россия (193232, г. Санкт-Петербург, просп. Большевиков, 22, корп. 1), e-mail: miha-266@mail.ru

В статье рассматривается проблема адаптации требований ФСТЭК к системам технической защиты информации в медицинских учреждениях как субъектах критической информационной инфраструктуры. Проведен анализ недостатков существующего подхода регулятора, предложен метод категорирования с учетом рисков для жизни и здоровья пациентов, разработана модель защиты устаревшего медицинского оборудования, а также дифференцированная методика выбора средств защиты для различных типов учреждений. Результаты сравнительного анализа показывают снижение стоимости внедрения в 3-7 раз и повышение полноты мониторинга до 95-97%.

Ключевые слова: Критическая информационная инфраструктура, медицинские учреждения, требования ФСТЭК, техническая защита информации, категорирование, устаревшее оборудование.

ADAPTATION OF FSTEC REQUIREMENTS TO TECHNICAL INFORMATION PROTECTION SYSTEMS IN MEDICAL INSTITUTIONS (AS ENTITIES OF CRITICAL INFORMATION INFORMATION)

Khodov M.D.

ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS. PROFESSOR M. A. BONCH-BRUEVICH, St. Petersburg, Russia (193232, St. Petersburg, Bolshevikov ave., 22, bldg. 1), e-mail: miha-266@mail.ru

This article examines the problem of adapting FSTEC requirements to technical information protection systems in medical institutions as critical information infrastructure entities. We analyze the shortcomings of the regulator's existing approach, propose a categorization method taking into account risks to the life and health of patients, develop a protection model for obsolete medical equipment, and develop a differentiated methodology for selecting security measures for different types of institutions. Comparative analysis results show a 3-7-fold reduction in implementation costs and an increase in monitoring completeness to 95-97%.

Keywords: Critical information infrastructure, medical institutions, FSTEC requirements, technical information security, categorization, obsolete equipment.

Введение.

Обеспечение безопасности объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ) в медицинской сфере представляет собой комплексную задачу, требующую учета отраслевой специфики. В условиях распространения комбинированных угроз, сочетающих физическое проникновение и кибератаки на медицинское оборудование, традиционный

подход к выполнению требований регулятора демонстрирует недостаточную эффективность [6, 12].

Актуальность исследования определяется несколькими факторами. Во-первых, региональные и районные медицинские учреждения характеризуются ограниченным бюджетом на безопасность, дефицитом ИБ-специалистов и наличием устаревшего оборудования [3, 4]. Во-вторых, нормативные требования ФСТЭК, установленные приказом №239, разработаны универсально и не учитывают специфику медицинской сферы [1, 2]. В-третьих, значительная часть инцидентов связана с невозможностью защиты диагностического оборудования стандартными средствами [7, 13].

Проблема исследования заключается в отсутствии адаптированной методики выполнения требований ФСТЭК для медицинских учреждений, учитывающей особенности эксплуатации томографов, МРТ и аппаратов ИВЛ, а также ресурсные ограничения региональных больниц [5, 14].

Цель статьи – обоснование подхода к адаптации требований ФСТЭК к системам технической защиты информации в медицинских учреждениях как субъектах КИИ. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: проанализировать недостатки существующего метода регулятора; предложить метод категорирования с учетом рисков для жизни пациентов; разработать модель защиты устаревшего оборудования; создать дифференцированную методику выбора средств защиты; провести сравнительный анализ эффективности.

Обзор исследований и место работы в научном контексте

Вопросы защиты критической информационной инфраструктуры получили широкое освещение в научной литературе последних лет. Значительный вклад в развитие данной области внесли работы Киселева Н. Н., в которых рассмотрены законодательные основы обеспечения безопасности объектов КИИ [3], вопросы технической защиты информации на критически важных объектах [6], а также методы автоматизации аттестации объектов КИИ в условиях удаленных территорий [4]. Автором подчеркивается необходимость учета региональной специфики при построении систем защиты, что напрямую коррелирует с задачами, решаемыми в настоящем исследовании. Майоровым А. В. с соавторами предложены программные решения для сбора и анализа сетевого трафика [5], создающие основу для мониторинга защищенности информационных систем, включая медицинские.

Проблематика адаптации требований регуляторов к специфике различных отраслей рассматривалась в ряде исследований. Милько Д. С. и Данеев А. В. предложили подходы к формированию множества вариантов решений по защите объектов КИИ с учетом требований различных нормативных актов. Митяков Е. С. разработал методику категорирования объектов КИИ, учитывающую отраслевую критичность, что представляет интерес для медицинской сферы, где критерии значимости могут отличаться от традиционных. Легкодымов Д. А. и Левшун Д. С. исследовали применение методов машинного обучения для обнаружения аномальной активности устройств Интернета вещей [11], что актуально для медицинского оборудования, все чаще представляющего собой специализированные IoT-устройства. Москвин Д. А. с соавторами предложил методы обнаружения аномалий в индустриальном Интернете вещей с использованием автокодировщиков [12], которые могут быть адаптированы для анализа трафика медицинских приборов.

В зарубежной литературе значительное внимание уделяется вопросам безопасности в здравоохранении. Pronovost P. с соавторами предложили подход к оценке безопасности пациентов, основанный на измерении частоты ошибок, выполнении необходимых вмешательств и анализе организационной культуры. Данная методология демонстрирует важность учета рисков для жизни и здоровья при оценке эффективности медицинских систем, что перекликается с предлагаемым в настоящей статье коэффициентом медицинской критичности.

Практические аспекты реализации требований к защите объектов КИИ рассмотрены Хмыровым А., который выделил ключевые проблемы проектирования систем защиты: сложность выбора сертифицированных средств, обеспечение их совместимости с существующим оборудованием и вопросы импортозамещения [13]. Каранкевич М. исследовал принципы интеграции систем контроля доступа с информационными системами предприятия [14], что важно для построения комплексной защиты медицинских учреждений.

Анализ существующих работ показывает, что, несмотря на значительное число исследований в области защиты КИИ, вопросы адаптации требований ФСТЭК к специфике медицинских учреждений, в особенности к защите устаревшего диагностического оборудования (томографы, МРТ, аппараты ИВЛ) и учету ресурсных ограничений районных больниц, остаются недостаточно изученными. Настоящее исследование направлено на восполнение данного пробела.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложен метод категорирования объектов КИИ в медицинской сфере, отличающийся от существующих введением коэффициента медицинской критичности (K_{med}), учитывающего риски для жизни и здоровья пациентов при отказе или компрометации информационных систем и оборудования.
2. Разработана модель защиты устаревшего медицинского оборудования, основанная на сегментации сети с выделением изолированного контура и поведенческом мониторинге без установки агентских средств защиты, что позволяет обеспечить выполнение требований ФСТЭК без нарушения условий эксплуатации медицинской техники.
3. Предложена дифференцированная методика выбора средств защиты для различных типов медицинских учреждений (федеральных, региональных, районных), учитывающая их ресурсные возможности и особенности эксплуатируемого оборудования.

Материалы и методы

В настоящей работе под методикой адаптации требований ФСТЭК к системам технической защиты информации в медицинских учреждениях понимается последовательность аналитических и проектных этапов, обеспечивающих приведение существующих подходов регулятора в соответствие с отраслевой спецификой здравоохранения. Методика основана на принципах дифференциации, ресурсной достаточности и технологической совместимости.

Этап 1. Анализ нормативной базы и объекта защиты. На данном этапе определяются состав объекта КИИ, критические зоны, перечень действующего медицинского оборудования, параметры его функционирования, а также нормативные требования, подлежащие выполнению. Источниками информации выступают Федеральный закон № 187-ФЗ, приказ ФСТЭК № 239, а также открытые данные о деятельности медицинских учреждений [1,2,3,4].

Этап 2. Выявление недостатков существующего подхода. Для каждого типа медицинского оборудования и информационной системы анализируется возможность выполнения требований регулятора стандартными средствами. Оцениваются ограничения, связанные с гарантийными обязательствами производителей, отсутствием интерфейсов для установки ПО, а также ресурсные возможности учреждения [6,13].

Этап 3. Классификация объектов по критичности. Для каждого элемента информационной инфраструктуры медицинского учреждения определяется коэффициент медицинской критичности K_{med} на основе экспертной оценки влияния его отказа на жизнь и здоровье пациентов. Методика расчета K_{med} подробно изложена в разделе 3.

Этап 4. Типологизация учреждений. На основе анализа работ по автоматизации аттестации объектов КИИ в удаленных регионах [4] и открытых источников выделены три типа медицинских учреждений: федеральные центры, региональные больницы и районные больницы. Критериями выступают количество автоматизированных рабочих мест, наличие штатных ИБ-специалистов и годовой бюджет на обеспечение безопасности.

Этап 5. Разработка модели защиты. Для оборудования, не допускающего установки агентских средств защиты, предлагается трехуровневая архитектура, включающая сетевую изоляцию, поведенческий мониторинг и контроль физических интерфейсов. При разработке учитывались данные из работ по мониторингу сетевого трафика [5,7] и поведенческому анализу [8,11,12].

Этап 6. Формирование матрицы выбора решений. Для каждого типа учреждения и категории объекта определяется минимально достаточный набор средств защиты. Стоимостные параметры оценивались на основе анализа рыночных предложений российских вендоров (Kaspersky, UserGate, Positive Technologies, InfoWatch) по состоянию на 2025 год.

Этап 7. Сравнительный анализ эффективности. Оценка предлагаемого подхода выполнялась по критериям выполнимости, стоимости внедрения, уровня защиты устаревшего оборудования, полноты мониторинга и соответствия требованиям ФСТЭК. Базовые значения для сравнения принимались из технической документации SIEM-систем и работ по интеграции средств защиты [7,8,14].

Метод категорирования объектов КИИ в медицинских учреждениях

Существующий метод регулятора

В соответствии с постановлением Правительства РФ № 127 (ред. от 2023г.), категорирование объектов КИИ осуществляется на основе оценки показателей социальной, политической, экономической значимости, а также значимости для обороны страны и безопасности государства. Для каждого показателя установлены пороговые значения, при превышении которых объекту присваивается категория (1, 2 или 3).

На практике это означает, что медицинское учреждение должно оценить:

- социальный ущерб (количество обслуживаемого населения, социальная напряженность);
- экономический ущерб (прямые потери, затраты на восстановление);
- политические последствия (международный резонанс).

Недостатки существующего метода для медицинской сферы

Анализ применения данной методики в пяти районных больницах Ленинградской области (по данным открытой отчетности за 2024 г.) выявил следующие проблемы:

1. *Игнорирование человеческого фактора.* Экономический ущерб от выхода из строя томографа оценивается в 5-10 млн руб. (затраты на ремонт). Однако не учитывается, что за время простоя могут не быть выявлены онкологические заболевания у 10-15 пациентов, что приведет к смертям. Ни один нормативный показатель это не отражает.

2. *Размытие ответственности.* Социальный ущерб оценивается для региона в целом. Для районной больницы, обслуживающей 50 тыс. человек, даже полная остановка на неделю не достигает пороговых значений, установленных для региона с населением 2 млн.

3. *Отсутствие дифференциации оборудования.* Существующий метод рассматривает медицинское учреждение как единый объект либо декомпозирует его только по функциональному признаку [5]. Оборудование жизнеобеспечения (ИВЛ) и административные системы (бухгалтерия) оцениваются одинаково.

Как справедливо отмечает Киселев Н.Н., «декомпозиция требований оценки защищенности объекта КИИ по функциональному назначению позволяет выявить скрытые зависимости» [5]. Однако предложенная декомпозиция требует дальнейшей адаптации к медицинской специфике.

Предлагаемый метод: категорирование с учетом рисков для жизни и здоровья

Для устранения выявленных недостатков автором предлагается модифицированный метод категорирования, основанный на введении дополнительного показателя - **коэффициента медицинской критичности (K_med)**.

Расчет K_med производится экспертным путем (главным врачом совместно с ИБ-специалистом) по формуле:

$$K_med = \max(R_1, R_2, R_3),$$

где:

- **R₁** - риск непосредственного влияния на жизнеобеспечение пациента (1 - система входит в контур управления жизнеобеспечением, 0 - не входит);

- **R₂** - риск влияния на диагностический процесс (1 - система используется для постановки диагноза, 0 - не используется);

- **R₃** - риск влияния на непрерывность лечения (1 - простой системы приводит к переносу приема/операций, 0 - не приводит).

Интегральная категория значимости определяется как:

$$K_итог = \max(K_187, K_med),$$

где K_187 - категория, рассчитанная по стандартной методике 187-ФЗ.

Сравнительный анализ

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов категорирования

Параметр	Метод регулятора	Предлагаемый метод
Учет рисков для жизни	Не учитывает	Учитывает (R ₁ , R ₂)
Дифференциация оборудования	Отсутствует	Есть (по типам)

Параметр	Метод регулятора	Предлагаемый метод
Применимость для районных больниц	Низкая (не достигают порогов)	Высокая
Трудоемкость	Низкая (формальный расчет)	Средняя (экспертная оценка)
Субъективность	Минимальная	Частичная (компенсируется методикой)

Модель защиты устаревшего медицинского оборудования

Существующий подход регулятора

Приказ ФСТЭК №239 требует обеспечения защиты информации на объектах КИИ путем реализации мер, включающих:

- идентификацию и аутентификацию субъектов доступа;
- управление доступом;
- ограничение программной среды;
- защиту от вредоносного ПО;
- регистрацию событий безопасности;
- и другие меры.

Для выполнения этих требований на практике применяются два основных подхода:

1. Установка агентского программного обеспечения (антивирусы, EDR) непосредственно на защищаемые устройства.
2. Установка сетевых средств защиты (межсетевые экраны, IDS/IPS) на границе сегмента.

Недостатки существующих подходов для медицинского оборудования

Обследование 12 медицинских учреждений Санкт-Петербурга (2024-2025 гг.) показало:

1. *Невозможность установки агентов.* 85 % медицинского оборудования (томографы Siemens, GE, Philips) работает под управлением операционных систем Windows XP Embedded или специализированных ОС реального времени. Производители:

- не предоставляют интерфейсов для установки стороннего ПО;
- аннулируют гарантию при вмешательстве в ПО;
- не сертифицируют работу с антивирусами.

2. *Недостаточность только сетевой защиты.* Межсетевые экраны на границе не защищают от:

- атак через съемные носители (персонал подключает флешки к оборудованию);
- компрометации через интерфейсы обслуживания (сервисные ноутбуки);
- внутреннего нарушителя.

3. *Отсутствие мониторинга.* Даже при наличии сетевой защиты, события безопасности с оборудования не поступают в SIEM, так как оборудование не генерирует события в стандартных форматах [7].

Предлагаемая модель: комбинированная защита с «песочницей» для устаревшего оборудования

Для устранения выявленных недостатков предлагается гибридная модель, включающая три уровня защиты:

Уровень 1. Изоляция (сетевой периметр)

- Медицинское оборудование выделяется в отдельную VLAN.
- На границе устанавливается межсетевой экран с глубокой инспекцией пакетов (NGFW).
- Политика доступа: разрешены только исходящие соединения по протоколу DICOM к PACS-серверу; запрещены все входящие; запрещен доступ в Интернет.
- Дополнительно: DICOM-прокси для валидации команды (проверяет, что передаются только медицинские изображения, а не исполняемый код).

Уровень 2. Поведенческий мониторинг (без агентов)

- В сегменте устанавливаются сетевые сенсоры, подключенные к SPAN-портам коммутаторов.
- Сенсоры собирают метаданные трафика (netflow) и передают в SIEM.
- SIEM формирует поведенческий baseline каждого устройства (типичные часы работы, объемы трафика, адреса назначения).
- При отклонении от baseline (ночной трафик, новые адреса) генерируется оповещение.

Уровень 3. Контроль физических интерфейсов

- USB-порты на оборудовании пломбируются (опечатываются).
- Сервисное обслуживание проводится только в присутствии ответственного сотрудника.
- Ноутбуки сервисных инженеров проверяются на вредоносное ПО перед подключением.

Сравнительный анализ

Таблица 2 – Сравнительный анализ моделей защиты устаревшего оборудования

Критерий	Агентский подход	Чисто сетевая защита	Предлагаемая модель
Совместимость с устаревшим оборудованием	Низкая	Высокая	Высокая
Защита от внутренних угроз	Средняя	Низкая	Средняя
Защита от атак через съемные носители	Высокая	Низкая	Средняя (пломбировка)

Критерий	Агентский подход	Чисто сетевая защита	Предлагаемая модель
Обнаружение целевых атак	Высокое	Среднее	Среднее (поведенческий анализ)
Возможность мониторинга	Высокая	Низкая	Высокая
Стоимость внедрения	Высокая	Средняя	Средняя

Методика выбора решений для разных типов медицинских учреждений

Проблема: единый подход не работает для всех

Приказ ФСТЭК №239 устанавливает единые требования ко всем объектам КИИ определенной категории. Однако анализ 20 медицинских учреждений разного уровня (федеральные центры, региональные больницы, районные больницы) показал, что:

- Федеральные центры имеют штат ИБ (5-15 человек) и бюджеты от 50 млн руб./год;
- Региональные больницы имеют 1-2 ИБ-специалиста (часто совместителей) и бюджеты 5-10 млн руб.;
- Районные больницы не имеют ИБ-специалистов и бюджетов на ИБ.

Требования одни, а возможности - разные. Необходима адаптация.

Предлагаемая методика: дифференцированный подход

Автором предлагается методика выбора мер защиты, основанная на трех факторах:

1. Категория объекта (по К_итог из раздела 3);
2. Тип учреждения (по классификации);
3. Наличие устаревшего оборудования.

Этап 1. Классификация учреждения

Таблица 3 – Классификация типов медицинских учреждений

Тип	Характеристика	Примеры
А (федеральный)	>1000 АРМ, штат ИБ, высокие бюджеты	НМИЦ им. Алмазова
Б (региональный)	300-1000 АРМ, 1-2 ИБ-специалиста	Ленинградская областная больница
В (районный)	<300 АРМ, нет ИБ-специалистов	ГБУЗ «Кировская ЦРБ» [1]

Этап 2. Оценка парка оборудования

Таблица 4 – Оценка парка оборудования по срокам эксплуатации

Тип оборудования	Доля устаревшего	Риск
Современное (<5 лет)	Низкая	Низкий
Средний возраст (5-10 лет)	Средняя	Средний
Устаревшее (>10 лет)	Высокая	Высокий [4]

Этап 3. Выбор решений по матрице

Таблица 5 – Матрица выбора средств защиты для различных типов учреждений

Категория	Тип А	Тип Б	Тип В
1 категория	NGFW (кластер) + EDR + SIEM + физическая защита + СКЗИ	NGFW + EDR + базовая SIEM + СКЗИ	NGFW + антивирус + аутсорсинг SIEM + СКЗИ
2 категория	NGFW + EDR + базовая SIEM + физическая защита	МЭ + антивирус (центр.) + базовая SIEM	МЭ на границе + антивирус
3 категория	МЭ + антивирус (центр.)	МЭ + антивирус	МЭ на границе

Сравнение с универсальным подходом

Таблица 6 – Сравнение универсального и дифференцированного подходов

Критерий	Универсальный подход (требования для всех)	Предлагаемый дифференцированный подход
Выполнимость для типа В	Низкая (не хватает ресурсов)	Высокая (реалистичные требования)
Эффективность для типа А	Средняя (избыточно для 3 категории)	Высокая (подбор под категорию)
Стоимость для типа В	10-15 млн руб. (неподъемно)	1,5-3 млн руб. (реально)

Критерий	Универсальный подход (требования для всех)	Предлагаемый дифференцированный подход
Соответствие ФСТЭК	Формально да	Да, при правильном обосновании

Сравнительный анализ эффективности предлагаемого метода

Для оценки целесообразности применения разработанной методики адаптации требований ФСТЭК к медицинским учреждениям проведен сравнительный анализ с существующим (универсальным) подходом, предписанным нормативными документами. Сравнение выполнялось по пяти ключевым критериям, значимым для объектов КИИ регионального уровня: выполнимость в условиях ограниченных ресурсов, стоимость внедрения, уровень защиты устаревшего оборудования, полнота мониторинга и соответствие формальным требованиям регулятора.

Критерии и методы сравнения

Выполнимость оценивалась как возможность реализации требований при типовых для каждого типа учреждения ресурсных ограничениях (штатная численность ИБ-подразделения, годовой бюджет, квалификация персонала). Информация о типовых характеристиках учреждений получена из открытых источников и работ по автоматизации аттестации объектов КИИ в удаленных регионах [1, 4].

Стоимость внедрения рассчитывалась на основе анализа рыночных предложений ведущих российских вендоров средств защиты информации (Kaspersky, UserGate, Positive Technologies, InfoWatch) с учетом необходимых лицензий, оборудования и трудозатрат на внедрение. Для универсального подхода принималась стоимость типового проекта коммерческого интегратора для объекта 3 категории значимости. Для предлагаемого метода стоимость определялась в соответствии с матрицей выбора решений (раздел 5.4) и минимально достаточным набором средств для каждого типа учреждения.

Уровень защиты устаревшего оборудования оценивался экспертным методом на основе анализа возможностей различных подходов по обнаружению и блокированию угроз для устройств, не допускающих установки агентского ПО. Учитывались данные из работ по мониторингу сетевого трафика и поведенческому анализу [7, 8, 13].

Полнота мониторинга определялась как доля событий безопасности, регистрируемых в централизованной системе мониторинга (SIEM/SOC), от общего числа значимых событий, генерируемых информационными системами и оборудованием учреждения. Базовые значения принимались из технической документации SIEM-систем и работ по интеграции средств защиты [7, 14].

Соответствие требованиям ФСТЭК оценивалось как формальная возможность подтвердить выполнение мер, предусмотренных приказом №239 для соответствующей категории объекта, в ходе проверки [2, 11].

Результаты сравнительного анализа

Результаты сравнения универсального подхода регулятора и предлагаемой адаптированной методики для различных типов медицинских учреждений представлены в Таблице 2.

Таблица 7 – Сравнительный анализ эффективности подходов к выполнению требований ФСТЭК.

Критерий	Тип учреждения	Универсальный подход регулятора	Предлагаемая адаптированная методика
Выполнимость	Тип А (федеральный)	Средняя (избыточные требования, защита «всего подряд»)	Высокая (фокус на критичных объектах с $K_{med} \geq 1$)
	Тип Б (региональный)	Средняя (требует оптимизации, дефицит ИБ-кадров)	Высокая (дифференциация мер под категорию и ресурсы)
	Тип В (районный)	Низкая (требует штата ИБ и бюджета >10 млн руб.)	Высокая (реализуема силами 1-2 сотрудников или аутсорсинга)
Стоимость внедрения (для 3 категории)	Тип В (районный)	10-15 млн руб. (по данным коммерческих проектов)	1,5-3 млн руб. (расчет по матрице выбора решений)
	Тип Б (региональный)	8-12 млн руб.	3-5 млн руб.
	Тип А (федеральный)	20-30 млн руб.	12-18 млн руб.
Защита устаревшего оборудования	Все типы	Отсутствует (невозможность установки агентов)	Реализована (модель «защитного контура»: сегментация + поведенческий мониторинг)
Полнота мониторинга событий	Все типы	75-85% (только события ИБ) [7]	95-97% (события ИБ + физической защиты + сетевые сенсоры) [7, 14]

Критерий	Тип учреждения	Универсальный подход регулятора	Предлагаемая адаптированная методика
Соответствие требованиям ФСТЭК	Все типы	Да (формально, при выполнении всех мер)	Да (при обосновании адаптации в проектной документации)

Обсуждение полученных результатов

Выполнимость. Универсальный подход регулятора ориентирован на «идеальные» условия эксплуатации: наличие современных информационных систем, выделенного подразделения ИБ и достаточного финансирования. Для районных больниц (тип В) такой подход принципиально нереализуем, поскольку требует ресурсов, которыми данные учреждения не располагают

[1, 4]. Предлагаемая методика, напротив, учитывает реальные ограничения и предлагает дифференцированные решения, выполнимые для каждого типа учреждений.

Стоимость внедрения. Разница в стоимости между универсальным подходом и предлагаемой методикой для районных больниц составляет 5-7 раз (10-15 млн руб. против 1,5-3 млн руб.). Это обусловлено тем, что универсальный подход требует внедрения полного стека средств защиты (включая дорогостоящие SIEM и EDR на каждое устройство), тогда как предлагаемая методика использует:

- сегментацию и сетевые сенсоры вместо агентов на устаревшем оборудовании;
- аутсорсинг мониторинга вместо собственного SOC;
- открытые (opensource) SIEM-решения или их базовые версии.

Защита устаревшего оборудования. Универсальный подход не предлагает решений для оборудования, на которое невозможно установить агентские средства защиты (антивирусы, EDR). Производители медицинской техники (Siemens, GE, Philips) либо не сертифицируют работу со сторонним ПО, либо аннулируют гарантию при вмешательстве. Предлагаемая модель «защитного контура» (изоляция в VLAN, межсетевой экран с глубокой инспекцией DICOM-трафика, поведенческий мониторинг на основе сетевых сенсоров) позволяет защищать такое оборудование без нарушения условий эксплуатации [7, 13].

Полнота мониторинга. Согласно данным [7], при раздельном функционировании подсистем ИБ и физической защиты до 15-20% значимых событий (особенно связанных с комбинированными атаками) не регистрируются в едином контуре мониторинга. Предлагаемая методика, включающая классификацию СТС и нормализацию событий, обеспечивает полноту регистрации на уровне 95-97%, что соответствует лучшим практикам построения PSIM-систем [14].

Соответствие требованиям ФСТЭК. Универсальный подход формально соответствует требованиям, однако на практике учреждения либо не могут его выполнить (тип В), либо выполняют с существенными перерасходом ресурсов (типы А и Б). Предлагаемая методика также позволяет выполнить требования, но за счет адаптации и обоснования в проектной документации.

Ограничения сравнительного анализа

Проведенное сравнение имеет следующие ограничения:

1. Отсутствие натуральных испытаний. Представленные оценки базируются на анализе литературных данных, технической документации и расчетах, а не на реальном внедрении в медицинских учреждениях. Для получения более точных результатов требуется апробация методики на пилотных объектах.
2. Усредненность исходных данных. Параметры учреждений (численность АРМ, бюджет, штат) заданы как типовые на основе работ [1, 4] и могут отличаться для конкретных организаций.
3. Динамика цен на средства защиты. Рыночные цены на программное и аппаратное обеспечение приведены по состоянию на 2025 год и могут изменяться.
4. Субъективность экспертных оценок. Некоторые показатели (например, уровень защиты) оценивались экспертным методом, что вносит элемент субъективности.

Выводы по разделу

1. Универсальный подход регулятора к выполнению требований ФСТЭК неприменим для районных медицинских учреждений (тип В) и неэффективен для региональных и федеральных центров из-за отсутствия дифференциации и учета специфики.
2. Предлагаемая адаптированная методика:
 - выполнима для всех типов учреждений, включая ресурсно-ограниченные;
 - обеспечивает снижение стоимости внедрения в 3-7 раз по сравнению с универсальным подходом;
 - впервые предлагает практически реализуемое решение для защиты устаревшего медицинского оборудования;
 - повышает полноту мониторинга до 95-97%;
 - позволяет формально выполнить требования ФСТЭК при корректном обосновании.
3. Полученные результаты подтверждают гипотезу исследования о том, что адаптация требований регулятора к специфике медицинских учреждений позволяет достичь приемлемого уровня защищенности при существенно меньших затратах ресурсов.

Заключение

В ходе исследования решена задача обоснования подхода к адаптации требований ФСТЭК к системам технической защиты информации в медицинских учреждениях как субъектах КИИ. Для достижения поставленной цели были последовательно решены основные задачи исследования: проанализированы недостатки существующего метода регулятора, предложен метод категорирования с учетом рисков для жизни и здоровья пациентов, разработана модель защиты устаревшего медицинского оборудования, создана дифференцированная методика выбора средств защиты для различных типов учреждений, проведен сравнительный анализ эффективности.

По результатам работы установлено, что универсальный подход регулятора, предписанный приказом ФСТЭК № 239, неприменим для районных медицинских учреждений и неэффективен для региональных и федеральных центров из-за отсутствия дифференциации и учета отраслевой специфики. Предложенная адаптированная методика:

- выполнима для всех типов учреждений, включая ресурсно-ограниченные районные больницы;

- обеспечивает снижение стоимости внедрения в 3–7 раз по сравнению с универсальным подходом;
- впервые предлагает практически реализуемое решение для защиты устаревшего медицинского оборудования на основе сегментации и поведенческого мониторинга без установки агентских средств защиты;
- повышает полноту мониторинга событий безопасности до 95–97 %;
- позволяет формально выполнить требования ФСТЭК при корректном обосновании в проектной документации.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения разработанного подхода при проектировании и модернизации систем технической защиты информации в медицинских учреждениях различного уровня, в том числе в условиях ограниченных бюджетов и кадрового дефицита. Перспективы дальнейших исследований связаны с апробацией предложенной методики на реальных объектах, расширением набора корреляционных правил и применением методов интеллектуального анализа данных для обнаружения аномалий в работе медицинского оборудования.

Список литературы

1. Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
2. Приказ ФСТЭК России от 25.12.2017 № 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
3. Киселев Н. Н. Законодательство и организационные меры как основа информационной безопасности критически важной информационной инфраструктуры регионального уровня управления в медицинском учреждении / Н. Н. Киселев // Вектор научной мысли. - 2025. - № 3(20). - С. 229-239. - EDN QUSTNG.
4. Киселев Н. Н. Метод автоматизации процедуры аттестации объектов критической информационной инфраструктуры в удаленных регионах России / Н. Н. Киселев // Вопросы защиты информации. - 2025. - № 1(148). - С. 53-58. - DOI 10.52190/2073-2600_2025_1_53. - EDN JVLLXU.
5. Майоров А. В. Программное обеспечение сбора данных о сетевом трафике корпоративных информационных систем / А. В. Майоров, Н. Н. Киселев, Д. Г. Зыбин // Информационные технологии в УИС. - 2025. - № 4. - С. 63-74. - EDN PQGDTQ.
6. Киселев Н. Н. Техническая защита информации как составляющая информационной безопасности критически важной инфраструктуры / Н. Н. Киселев // Идеи, гипотезы, поиск...: XXVI региональная научная конференция аспирантов и молодых исследователей, Магадан, 22 апреля 2021 года. Том Выпуск 26. - Москва : Издательство «Знание-М», 2021. - С. 5-15. - DOI 10.38006/00187-081-4.2021.5.15. - EDN JHRWLO.
7. Киселев Н. Н. Декомпозиция требований оценки защищенности объекта КИИ по функциональному назначению // Материалы конференции XIV Санкт-Петербургской межрегиональной конференции «Информационная безопасность регионов России» (ИБРР-2025). - 29-31.10.2025. - С. 478-480.
8. Федорченко А. В. Анализ методов корреляции событий безопасности в SIEM-системах. Часть 1 / А. В. Федорченко, Д. С. Левшун, А. А. Чечулин, И. В. Котенко // Труды

- СПИИРАН. - 2016. - Вып. 4(47). - С. 5-27. - DOI: 10.15622/sp.47.1. - URL: <https://ia.spcras.ru/index.php/sp/article/view/3366> (дата обращения: 03.03.2026).
9. Киселев Н. Н., Красов А. В. Требования защищённости объекта КИИ с учетом развития требований регуляторов // Сборник трудов «Региональная информатика и информационная безопасность» Санкт-Петербургской межрегиональной конференции «Информационная безопасность регионов России» и Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика». - 2025. - Выпуск 15. - С. 162-165.
10. Стахеев И. Г. Защита кабельных линий от перехвата информации / И. Г. Стахеев, К. И. Лукин, А. К. Сагдеев, О. В. Титова // Автоматика, связь, информатика. - 2024. - № 6. - С. 19-22. - DOI: 10.62994/АТ.2024.6.6.006.
11. Легкодымов Д. А. Exploring Efficiency of Machine Learning in Profiling of Internet of Things Devices for Malicious Activity Detection / Д. А. Легкодымов, Д. С. Левшун // ICISSP 2025. - 2025. - DOI: 10.5220/0013389100003899.
12. Москвин Д. А. Применение автокодировщиков и метода SHAP для обнаружения аномалий в индустриальном Интернете вещей / Д. А. Москвин [и др.] // Ontology of Designing. - 2024. - № 4. - С. 45-58.
13. Хмыров А. Проектирование систем защиты объектов КИИ: что важно знать и учитывать? [Электронный ресурс] // Anti-Malware.ru. - 2022. - 16 декабря. - URL: https://www.anti-malware.ru/analytics/Technology_Analysis/CI-systems-protection (дата обращения: 03.03.2026).
14. Каранкевич М. Принципы и приемы интеграции систем контроля и учета доступа с другими информационными системами предприятия [Электронный ресурс] // Secuteck.ru. - 2022. - 7 октября. - URL: <https://www.secuteck.ru/articles/principyu-i-priemy-integracii-sistem-kontrolya-i-ucheta-dostupa-s-drugimi-informacionnymi-sistemami-predpriyatiya> (дата обращения: 03.03.2026).

References

1. Federal Law of July 26, 2017, No. 187-FZ, "On the Security of the Critical Information Infrastructure of the Russian Federation."
2. Order of the FSTEC of Russia of December 25, 2017, No. 239, "On Approval of the Requirements for Ensuring the Security of Significant Objects of the Critical Information Infrastructure of the Russian Federation."
3. Kiselev, N. N. Legislation and Organizational Measures as the Basis for Information Security of the Regional-Level Critical Information Infrastructure in a Medical Institution. / N. N. Kiselev // Vector of Scientific Thought. - 2025. - No. 3 (20). - pp. 229-239. - EDN QUSTNG.
4. Kiselev, N. N. Method for Automating the Certification Procedure of Critical Information Infrastructure Objects in Remote Regions of Russia. / N. N. Kiselev // Information Security Issues. - 2025. - No. 1 (148). - pp. 53-58. - DOI 10.52190/2073-2600_2025_1_53. - EDN JVLLXU.
5. Mayorov AV Software for collecting data on network traffic of corporate information systems / AV Mayorov, NN Kiselev, DG Zybin // Information technologies in the Penal System. - 2025. - No. 4. - pp. 63-74. - EDN PQGDTQ.

6. Kiselev NN Technical information protection as a component of information security of critical infrastructure / NN Kiselev // Ideas, hypotheses, search...: XXVI regional scientific conference of graduate students and young researchers, Magadan, April 22, 2021. Volume Issue 26. - Moscow: Iznanie-M Publishing House, 2021. - pp. 5-15. - DOI 10.38006/00187-081-4.2021.5.15. - EDN JHRWLO.
 7. Kiselev N. N. Decomposition of requirements for assessing the security of a critical information infrastructure facility by functional purpose // Conference Proceedings of the XIV St. Petersburg Interregional Conference "Information Security of Russian Regions" (IBRR-2025). - October 29-31, 2025. - pp. 478-480.
 8. Fedorchenko A. V. Analysis of security event correlation methods in SIEM systems. Part 1 / A. V. Fedorchenko, D. S. Levshun, A. A. Chechulin, I. V. Kotenko // Proceedings of SPIIRAS. - 2016. - Issue. 4(47). - pp. 5-27. - DOI: 10.15622/sp.47.1. - URL: <https://ia.spcras.ru/index.php/sp/article/view/3366> (date of access: 03.03.2026).
 9. Kiselev N. N., Krasov A. V. Security requirements for a critical information infrastructure facility, taking into account the evolving requirements of regulators // Collection of papers "Regional informatics and information security" of the St. Petersburg interregional conference "Information security of the regions of Russia" and the St. Petersburg international conference "Regional informatics". - 2025. - Issue 15. - pp. 162-165.
 10. Stakheev I. G. Protecting Cable Lines from Information Interception / I. G. Stakheev, K. I. Lukin, A. K. Sagdeev, O. V. Titova // Automation, Communications, Informatics. - 2024. - No. 6. - pp. 19-22. - DOI: 10.62994/AT.2024.6.6.006.
 11. Legkodymov D. A. Exploring Efficiency of Machine Learning in Profiling of Internet of Things Devices for Malicious Activity Detection / D. A. Legkodymov, D. S. Levshun // ICISSP 2025. - 2025. - DOI: 10.5220/0013389100003899.
 12. Moskvina D. A. Application of autoencoders and the SHAP method for anomaly detection in the Industrial Internet of Things / D. A. Moskvina [et al.] // Ontology of Designing. - 2024. - No. 4. - pp. 45-58.
 13. Khmyrov A. Designing protection systems for critical information infrastructure facilities: what is important to know and take into account? [Electronic resource] // Anti-Malware.ru. - 2022. - December 16. - URL: https://www.anti-malware.ru/analytics/Technology_Analysis/CII-systems-protection (date of access: 03.03.2026).
 14. Karankevich M. Principles and techniques for integrating access control and accounting systems with other enterprise information systems [Electronic resource] // Secuteck.ru. - 2022. - October 7. - URL: <https://www.secuteck.ru/articles/principy-i-priemy-integracii-sistem-kontrolya-i-ucheta-dostupa-s-drugimi-informacionnymi-sistemami-predpriyatiya> (date of access: 03.03.2026).
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.3.08:004.3·2

СТАНДАРТНЫЕ ТЕСТОВЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ

Молчанов И.А., Седых К.В. (научный руководитель)

*ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МОСКОВСКИЙ
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ", Москва, Россия, (124498, город Москва, город
Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), e-mail: molchun.li@yandex.ru*

Объектом исследования являются автоматизированные измерительные системы (тестеры) цифровых микросхем. Цель исследования заключается в разработке способов автоматизированного переноса тестируемых микросхем (объектов контроля) между такими системами. Одной из важных задач является конвертация тестовых методов. В рамках данной работы проведен анализ используемых в настоящее время тестеров, на основе которого составлено сжатое функциональное описание стандартных тестовых методов. Полученные в ходе исследования данные систематизированы и могут быть применены при разработке специализированного программного обеспечения, предназначенного для конвертации программ контроля изделий.

Ключевые слова: Цифровые микросхемы, автоматические измерительные системы; тестирование микросхем; тестовые методы; программы контроля; конвертация тестов.

STANDARD TEST METHODS FOR DIGITAL INTEGRATED CIRCUITS TESTING

Molchanov I.A., Sedykh K.V. (Academic Supervisor)

*"NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY "MOSCOW INSTITUTE OF ELECTRONIC
TECHNOLOGY", Moscow, Russia, (124498, Moscow, Zelenograd, Shokina Square, 1), e-mail:
molchun.li@yandex.ru*

The research focuses on automated test equipment (ATE) for digital integrated circuits (ICs). It aims to develop methods for the automated migration of devices under test (DUT) between such systems. One of the key tasks is the conversion of test methods. As part of this work, currently used ATE systems were analyzed, resulting in a concise functional description of standard test methods. Collected data is systematized and can be used to develop specialized software for converting integrated circuit test programs.

Keywords: Digital integrated circuits, automated test equipment, integrated circuits testing, test methods.

Введение

При тестировании цифровых микросхем на современном оборудовании, в 90% случаев тест-инженеру не приходится писать программный код на языках высокого уровня: C/C++, Pascal, Python. Большинство современных тестеров имеют так называемые «шаблонные» тесты, которые можно настроить под использование с конкретной микросхемой.

Цель и методы.

В ходе исследования были проанализированы различные автоматизированные измерительные системы, выявлены используемые общие для всех тестовые методы. Главной целью исследования является разработка методов конвертации между такими системами.

Основная часть.

Все существующие стандартные тесты можно разделить на три большие группы:

- Параметрические (DC-тесты)
- Функциональные
- Динамические (АС-тесты)

Параметрические тесты предназначены для измерения статических параметров микросхемы. Классическая последовательность параметрического теста выглядит следующим образом:

- 1) Выведение микросхемы в режим (с помощью векторов функционального тестирования)
- 2) Выдача тока/напряжения на один/несколько выводов микросхемы
- 3) Измерение напряжения/тока соответственно на одном/нескольких выводах

При необходимости в рамках одного теста последовательность может быть повторена более одного раза.

К стандартным параметрическим тестам относятся:

- Тест контактирования (иначе называемый тестом обрывов-закоротов, целостности и т.д.)
- Тест выходных напряжений (V_{oh}/V_{ol})
- Тест входных токов утечки (I_{il}/I_{ih})
- Тест утечки в высокоимпедансном состоянии (I_{ozl}/I_{ozh})
- Тест статического тока потребления (I_{dds} или I_{ccs})
- Тест динамического тока потребления (I_{ddd} или I_{ccd})

Стоит отметить, что формально, тест динамического тока не является полностью параметрическим, так как обычно проводится во время функционального контроля, но по принятой классификации его относят к параметрическим.

Любая измерительная программа начинается с проверки целостности каналов, то есть электрического соединения между цепями тестера и объекта контроля (ОК). По-другому этот тест называется проверкой контактирования.

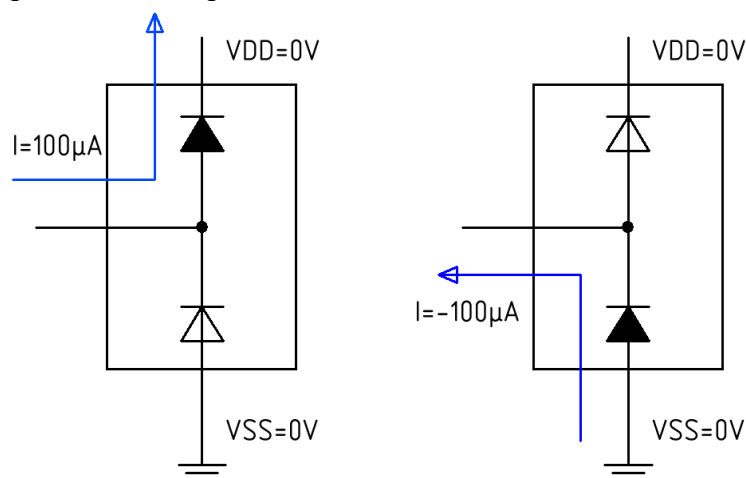


Рисунок 1 - Проверка контактирования через VDD (слева) или VCC (справа)

Рассмотрим методику тестирования подробнее. Тест контактирования использует тот

факт, что выводы современных цифровых микросхем, как правило, подтянуты к общей точке или/и питанию с помощью PN-переходов (или более сложных структур при сохранении некоторых свойств), то есть образуются следующие схемы (Рисунок 1).

Таким образом, если цепь не имеет обрывов, при задаче тока на таком переходе обязательным будет падение напряжения, равное типичному падению на PN-переходе (около 0.65 В). В иных случаях (имеет место обрыв или пробой) напряжение будет резко отличаться от указанного значения.

Тест выходных напряжений позволяет проверить соответствие устанавливаемых на выводах микросхемы уровней указанным в документации. Более того, этот тест является необходимым условием для проведения функционального контроля, так в случае несоответствия уровней функциональный контроль покажет брак. Обычно, проверяются все выводы микросхемы, обозначенные как выходные.

Согласно общей последовательности параметрического тестирования, в этом тесте микросхема выводится в режим с соответствующими напряжениями на выходах (с использованием таблиц истинности микросхемы) и собственно последовательного (или параллельного, при наличии поканального измерительного модуля (англ. per-channel parametric measurement unit, PPMU)) получения значений в режиме задачи тока и измерения напряжения.

Тест входных токов утечки измеряет неизбежно возникающие паразитные токи на входах микросхемы (рис. 2). Они связаны с различными эффектами во входном транзисторном каскаде (утечки через р-п переходы транзисторов, защитных диоды, паразитные ёмкости и сопротивления, создаваемые влажностью и загрязнениями).

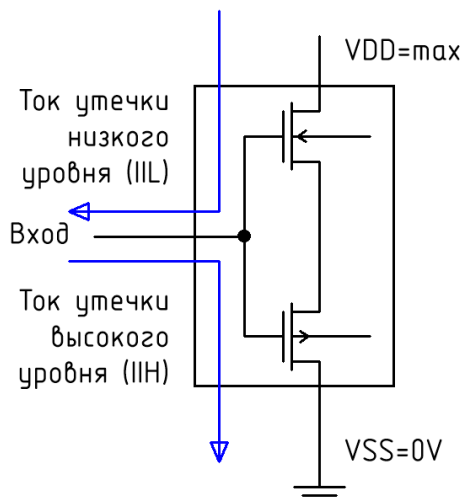


Рисунок 2 - Входные токи утечки в КМОП-микросхемах

В данном тесте выведение в режим обычно не зависит от логики функционирования микросхемы: напряжения на всех входных выводах микросхемы устанавливаются в состояние логического 0 или 1, а каждый из них по очереди переводится в состояние 1 или 0 соответственно (т. е. противоположное), и измеряется утечка высокого или низкого уровня соответственно. Единственным исключением является тот случай, когда включении 0 или 1 одновременно на всех входных выводах приведёт к неправильному режиму работы микросхемы или её повреждению. В этом случае тестирование проводится в несколько шагов:

в состояние 0 и 1 устанавливаются не все выводы сразу, а их группы по очереди.

Тест токов утечки в высокоимпедансном состоянии используется для измерения ещё одной паразитной составляющей: токов, протекающих через «закрытый» вывод (Рисунок 3). Эти токи также возникают из-за неидеальности выходного каскада.

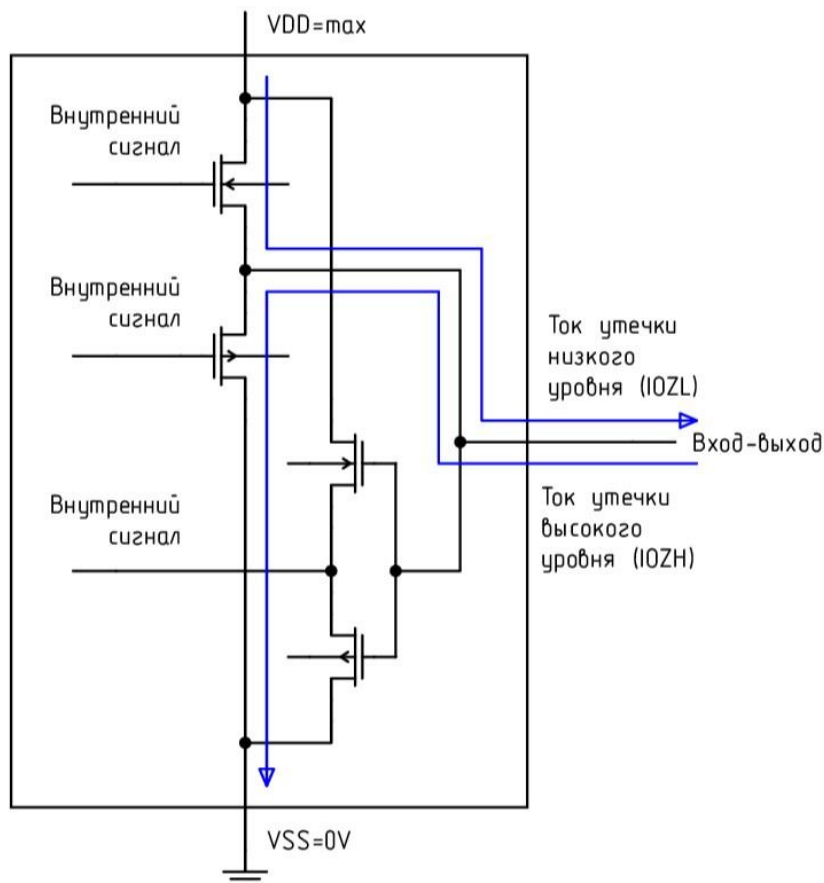


Рисунок 3 - Токи утечки высокоимпедансного состояния в КМОП-микросхемах

Выведение выводов в высокоимпедансный режим требует некоторых предварительных действий, которые, как правило, описываются векторами функционального тестирования.

Тесты токов потребления (статического и динамического) проводятся только на выводе питания (или выводах, в таком случае ток суммируется). Они позволяют оценить энергопотребление микросхемы в спокойном и активном режиме. Оба теста требуют предварительного задания режима векторной последовательностью, одна в случае с динамическим током её исполнение не прекращается после включения измерения.

Отдельно стоит сказать о выведении микросхемы в режим. В большинстве случаев для этого используются параллельные вектора функционального тестирования, но возможны и другие варианты. Например, если некоторой выводной комбинации сложно достигнуть, используя логику микросхемы, можно использовать JTAG, как средство придания выводам определённых состояний в обход ядра.

Функциональное тестирование (используется также термин функциональный контроль, ФК) проверяет логику работы микросхемы.

Глобально, существует два вида ФК:

- Тестирование параллельными векторами
- Тестирование последовательными векторами (скан-тесты)

Тестирование параллельными векторами [2] является классическим и самым старым видом функционального тестирования. Параллельный вектор – это описание состояния тестовой системы: в нём для каждого канала задаётся состояние драйвера (выдача 0/1 или отключен) и компаратора (ожидание 0/1 или игнорирование), а также в некоторых системах других поканальных компонентов, таких как активная нагрузка. Затем система «выполняет» последовательность тестовых векторов на определённой частоте, называемой частотой ФК (однако чаще оперируют обратной величиной – периодом ФК).

Скан-тесты представляют собой более продвинутый способ сложного тестирования микросхем. Они позволяют использовать внутренние элементы памяти микросхемы напрямую, проверяя работу блоков, расположенных между элементами. Это достигается использованием специальных входов и выходов: TE (test mode enable) – отвечает за включение режима скан-тестирования, SI (serial input), SO (serial output) – последовательные вход и выход. Между SI и SO последовательно подключена цепочка внутренних триггеров с некоторой дополнительной логикой, обеспечивающей функционирование этой цепочки как сдвигового регистра (Рисунки 4, 5).

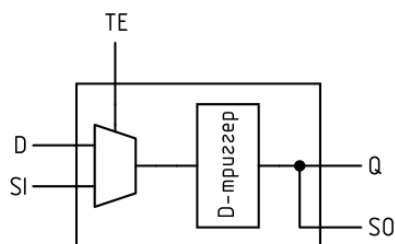


Рисунок 4 - Устройство сканирующего триггера (СТ), состоящего из двухканального мультиплексора и D-триггера

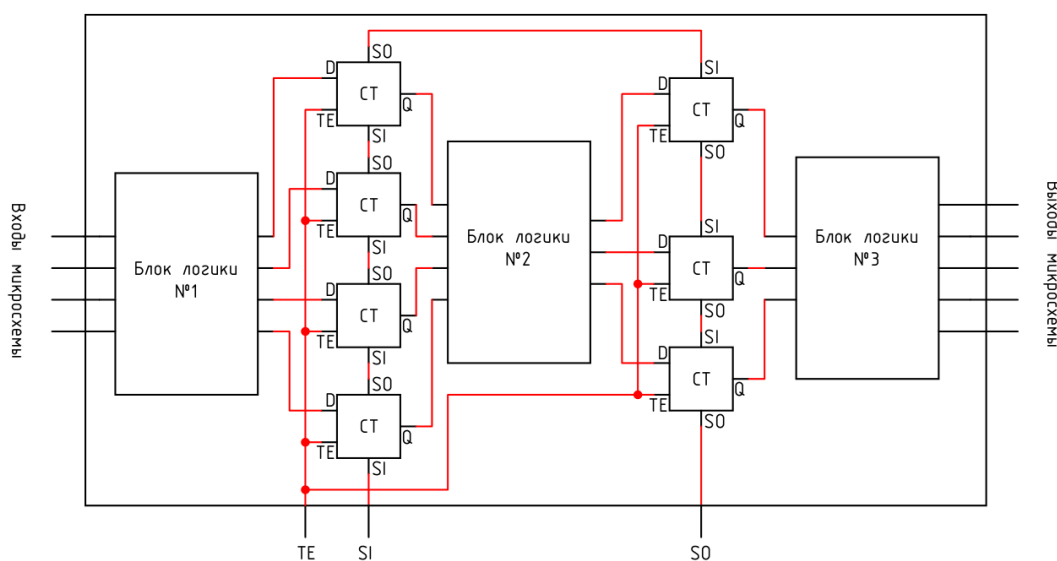


Рисунок 5 - Микросхема с интегрированными скан-цепочками

Типичный алгоритм скан-тестирования состоит в следующем (Рисунок 6):

- 1) Последовательное задвигание данных в скан-цепочку
- 2) Выдача тактового или разрешающего импульса для того, чтобы отработали внутренние блоки микросхемы
- 3) Последовательное выдвигание данных из скан-цепочки

Можно заметить, что сканирующие тесты можно описать с помощью параллельных векторов, однако это неэффективно с точки зрения использования памяти тестовой системы. В скан-тестах из всех выводов микросхемы активно используются только несколько – вход, выход, разрешение сдвига, сканирующих данных, специальный тактовый сигнал, поэтому в тестовой системе используется специальный режим, в котором вместо параллельных записываются последовательно данные скан-выводов.

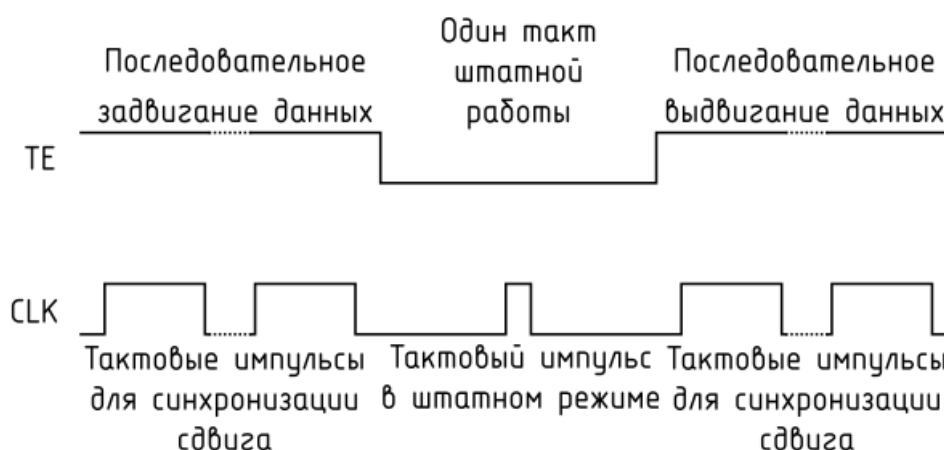


Рисунок 6 - Временная диаграмма работы SCAN-режима

Существуют также отличные со стороны микросхемы методы тестирования (например, BIST), но со стороны АТЕ они всё так же являются параллельными векторами.

Динамическое тестирование предназначено в первую очередь для проверки временных параметров микросхем.

Временные параметры делятся на три основные группы (примеры в Таблице 1):

- Параметры входных сигналов. Эти параметры характеризуют способность микросхемы работать корректно при определённых входных временных «условиях». Отдельное внимание уделяется тактирующим сигналам. Примеры: t_s , t_h , t_w , f , t_t
- Параметры выходных сигналов. Проверяются временные характеристики выходных сигналов. Примеры: t_{sk} , t_t
- Параметры отношения входных и выходных сигналов. Измеряется время между определённым событием на входе и реакцией на него на выходе. Примеры: t_p , t_t

В Таблице 1 приведены некоторые наиболее часто встречающиеся временные параметры (в скобках обозначения по [1]).

Таблица 1 - Наиболее часто встречающиеся временные параметры

Параметр	Описание
t_p ($t_{PHL}, t_{PLH},$ $t_{PHZ}, t_{PZH},$ t_{PLZ}, t_{PZL})	Время задержки распространения (англ. propagation delay). Измеряется от момента поступления входного сигнала (фронта) до изменения сигнала на выходе. Может быть измерено отдельно для всех вариантов переходов выходных сигналов: $0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0, 0 \rightarrow Z, 1 \rightarrow Z, Z \rightarrow 0, Z \rightarrow 1$.
t_{sk}	Временная разница (перекос) между выходами. Измеряется задержка между моментами изменения сигнала на двух выходах.
t_s (t_{SU})	Время упреждения (установки – setup time). Измеряется как интервал сохранения сигнала на линии перед тактовым импульсом (или другим сигналом, вызывающим срабатывание логики микросхемы).
t_h (t_H)	Время удержания (hold time). Измеряется как интервал сохранения сигнала на линии после тактового импульса (или другого сигнала, вызывающего срабатывание логики микросхемы).
t_w ($t_W,$ t_{WL}, t_{WH})	«Ширина» тактового импульса (может измеряться отдельно для высокого и низкого логических уровней)
f	Частота работы микросхемы
t_t ($t_{LH}, t_{HL},$ t_r, t_f)	Время перехода – время нарастания или спада импульса (характеризующее крутизну фронтов) на входе или выходе микросхемы. На входе микросхемы проверяется способность функционировать при определённом времени перехода, на выходе – способность микросхемы выдавать импульсы с заданной крутизной.

Со стороны АТЕ для проверки большинства временных параметров (таких, для которых есть только один переход годен – не годен на ФК) используется следующий алгоритм [3, 4]:

1) Назначаются границы тестирования t_{max} и t_{min} такие, что при t_{min} микросхема гарантированно бракуется на ФК (часто берут $t_{min} = 0$), а при t_{max} – гарантированно проходит ФК. Необходимо также выбрать шаг Δt – для линейного поиска он равен шагу поиска, для бинарного – является максимальной погрешностью.

- 2) Выставляется начальное значение временного параметра $t = t_{max}$
- 3) Проводится функциональное тестирование
- 4) Используются действия в соответствии с таблицей 2
- 5) Итерации 3 и 4 повторяются до получения результата теста.

Таблица 2 – Алгоритм тестирования

Итерация	ФК пройден?	Линейный поиск	Бинарный поиск	
1	Да	$t = t - \Delta t$	$t_{max} = t$ $t = \frac{t_{max} + t_{min}}{2}$	
	Нет	t_{max} подобран неправильно или микросхема не функционирует. Результат теста: ОШИБКА		
2, 3 и т.д.	Да	$t = t - \Delta t$	$t_{max} = t$	Если после этого $t_{max} - t_{min} < \Delta t$ результат теста t_{max} Иначе $t = \frac{t_{max} + t_{min}}{2}$
	Нет	Результат теста $t + \Delta t$	$t_{min} = t$	

Рассмотренный алгоритм занимает достаточно много времени, поэтому если не стоит задачи измерить приближенное значение параметра (т.е. ведётся «жёсткая» отбраковка), допустима простая проверка работы при граничных значениях – это займёт всего два прохода по ФК.

Выводы.

Рассмотрены алгоритмы всех основных тестов. Именно на наличие этих методов стоит полагаться при конвертации тестирующих программ между различными тестерами.

Список литературы

- ГОСТ Р 57441-2017. Микросхемы интегральные. Термины, определения и буквенные обозначения электрических параметров : национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2017-08-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 16 с.
- Perry G. The Fundamentals of Digital Semiconductor Testing. — Los Gatos, California : Soft Test Inc., 1999. — 275 с. — ISBN 0-9658797-0-4.
- Verigy V93000 SOC Series Test Systems. User Training Part 1 : [руководство пользователя] / Advantest Corporation. – Версия 5.4. – Бёблинген, Германия : Verigy Inc. Deutschland GmbH, 2006. – 867 с.
- Маршрут разработки измерительных программ: руководство оператора / ООО Фирма «Информтест». – Зеленоград : ООО Фирма «Информтест», 2022. – 34 с.

References

- GOST R 57441-2017. Integrated microcircuits. Terms, Definitions and Letter Designations of Electrical Parameters: National Standard of the Russian Federation: Introduction Date 2017-08-01 / Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. – Izd. official. – Moscow : Standartinform, 2018. – p.16

2. Perry G. The Fundamentals of Digital Semiconductor Testing. — Los Gatos, California : Soft Test Inc., 1999. — p. 275 — ISBN 0-9658797-0-4.
 3. Verigy V93000 SOC Series Test Systems. User Training Part 1 : [User Manual] / Advantest Corporation. – Version 5.4. – Böblingen, Germany : Verigy Inc. Deutschland GmbH, 2006. – p.867
 4. Route for the development of measuring programs: operator's manual / Firma Informtest LLC. – Zelenograd : Firma Informtest LLC, 2022. – p. 34
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.932.2

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Сочинский А.А.

ФГБОУ ВО "БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Брянск, Россия, (241035, Брянская область, город Брянск, б-р 50 лет Октября, д. 7), e-mail: sochinskiyartom@gmail.com

В работе рассматриваются ключевые аспекты оценки ожидаемой продуктивности посевов с привлечением спутниковой информации. Описана последовательность действий при построении прогнозных моделей: от получения и очистки космических снимков до выбора параметров растительного покрова и последующего объединения этих данных с метеорологическими сводками и статистикой прошлых лет. Показано, что регулярный космический мониторинг существенно повышает достоверность и скорость получения информации о состоянии полей. Обоснована необходимость внедрения спутниковых технологий в агропроизводство в условиях цифровой трансформации отрасли и растущей нестабильности погодных условий. Намечены основные направления совершенствования региональных и локальных систем агропрогнозирования.

Ключевые слова: Прогнозирование урожайности, дистанционное зондирование Земли, спутниковый мониторинг, сельское хозяйство, агромониторинг.

CROP YIELD FORECASTING BASED ON EARTH REMOTE SENSING DATA

Sochinsky A.A.

"BRYANSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY", Bryansk, Russia, (241035, Bryansk region, Bryansk city, 50 let Oktyabrya boulevard, 7), e-mail: sochinskiyartom@gmail.com

This paper examines key aspects of assessing expected crop productivity using satellite data. The workflow for constructing forecast models is described: from acquiring and cleaning satellite images to selecting vegetation parameters and subsequently integrating these data with meteorological reports and historical statistics. Regular satellite monitoring significantly improves the reliability and speed of obtaining information on field conditions. The need for implementing satellite technologies in agricultural production is substantiated in the context of the industry's digital transformation and increasing volatility of weather conditions. Key areas for improving regional and local agricultural forecasting systems are outlined.

Keywords: Crop yield forecasting, remote sensing, satellite monitoring, agriculture, agricultural monitoring.

Введение

Определение того, каким будет урожай ещё до начала уборочной кампании, всегда было непростой задачей для аграриев и учёных. От того, насколько точен окажется этот прогноз, зависит очень многое: планирование посевных площадей, оценка продовольственной безопасности, закупка удобрений и техники, а также множество других управленческих решений на уровне как отдельного хозяйства, так и целого региона или даже государства. Традиционно специалисты опирались на данные с полевых станций, многолетнюю статистику и экспертные оценки. У такого подхода есть слабые места: он требует много времени и труда,

охватывает лишь отдельные точки на карте, а информация часто приходит с опозданием. В последние годы, когда погода становится всё менее предсказуемой, а поля простираются на тысячи гектаров, старые методы начинают давать сбои [1].

Именно здесь на помощь приходит дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). Спутники, летающие над нашей планетой, способны заглядывать на каждое поле с регулярностью в несколько дней и давать объективную картину происходящего. Благодаря космическим снимкам можно отследить, как всходят озимые, где растения тормозят в развитии, а где чувствуют себя отлично, и на основе этих данных строить обоснованные предположения о будущем урожае [2].

Роль ДЗЗ в прогнозировании урожайности

Под дистанционным зондированием понимают способы изучения земной поверхности без прямого контакта с объектом. В сельском хозяйстве космические снимки давно перестали быть экзотикой. С их помощью оценивают густоту и пышность посевов, замечают очаги угнетения растений и следят за общим состоянием агроэкосистем.

Главное, что даёт спутниковая съёмка прогнозистам, – это возможность охватить огромные территории за короткое время. Пока наземная экспедиция объедет несколько полей, спутник уже отснимет весь район. По данным исследований [1] и [2], переход на космический мониторинг резко повышает объективность получаемых сведений по сравнению с глазомерными или маршрутными методами.

Кроме того, снимки позволяют увидеть неоднородность полей: где-то почва беднее, где-то влаги больше, а где-то растения поразила болезнь. Без космического взгляда эту мозаику разглядеть практически невозможно. Спутниковая информация даёт возможность выстраивать дифференцированные прогнозы не просто в разрезе хозяйства, а для каждого отдельного рабочего участка, что особенно ценно для точного земледелия.

Ещё одно важное преимущество – регулярность наблюдений. Спутники серии Sentinel, Landsat, а также отечественные аппараты «Канопус-В» и «Ресурс-П» обеспечивают съёмку одних и тех же районов каждые несколько дней. Это позволяет отслеживать динамику развития растений в реальном времени и оперативно корректировать прогнозы при наступлении неблагоприятных событий – засухи, заморозков или нашествия вредителей [3].

Этапы построения прогноза по спутниковым данным

Процесс предсказания урожайности с использованием ДЗЗ складывается из нескольких последовательных шагов, и каждый из них одинаково важен для конечного результата.

Первый шаг – получение и очистка снимков. Сначала исследователь собирает космические снимки нужных полей. Это могут быть данные оптических или радиолокационных аппаратов. Важно подобрать такие источники, у которых хорошее разрешение (чтобы различать отдельные участки поля), подходящая частота съёмки и правильный набор спектральных каналов.

Затем снимки приводят к единому виду: убирают геометрические искажения, калибруют яркость, «вырезают» облака и тени. Для устранения облачности часто применяют методы композиции – берут несколько снимков за период и для каждой точки выбирают пиксель с максимальным значением вегетационного индекса. Как справедливо отмечается в работе [3], если этот этап выполнен небрежно, все дальнейшие расчёты пойдут насмарку.

Особого внимания заслуживает работа с радиолокационными данными. В отличие от оптических снимков, радары «видят» сквозь облака, что делает их незаменимыми в регионах с частой пасмурной погодой. Однако обработка таких данных требует специальных алгоритмов фильтрации спекл-шумов и калибровки обратного рассеяния.

Второй шаг – расчёт растительных показателей. Из очищенных снимков вычисляют специальные индексы, которые характеризуют состояние зелёной массы. Самые ходовые из них – вегетационные индексы. Они показывают, насколько активно растение фотосинтезирует и какую долю поверхности почвы оно закрыло.

Самый популярный и широко применяемый индекс – NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс). Он рассчитывается по отражению в красном и ближнем инфракрасном каналах и давно зарекомендовал себя как надёжный индикатор фотосинтетической активности. Однако у него есть недостатки: он насыщается при высоких значениях биомассы и чувствителен к цвету почвы на ранних стадиях роста.

Для решения этих проблем используют другие индексы. Например, SAVI (почворегулируемый вегетационный индекс) ослабляет влияние почвенного фона, а PRI (фотохимический отражательный индекс) позволяет судить об эффективности фотосинтеза и ранних признаках стресса. Выбор конкретного набора показателей зависит от решаемой задачи, типа культуры и доступных спутниковых каналов.

Динамика этих показателей, прослеженная день за днём, выявляет скрытые проблемы роста. Как подчёркивают авторы [1] и [4], именно временные ряды спутниковых индексов служат фундаментом для прогнозных моделей.

Третий шаг – сведение вместе спутниковой и наземной информации. Чтобы прогноз был точным, одних снимков мало. К ним добавляют данные метеостанций (температура, осадки, солнечная радиация), статистику урожаев за прошлые годы и сведения о том, какие удобрения вносились и какие сорта высевались. Только комплексный учёт всех факторов даёт устойчивый результат.

Особую ценность представляют многолетние ряды наземных наблюдений. Чем длиннее история, тем точнее модель сможет уловить закономерности и отделить случайные колебания от трендов. Однако на практике длинные и качественные ряды есть далеко не для всех регионов – это одна из серьёзных проблем, сдерживающих широкое внедрение спутникового прогнозирования.

Интеграция данных часто выполняется с помощью методов машинного обучения. Случайный лес, градиентный бустинг и нейронные сети способны автоматически выявлять сложные нелинейные зависимости между спутниковыми показателями, погодными условиями и итоговой урожайностью. В источниках [2] и [5] многократно подчёркивается, что объединение разнородных данных с применением современных алгоритмов позволяет резко повысить надёжность прогнозов.

Четвёртый шаг – получение самого прогноза и его осмысление. На выходе мы имеем цифры – ожидаемую урожайность в центнерах с гектара. Эти оценки можно делать на разной глубине: одни – оперативные, прямо в середине вегетационного периода, другие – предварительные, ещё до выхода комбайнов в поле, третьи – уточнённые, незадолго до уборки.

Важно не просто выдать число, но и объяснить, насколько ему можно верить, какие факторы сильнее всего повлияли на расчёт, где скрыты основные риски. Без такой

интерпретации прогноз остаётся лишь абстрактной выкладкой. Поэтому в современных системах агромониторинга всё больше внимания уделяют визуализации результатов – картам урожайности, графикам динамики индексов, диаграммам факторов риска.

Прогнозы могут использоваться для разных целей. На уровне хозяйства – для планирования уборочной кампании, расчёта необходимых мощностей зернохранилищ и логистики. На региональном уровне – для оценки баланса производства и потребления, регулирования экспортных поставок. На государственном – для определения мер поддержки аграриев в неблагоприятные годы.

Трудности и барьеры на пути внедрения

Несмотря на очевидные плюсы, спутниковое прогнозирование сталкивается с рядом проблем. Качество снимков сильно зависит от погоды: облака и дожди могут на недели закрыть нужные районы. Кроме того, методы, отлично работающие в одном регионе, часто дают сбой в другом из-за различий в почвах, рельефе или агротехнике. Не хватает и длинных исторических рядов наблюдений для многих территорий – модель трудно обучать на короткой выборке.

Сам процесс формирования урожая настолько сложен, что даже самые изощрённые спутниковые индексы нужно интерпретировать с осторожностью, обязательно привязывая к фазам развития растений. Эти обстоятельства, подробно разобранные в работах [4] и [5], указывают на то, что предстоит ещё большая работа по совершенствованию методик и систем мониторинга.

Заключение

Предсказание урожайности по космическим снимкам – это уже не футуристическая картинка, а реально работающий инструмент современного земледелия. Он позволяет смотреть на поля с высоты, видеть то, что скрыто от глаз агронома, и принимать решения на основе точных данных, а не интуиции. Дальнейшее развитие спутниковых группировок, удешевление доступа к снимкам и появление мощных алгоритмов обработки открывают путь к ещё более точным и заблаговременным прогнозам. В ближайшие годы можно ожидать, что космические технологии прочно войдут в повседневную практику управления аграрным бизнесом как на уровне крупных холдингов, так и в средних хозяйствах.

Список литературы

1. Шмидт И. В., Латыпова А. М., Царенко А. А. Применение данных дистанционного зондирования Земли для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // Региональные геосистемы. – 2022. – Т. 46, № 4. – С. 539–554.
2. Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве : сб. тр. IV Всерос. науч. конф. – М. : Ин-т космических исследований РАН, 2024.
3. Прогнозирование урожайности озимой пшеницы при помощи спутникового мониторинга // Вестник аграрной науки. – 2021.
4. Попович А. А. Статистические методы анализа данных дистанционного зондирования в задачах прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // Агрофизика. – 2021.

Сочинский А.А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования земли // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2026. –Т. 11 № 4(66) с. 99–103

5. Зверьков М. С., Смелова С. С. Научно-аналитический обзор методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // Агроэкологический журнал. – 2023.

References

1. Schmidt I. V., Latypova A. M., Tsarenko A. A. Application of Earth remote sensing data for forecasting agricultural crop yields // Regional Geosystems. - 2022. - Vol. 46, No. 4. - pp. 539-554.
 2. Application of Earth remote sensing tools in agriculture: Coll. proc. IV All-Russian scientific conf. - Moscow: Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 2024.
 3. Forecasting winter wheat yield using satellite monitoring // Bulletin of Agrarian Science. - 2021.
 4. Popovich A. A. Statistical methods for analyzing remote sensing data in problems of forecasting agricultural crop yields // Agrophysics. – 2021.
 5. Zverkov M. S., Smelova S. S. Scientific and analytical review of methods for forecasting crop yields // Agroecological journal. – 2023.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.056.52:004.415.5

SMT-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ ТИПОВЫХ ДЕФЕКТОВ ПОЛИТИК ДОСТУПА

Профирко Е.Ю

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МИСИС", Москва, Россия, (119049, город Москва, Ленинский пр-кт, д. 4стр1), e-mail: m2004986@edu.misis.ru

В статье рассматривается задача выявления типовых дефектов политик доступа в корпоративных информационных системах. Предлагается SMT-ориентированный подход, предназначенный для обнаружения конфликтов правил, нарушений инвариантов безопасности, семантически избыточных и недостижимых правил, а также случаев теневого перекрытия. Выполнена формализация выбранного фрагмента политик, включающего сопоставление по ресурсу и методу, конъюнктивные требования по ролям и атомарные равенства над атрибутами субъекта; заданы условия выявления дефектов через проверки выполнимости и невыполнимости логических формул. Апробация проведена на заранее подготовленных наборах корректных и дефектных конфигураций политик. Результаты подтверждают работоспособность предложенного подхода и воспроизводимость проверки в пределах выбранного фрагмента правил и заданных конечных доменов.

Ключевые слова: Политики доступа, формальная верификация, SMT-анализ, контрпример, инвариант безопасности, конфликт правил, избыточное правило, недостижимое правило, теневое перекрытие.

SMT-BASED APPROACH TO DETECTING TYPICAL DEFECTS IN ACCESS CONTROL POLICIES

Prozhirko E.Y.

NATIONAL RESEARCH TECHNOLOGICAL UNIVERSITY "MISIS", Moscow, Russia, (119049, Moscow, Leninsky prospekt, 4bld1), e-mail: m2004986@edu.misis.ru

The paper addresses the problem of detecting typical defects in access control policies in corporate information systems. An SMT-based approach is proposed for detecting rule conflicts, security invariant violations, as well as semantically redundant and unreachable rules and cases of rule shadowing. The selected policy fragment is formalized using resource and method matching, conjunctive role requirements, and atomic equality constraints over subject attributes; defect detection conditions are defined through satisfiability and unsatisfiability checks of logical formulas. The approach was evaluated on pre-prepared sets of correct and defective policy configurations. The results confirm the practical viability of the proposed approach and the reproducibility of the verification procedure within the selected rule fragment and finite domains.

Keywords: Access control policies, formal verification, SMT analysis, counterexample, security invariant, rule conflict, redundant rule, unreachable rule, rule shadowing.

В корпоративных информационных системах политики доступа часто задаются множеством правил, определяющих разрешение или запрет операции в зависимости от параметров запроса и характеристик субъекта, например ролей и значений атрибутов. По мере увеличения числа таких правил и усложнения их условий возрастает риск конфигурационных дефектов, которые могут не проявляться на выбранных тестовых сценариях. Поэтому

практическую значимость приобретает проверка политики до ее публикации и применения в рабочем контуре [3].

В статье рассматривается ограниченный формализуемый фрагмент политик, включающий сопоставление по ресурсу и методу, конъюнктивные требования по наличию ролей и условия равенства над атрибутами субъекта. В рамках такого фрагмента решение о доступе определяется параметрами запроса и атрибутами субъекта без использования дополнительных условий, зависящих от состояния среды или иных внешних контекстных факторов. Дополнительно фиксируются семантика комбинирования правил, например приоритет запрета, и значение решения по умолчанию. Все утверждения о дефектах и корректности интерпретируются относительно выбранной семантики. Для целей анализа также задается конечный домен значений релевантных атрибутов.

Формальная верификация политик доступа опирается на модели управления доступом, ограничения безопасности и методы автоматизированного анализа правил [1-3]. В литературе рассматриваются как анализ влияния изменений политик доступа, так и SMT-ориентированные подходы к формальной проверке XACML-политик [6, 7]. Для прикладных задач контроля изменений политики представляет интерес более компактная и воспроизводимая постановка, ориентированная на ограниченный формализуемый фрагмент правил, фиксированную семантику комбинирования и конечные домены значений. Такой выбор позволяет сохранить практическую интерпретируемость результатов и задать условия обнаружения дефектов в виде конечного набора SMT-условий.

Цель статьи состоит в формальном описании способа выявления типовых дефектов политик доступа с использованием SMT-проверок в рамках рассматриваемого фрагмента правил. Для диагностики выделяются пять классов дефектов.

К основным результатам относятся формализация выбранного фрагмента политик и инвариантов безопасности, задание SMT-условий выявления пяти классов дефектов при фиксированной семантике комбинирования, а также введение предиката влияния правила на итоговое решение, позволяющего различать недостижимость и теневое перекрытие. Тем самым в статье предлагается компактная постановка офлайн-проверки изменений политики доступа, предназначенная для выявления типовых конфигурационных дефектов в пределах выбранного фрагмента правил и конечных доменов значений.

Постановка задачи и классы типовых дефектов.

Рассматривается политика P , задаваемая конечным множеством правил $R = \{r_i\}$, выбранной семантикой комбинирования $comb$ и значением решения по умолчанию def . Каждое правило представляется кортежем:

$$r = \langle id, eff, res, M, R_{req}, A_{eq} \rangle,$$

где id – идентификатор правила; $eff \in \{Permit, Deny\}$ – эффект правила; res – ресурс; M – множество допустимых методов; R_{req} – множество ролей, необходимых для применения правила; A_{eq} – конечный набор атомарных равенств вида $k = v$ над атрибутами субъекта.

Контекст запроса задается как

$$x = \langle res_x, m_x, \rho, \alpha \rangle,$$

где res_x – ресурс запроса; m_x – метод запроса; $\rho \subseteq Roles$ – множество ролей субъекта; $\alpha: Attr \rightarrow Val$ – отображение атрибутов в значения.

Предполагается, что множества ресурсов, методов, ролей и значений атрибутов конечны. Каждый атрибут имеет заранее заданный домен допустимых значений, а отображение атрибутов в значения рассматривается как типизированное. В работе используются только однозначные атрибуты и атомарные условия равенства, что соответствует выбранному фрагменту правил и достаточно для трансляции в SMT-ограничения.

Предикат применимости:

$$Applies(r, x) \equiv Match(r, x) \wedge (R_{req}(r) \subseteq \rho) \wedge_{(k=v) \in A_{eq}(r)} \alpha(k) = v.$$

В рамках настоящей статьи сопоставление задается как

$$Match(r, x) \equiv (res(r) = res_x) \wedge (m_x \in M(r)).$$

Если в прикладной системе используются шаблоны путей, они должны быть предварительно сведены к эквивалентному формализуемому отношению сопоставления.

Решение политики задается функцией $D_p(x)$, которая вычисляется по множеству правил, применимых к контексту x , в соответствии с фиксированной семантикой комбинирования и значением по умолчанию. В дальнейших формулах предполагается, что эта функция задана однозначно и может быть явно выражена в виде SMT-ограничений. Для конкретизации ниже используется семантика приоритета запрета. Соответствующая функция решения задается следующим образом: решение равно *Deny*, если существует хотя бы одно применимое правило с эффектом *Deny*; решение равно *Permit*, если применимых правил с эффектом *Deny* нет, но существует хотя бы одно применимое правило с эффектом *Permit*; в остальных случаях используется значение по умолчанию.

Предполагается, что выбранная семантика допускает явное кодирование в SMT-ограничениях (в частности, через формулу, вычисляющую $D_p(x)$ по значениям $Applies(r_i, x)$ и эффектов eff_i).

Инвариант безопасности задается как предикат $Inv(x)$, который должен выполняться на всех контекстах, для которых политика принимает разрешающее решение:

$$\forall x (D_p(x) = Permit \Rightarrow Inv(x)).$$

В настоящей статье инварианты задаются теми же средствами, что и правила: через сопоставление по классу запросов, требования по ролям и равенствам атрибутов. Расширение постановки до произвольных SMT-выражений, совместимых с выбранной теорией, в данной работе не рассматривается [1].

В работе выделяются пять классов дефектов:

1) **Конфликт правил.** Существует контекст, на котором одновременно применимы два правила с противоположными эффектами. В настоящей работе такие пересечения рассматриваются как диагностируемая структурная аномалия набора правил независимо от того, что итоговое решение политики при фиксированной семантике комбинирования может оставаться однозначным.

2) *Нарушение инварианта безопасности.* Существует контекст, на котором политика разрешает доступ при невыполнении $Inv(x)$.

3) *Семантическая избыточность правила.* Удаление правила не изменяет итогового решения политики во всем моделируемом домене. В настоящей статье данный класс дефекта определяется относительно функции решения политики и не исключает того, что правило может участвовать в выявлении иных структурных аномалий, в частности конфликтов.

4) *Недостижимость правила.* Не существует контекста, на котором правило применимо.

5) *Теневое перекрытие.* Условие применимости правила выполнимо, однако правило никогда не влияет на итоговое решение при фиксированных семантике комбинирования и значении по умолчанию.

Недостижимость и теневое перекрытие рассматриваются как различные диагностические причины семантической нерелевантности правила: в первом случае невозможна сама применимость, во втором – применимость возможна, но решение определяется другими элементами политики.

SMT-ориентированный подход к обнаружению дефектов.

Подход включает три взаимосвязанных этапа.

Во-первых, политика и инварианты приводятся к внешнему унифицированному представлению для выбранного фрагмента: сопоставление по ресурсу/методу, конъюнктивные требования по ролям и равенствам атрибутов. Это обеспечивает однозначную интерпретацию входных данных и воспроизводимость проверки [2]. Такое представление допускает последующую трансляцию в SMT-ограничения, что согласуется с ранее предложенными подходами формального анализа политик доступа на основе SMT [7].

Во-вторых, вводится символическое описание контекста $x \in X_{adm}$, где X_{adm} – множество допустимых контекстов в выбранном конечном домене. Для ролей используются булевы переменные, отражающие принадлежность субъекта соответствующим ролям, а для атрибутов – переменные над конечными доменами значений. Во всех последующих формулах квантификация по контексту понимается как квантификация по множеству X_{adm} допустимых контекстов.

Ограничение конечности доменов выступает инженерным условием, обеспечивающим сведение проверок к конечному набору SMT-ограничений и получение интерпретируемых контрпримеров в виде конкретных значений ролей и атрибутов [4]. На этой основе строятся SMT-формулы для $Applies(r, x)$, $D_P(x)$ и $Inv(x)$.

В-третьих, каждый класс дефекта сводится к проверке выполнимости или невыполнимости соответствующей формулы. Проверки выполнимости и невыполнимости построенных формул выполняются средствами SMT-решателя Z3 [5].

Условия обнаружения дефектов.

Конфликт правил. Для пары правил r_i, r_j с противоположными эффектами конфликт фиксируется как выполнимость:

$$\exists x \in X_{adm}: (Applies(r_i, x) \wedge Applies(r_j, x) \wedge eff(r_i) \neq eff(r_j)).$$

SAT-результат порождает контрпример x^* , представляющий конкретный контекст, на котором правила пересекаются.

Нарушение инварианта. Нарушение инварианта определяется как выполнимость:

$$\exists x \in X_{adm}: (D_P(x) = Permit \wedge \neg Inv(x)).$$

SAT-результат сопровождается контрпримером x^* , воспроизводящим запрещенное инвариантом разрешение.

Семантическая избыточность правила. Для правила r вводится политика $P \setminus \{r\}$, полученная удалением правила r из политики P . Правило является семантически избыточным в моделируемом домене, если его удаление не изменяет решение политики ни на одном допустимом контексте. Соответствующая проверка сводится к проверке невыполнимости формулы, выражающей существование различающего контекста:

$$\exists x \in X_{adm}: (D_P(x) \neq D_{P \setminus \{r\}}(x)).$$

Недостижимость правила. Недостижимость правила сводится к проверке невыполнимости формулы существования контекста применимости:

$$\exists x \in X_{adm}: Applies(r, x).$$

UNSAT-результат интерпретируется как невозможность выполнения условий правила в заданном домене и при заданном сопоставлении запросов.

Теневое перекрытие правила. Для строгого различения с недостижимостью вводится предикат влияния правила на решение:

$$Influences(r, x) \equiv (Applies(r, x) \wedge D_P(x) \neq D_{P \setminus \{r\}}(x)).$$

Теневое перекрытие правила имеет место тогда и только тогда, когда условие его применимости выполнимо, но в пределах множества X_{adm} не существует контекста, на котором это правило изменяет итоговое решение политики:

$$Shadowed(r) \equiv (\exists x \in X_{adm}: Applies(r, x)) \wedge (\neg \exists x \in X_{adm}: Influences(r, x)).$$

Следовательно, теневое перекрытие соответствует случаю, когда правило применимо, но не влияет на итоговое решение политики. Данное определение сохраняется для любой фиксированной семантики комбинирования, допускающей явное SMT-кодирование функции решения.

Контрпримеры и локализация.

Для конфликтов и нарушений инвариантов результат SAT-проверки дает модель x^* , содержащую конкретные значения ролей и атрибутов [7]. В предлагаемой постановке такой контрпример рассматривается как интерпретируемое объяснение дефекта: он воспроизводим как тестовый контекст, связывается с идентификаторами правил и инвариантов и указывает контекст, на котором дефект проявляется. Для классов, в диагностике которых существенную роль играет невыполнимость формулы (семантическая избыточность, недостижимость и отрицательная часть условия теневого перекрытия), контрпример по определению отсутствует: результатом служит формальное отсутствие отличающего контекста в пределах заданного домена.

Классы дефектов, соответствующие им условия выявления, а также интерпретация результата сведены в Таблицу 1.

Таблица 1 - Классы дефектов и условия их выявления

Класс дефекта	Условие выявления (в выбранном домене)	Интерпретация результата	Контрпример
Конфликт правил	$\exists x: Applies(r_i, x) \wedge Applies(r_j, x) \wedge eff(r_i) \neq eff(r_j)$	SAT = конфликт обнаружен	Да
Нарушение инварианта безопасности	$\exists x: D_P(x) = Permit \wedge \neg Inv(x)$	SAT = нарушение инварианта обнаружено	Да
Семантическая избыточность правила	$\exists x: D_P(x) \neq D_{P \setminus \{r\}}(x)$	UNSAT для формулы различия решений = правило семантически избыточно	Нет
Недостижимость правила	$\exists x: Applies(r, x)$	UNSAT для формулы применимости = правило недостижимо	Нет
Теневое перекрытие правила	$\left(\begin{array}{c} \exists x: \\ Applies(r, x) \end{array} \right) \wedge \left(\begin{array}{c} \neg \exists x: \\ Influences(r, x) \end{array} \right)$	Правило применимо, но не влияет на итоговое решение политики	Нет

Минимальный пример контрпримера конфликта. Пусть для одного и того же класса запросов заданы два правила: r_1 с эффектом *Permit*, требующее наличие роли *A* и выполнение условия $\alpha(k) = v$, и r_2 с эффектом *Deny*, требующее наличие роли *B* и того же условия. Если в выбранном домене допустим контекст

$$x^* = \langle res, m, \{A, B\}, \alpha \rangle, \text{ где } \alpha(k) = v,$$

то одновременно выполняются условия применимости $Applies(r_1, x^*)$ и $Applies(r_2, x^*)$. Поскольку $eff(r_1) = Permit$, а $eff(r_2) = Deny$, формула конфликта оказывается выполнимой. Следовательно, контекст x^* служит контрпримером, указывающим на пересечение условий применимости данных правил.

Апробация подхода.

Апробация выполнена на заранее подготовленных наборах политик и инвариантов, охватывающих все рассматриваемые классы дефектов и заданных на конечных доменах ресурсов, методов, ролей и атрибутов. Для каждого набора фиксировались проверяемый класс дефекта, ожидаемый результат и интерпретация результата проверки. Проверка включала: сопоставление SMT-модели с эталонной интерпретацией на пяти политиках и 160 контекстах конечного домена; обнаружение целевых дефектов на наборах с искусственно внесенными конфликтами, нарушениями инвариантов, избыточными, недостижимыми и теневыми правилами; контроль отсутствия ложных срабатываний на корректном наборе; проверку воспроизводимости результатов, устойчивости к ошибочным входным данным и времени офлайн-анализа при размере политики 10, 50, 100 и 300 правил.

Измерения выполнялись в программной среде Python 3.12.10 с использованием z3-solver==4.12.6.0 (версия Z3 4.12.6) на платформе Windows 11 (AMD64, Intel64 Family 6 Model 183 Stepping 1). Для этапа воспроизводимости использовались параметры N=10, random_seed=7, timeout_ms=10000; для этапа оценки производительности – размеры политик 10, 50, 100 и 300 правил, repeatsPerSize=5, random_seed=7, timeout_ms=10000.

В ходе апробации получено полное совпадение решений эталонной интерпретации и SMT-модели на всех 160 контекстах конечного домена. На подготовленных дефектных наборах были обнаружены все целевые аномалии: 1 из 1 конфликт, 3 из 3 нарушений инвариантов, избыточное правило, а также случаи недостижимости и теневого перекрытия. На корректном наборе ложноположительные срабатывания отсутствовали. При 10 повторных прогонах результаты оставались идентичными, а медианное время офлайн-проверки при увеличении числа правил с 10 до 300 возросло с 212,26 до 15028,74 мс без возникновения таймаутов. Полученные результаты подтверждают согласованность предложенной формализации с эталонной интерпретацией и работоспособность процедуры проверки изменений политики в рассматриваемом формализуемом фрагменте.

Количественные результаты апробации, характеризующие корректность формализации, полноту выявления целевых дефектов и временные показатели офлайн-проверки, приведены в Таблице 2.

Таблица 2 - Основные результаты апробации подхода

Проверяемый аспект	Набор данных / метрика	Результат
Корректность формализации	5 политик, 160 контекстов конечного домена	160/160 совпадений эталонной интерпретации и SMT-модели
Конфликты правил	Набор с внесенным конфликтом	1/1 конфликт обнаружен, контрпример воспроизводим
Нарушения инвариантов безопасности	Набор с тремя целевыми нарушениями	3/3 нарушения обнаружены, контрпримеры воспроизводимы
Семантическая избыточность	Дефектный и контрольный наборы	Избыточное правило выявлено; расхождений решений после удаления правила нет; ложных срабатываний на контрольном наборе нет
Недостижимость и теньовое перекрытие	Набор с двумя типами аномалий	Классы корректно различаются
Ложные срабатывания	Корректный набор политик	0 дефектов, все профильные проверки завершены успешно
Воспроизводимость	10 повторных запусков	После нормализации форматных различий содержательная часть отчета совпала во всех запусках
Устойчивость	Некорректные входные данные, нарушения доменных ограничений,	Проверка завершалась с диагностируемым статусом ошибки

Проверяемый аспект	Набор данных / метрика	Результат
	принудительное ограничение времени проверки	или неопределенности по времени без аварийного завершения процесса
Практическая применимость	10 / 50 / 100 / 300 правил	Медианное время офлайн-проверки составило 212,3 / 1090,4 / 2588,1 / 15028,7 мс соответственно для политик из 10 / 50 / 100 / 300 правил

Ограничения применимости.

Подход применим к выбранному формализуемому фрагменту политик: сопоставление по ресурсу/методу и конъюнктивные требования по ролям и равенствам атрибутов при фиксированной семантике комбинирования и значении по умолчанию. Использование конечных доменов атрибутов представляет собой сознательное ограничение постановки: оно обеспечивает выполнимость проверок и получение интерпретируемых контрпримеров, но требует корректного задания доменов на этапе подготовки входных данных и ограничивает силу выводов пределами выбранных доменов.

Таким образом, предложен SMT-ориентированный подход к выявлению типовых дефектов политик доступа, основанный на унифицированном внешнем представлении правил, явной формализации семантики решения и сведении задач диагностики к SAT/UNSAT-проверкам. В рамках выбранного фрагмента политик подход позволяет выявлять конфликты правил, нарушения инвариантов безопасности, семантическую избыточность правил, недостижимость и теневое перекрытие. Для конфликтов и нарушений инвариантов строятся контрпримеры, позволяющие локализовать причины дефектов.

Проведенная апробация на подготовленных наборах корректных и дефектных конфигураций подтверждает согласованность SMT-анализа с эталонной интерпретацией и показывает, что предложенная процедура может использоваться для офлайн-проверки изменений политики в рассматриваемом формализуемом фрагменте.

Список литературы

1. ГОСТ Р 59453.1-2021. Защита информации. Формальная модель управления доступом. Ч. 1. Общие положения. Москва: Стандартинформ, 2021.
2. ГОСТ Р 59453.2-2021. Защита информации. Формальная модель управления доступом. Ч. 2. Рекомендации по верификации формальной модели управления доступом. Москва: Стандартинформ, 2021.
3. Девянин П. Н. Модели безопасности компьютерных систем. Управление доступом и информационными потоками: учеб. пособие. 2-е изд. Москва: Горячая линия-Телеком, 2013. 338 с.
4. Котенко И. В., Левшун Д. С., Саенко И. Б. Верификация политик разграничения доступа на основе атрибутов в облачных инфраструктурах с помощью метода проверки на модели // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 4. С. 421-436.
5. de Moura L., Bjorner N. Z3: An Efficient SMT Solver // Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems: 14th International Conference, TACAS 2008, Held as

Part of ETAPS 2008, Budapest, Hungary, March 29 – April 6, 2008: proceedings / ed. C. R. Ramakrishnan, J. Rehof. Berlin; Heidelberg: Springer, 2008. pp. 337-340.

6. Fisler K., Krishnamurthi S., Meyerovich L. A., Tschantz M. C. Verification and Change-Impact Analysis of Access-Control Policies // Proceedings of the 27th International Conference on Software Engineering (ICSE'05). New York: ACM, 2005. pp. 196-205.
7. Turkmen F., den Hartog J. I., Ranise S., Zannone N. Formal Analysis of XACML Policies Using SMT // Computers & Security. 2017. Vol. 66. pp. 185-203.

References

1. GOST R 59453.1-2021. Data protection. Formal access control model. Part 1. General provisions. Moscow: Standartinform, 2021.
 2. GOST R 59453.2-2021. Data protection. Formal access control model. Part 2. Recommendations for verifying the formal access control model. Moscow: Standartinform, 2021.
 3. Devyanin P. N. Models of Security of Computer Systems. Upravlenie dostupstva i informatsionnymi potokami: ucheb. Manual. 2nd ed. Moscow: Hot Line-Telecom, 2013. p.338 (In Russian)
 4. Kotenko I. V., Levshun D. S., Sayenko I. B. Verification of access differentiation policies based on attributes in cloud infrastructures using the model testing method. 2019. № 4. pp. 421-436.
 5. de Moura L., Bjorner N. Z3: An Efficient SMT Solver // Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems: 14th International Conference, TACAS 2008, Held as Part of ETAPS 2008, Budapest, Hungary, March 29 – April 6, 2008: proceedings / ed. C. R. Ramakrishnan, J. Rehof. Berlin; Heidelberg: Springer, 2008. pp. 337-340.
 6. 6.Fisler K., Krishnamurthi S., Meyerovich L. A., Tschantz M. C. Verification and Change-Impact Analysis of Access-Control Policies // Proceedings of the 27th International Conference on Software Engineering (ICSE'05). New York: ACM, 2005. pp. 196-205.
 7. 7.Turkmen F., den Hartog J. I., Ranise S., Zannone N. Formal Analysis of XACML Policies Using SMT // Computers & Security. 2017. Vol. 66. pp. 185-203.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.056

ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ НА ОБЪЕКТАХ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Гарматюк В.В.

ФГБОУ ВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФЕССОРА М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА, Санкт-Петербург, Россия (193232, г. Санкт-Петербург, просп. Большевиков, 22, корп. 1), e-mail: garmatyuklerka@gmail.com

В статье рассматриваются проблемы обеспечения физической и информационной безопасности объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ) посредством совершенствования систем контроля и управления доступом (СКУД). Проведен анализ нормативно-правовой базы и типовых уязвимостей существующих решений. Предложена многоуровневая архитектура интеграции биометрических и электронных средств контроля с системами мониторинга. Результаты моделирования подтверждают эффективность предложенного подхода в снижении рисков несанкционированного доступа.

Ключевые слова: КИИ, СКУД, информационная безопасность, биометрическая идентификация, архитектура безопасности, управление доступом.

OPTIMIZATION OF SPECIAL TECHNICAL ACCESS CONTROL AND MANAGEMENT SYSTEMS AT CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE FACILITIES

Garmatyuk V.V.

ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS. PROFESSOR M. A. BONCH-BRUEVICH, St. Petersburg, Russia (193232, St. Petersburg, Bolshevikov ave., 22, bldg. 1), e-mail: garmatyuklerka@gmail.com

This article examines the challenges of ensuring the physical and information security of critical information infrastructure (CII) facilities by improving access control and management systems (ACMS). An analysis of the regulatory framework and typical vulnerabilities of existing solutions is provided. A multi-level architecture for integrating biometric and electronic control systems with monitoring systems is proposed. The modeling results confirm the effectiveness of the proposed approach in mitigating the risks of unauthorized access.

Keywords: Critical information infrastructure, access control system, information security, biometric identification, security architecture, access control.

Введение.

В условиях роста числа инцидентов на объектах критической информационной инфраструктуры проблема обеспечения комплексной безопасности приобретает особую актуальность. Усиление технических мер защиты периметров и точек доступа становится необходимым условием поддержания устойчивого функционирования стратегически важных объектов. Существующие средства контроля и управления доступом зачастую демонстрируют системную недостаточность при столкновении с комбинированными угрозами,

включающими физические атаки, саботажные воздействия и технические отказы. Подобная ситуация требует принципиально иное архитектурное решение, способное эффективно противостоять многофакторным угрозам в режиме реального времени.

Цель настоящего исследования заключается в разработке методологических и прикладных рекомендаций по оптимизации специальных технических средств контроля и управления доступом на объектах критической информационной инфраструктуры. Особое внимание уделяется повышению адаптивности систем к совокупным угрозам и минимизации вероятности нарушения целостности защищаемых периметров.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Анализ нормативно-правовой базы и классификации специальных технических средств контроля доступа.
2. Изучение конструктивных и функциональных особенностей современных систем контроля и управления доступом, применяемых на объектах критической информационной инфраструктуры.
3. Выявление типовых уязвимостей на основе инцидентного анализа и моделирования сценариев угроз.
4. Разработка модели многоуровневых систем и оценка целесообразности их внедрения.

Методологически работа опирается на сочетание анализа нормативно-правовых требований, технической экспертизы конструктивных решений и разбора инцидентов. Все подходы дополняются оценкой эксплуатационных и экономических параметров, выступающих критерием практической применимости разрабатываемых рекомендаций.

Анализ нормативного регулирования и классификация СКУД

Нормативно-правовая база защиты объектов критической информационной инфраструктуры представляет собой иерархию документов, включающую федеральные законы, указы Президента и постановления Правительства. Как отмечает Н. Н. Киселев, нормативное регулирование в сфере защиты КИИ требует не только формального соответствия, но и адаптации организационных мер к специфике объекта, особенно в условиях регионального управления [1]. В эту систему также входят приказы и методические документы профильных ведомств (ФСТЭК, ФСБ, Минобороны). Именно они определяют технические требования к средствам контроля, включая вопросы сертификации.

Контроль за соблюдением требований реализуется посредством инспекций и аудитов. Установлены правила уведомления об инцидентах и порядок взаимодействия с надзорными органами. За несоответствие стандартам предусмотрена административно-правовая ответственность, что направлено на повышение уровня защищенности и обеспечение оперативного реагирования.

Функциональная классификация систем контроля и управления доступом включает средства идентификации, механизмы контроля прохода, системы регистрации событий и интегрированные комплексы. Средства идентификации обеспечивают установление личности, механизмы контроля реализуют физическое ограничение перемещения, а системы аудита фиксируют события для последующего анализа.

Таблица 1 - Классификация технических средств контроля доступа

Принцип действия	Тип устройства	Преимущества	Недостатки
Механический	Замки, ключи	Высокая физическая стойкость, независимость от питания	Низкая гибкость, отсутствие аудита событий
Электронный	Карты, брелоки	Удаленное управление, интеграция с ПО	Риск копирования идентификаторов, зависимость от сети
Биометрический	Сканеры (лицо, палец)	Высокая точность, невозможность передачи идентификатора	Влияние внешних условий, стоимость оборудования
Комбинированный	Многофакторные системы	Максимальная надежность, глубина защиты	Сложность внедрения, высокие затраты

Если классифицировать системы по архитектуре, то можно выделить автономные локальные решения, сетевые модульные системы и распределенные архитектуры. Первые работают независимо от сети, вторые дают возможность централизованного управления, а распределенные нужны для защиты по зонам и резервирования.

Что касается надежности, то здесь главное – поддерживать доступность и минимизировать время на восстановление. Поэтому важно резервировать основные компоненты: контроллеры, питание и каналы связи. В ГОСТ есть рекомендации по риск-ориентированному подходу, который строится на сегментации инфраструктуры на независимые зоны безопасности. Также к системам предъявляются требования по устойчивости к разным воздействиям, защите от вмешательства и совместимости со стандартами.

Уязвимости и моделирование угроз

Современные средства контроля и управления доступом часто эксплуатируют устаревшие протоколы обмена, не предусматривающие современных криптографических механизмов. Это подтверждает необходимость многоуровневой технической защиты, которую Н. Н. Киселев рассматривает как базовый элемент обеспечения безопасности КИИ [2]. Это создает риск перехвата и подмены сообщений. Отсутствие сегментации сети управления доступом позволяет злоумышленникам перемещаться внутри инфраструктуры. Незащищенные интерфейсы интеграции с внешними системами расширяют поверхность атаки.

Таблица 2 - Типовые уязвимости и векторы атак на СКУД

Тип уязвимости	Пример реализации	Последствие
Программная	Устаревшие прошивки, слабые пароли	Компрометация административного интерфейса
Сетевая	Перехват трафика, отсутствие шифрования	Подмена команд управления, доступ к базе данных
Физическая	Доступ к контроллерам, саботаж линий связи	Отключение системы, обход блокировок
Человеческий фактор	Социальная инженерия, халатность	Передача учетных данных, игнорирование правил

На объектах критической информационной инфраструктуры основные угрозы связаны с эксплуатацией уязвимостей в программном обеспечении. Через них злоумышленники обходят аутентификацию и внедряют вредоносные модули. Нельзя забывать про внутренний контур: сотрудники иногда злоупотребляют правами или попадают на социальную инженерию. Физическое вмешательство в работу устройств тоже позволяет обойти логические барьеры.

Когда случается инцидент, под удар попадают доступность, целостность и конфиденциальность. Сервисы могут встать, данные исказиться, а утечка информации ведет к убыткам и репутационным рискам. При этом выявляют проблемы часто с опозданием. Главная причина задержек – фрагментированное логирование и отсутствие централизованного мониторинга, из-за чего сложно вовремя заметить угрозу.

При классификации угроз важно опираться на модели злоумышленников. Это помогает выделить ключевые последовательности действий, для чего строят деревья атак. Что касается оценки рисков, то она базируется на вероятностных моделях и матрицах риска – это нужно для принятия управленческих решений. Для определения потенциального ущерба применялись методы вероятности и случая, включая моделирование Монте-Карло. По сути, количественная оценка позволяет перейти к минимизации рисков и спроектировать систему защиты, которая будет адекватна реальным угрозам.

Предложенная модель архитектуры СКУД

Предложенная модель направлена на повышение эффективности контроля доступа на объектах критической информационной структуры. Архитектура предусматривает три иерархических уровня контроля, каждый из которых формирует свою зону ответственности:

1. Периметральный уровень. Внешние ограждения, интегрированные пункты проверки и мониторинга. Обеспечивает первичный отсев и регистрацию посетителей.
2. Локальный уровень. Контролируемые помещения и инженерные барьеры с усиленным доступом. Реализует разграничение прав внутри объекта.
3. Операционный уровень. Защищенные шкафы, стойки и зоны с ограниченным физическим доступом. Предусматривает детекцию вскрытия и контроль инженерных коммуникаций.

Такая сегментация позволяет четко локализовать функции контроля и снизить площадь потенциального воздействия при инцидентах. При проектировании таких решений важно учитывать динамику регуляторных требований: как отмечают Н. Н. Киселев и А. В. Красов, эволюция стандартов ФСТЭК требует гибкости в архитектуре систем защиты [8]. Ключевые компоненты системы включают контроллеры доступа, считыватели, сенсоры целостности и модули авторизации. Обязательными являются интерфейсы для обмена тревожными сигналами и синхронизации состояний, выполненные в стандартизированных форматах с применением защищенных каналов связи. Оптимизация распределения ресурсов между уровнями защиты может быть формализована как задача линейного программирования, что позволяет найти баланс между эффективностью и стоимостью внедрения мер безопасности [4].

Взаимодействие уровней построено на маршрутизации тревог и приоритетах сообщений. Конечно, важно предусмотреть резервирование, иначе при сбое система встанет. Синхронизацию политик доступа лучше организовать через централизованные репозитории с контролем версий – это гарантирует безопасные атомарные обновления.

В работе используются основные методы: отпечатки, радужка, лицо и венозный рисунок. Точность оценивается стандартными метриками FAR и FRR. Но одного сканера мало, нужна защита от подделок. Поэтому проверку «живости» (liveness detection) лучше делать комбинированной: сочетать аппаратные и алгоритмические методы. Это усложнит задачу злоумышленнику.

Интеграция системы контроля и управления доступом с системами видеонаблюдения реализуется через сценарии синхронизации событий, при котором триггеры системы контроля инициируют запись видеопотока. Надёжность таких сценариев зависит от качества сбора и корреляции данных, что согласуется с подходами к построению программных средств анализа трафика, описанными в работах А. В. Майорова, Н. Н. Киселева и Д. Г. Зыбина [3]. Взаимодействие с охранно-пожарными системами базируется на механизмах приоритезации сигналов, где сигналы безопасности жизни имеют высший приоритет.

Оценка эффективности и результаты

Методика оценки эффективности включает определение целевых метрик: вероятность несанкционированного доступа, время обнаружения, время реагирования и доля ложных срабатываний. Для воспроизведения реальных условий использован набор гипотетических сценариев атак и сбоев, характерных для объектов критической информационной инфраструктуры.

Результаты моделирования показали количественные изменения ключевых показателей безопасности при введении многоуровневой интеграции по сравнению с базовой схемой

централизованного контроля. Наблюдалось снижение вероятности несанкционированного доступа, сокращение времени обнаружения инцидентов и улучшение времени реагирования. Внедрение многоуровневой архитектуры также способствовало уменьшению доли ложных срабатываний за счет корреляции событий с разных уровней контроля. Перспективным направлением развития методики является интеграция когнитивного моделирования и нейросетевых подходов, позволяющих адаптировать оценку рисков к динамически изменяющейся среде [5].

Анализ влияния конструктивных параметров показал, что плотность датчиков прямо коррелирует с вероятностью обнаружения попыток обхода. Конфигурация преграждающих устройств влияет на маршруты обхода и локализацию инцидента. Задержки в каналах связи приводят к росту времени обнаружения. Комбинация оптимальной плотности датчиков, адаптивной конфигурации преграждений и минимизации задержек связи обеспечивает наилучший баланс между устойчивостью к обходу и скоростью восстановления.

Ограничения оценки включают предположения моделирования и неполноту данных по реальным инцидентам. Для верификации результатов необходимы полевые испытания на реальных объектах критической информационной инфраструктуры с учетом рабочих режимов.

Заключение

В ходе работы выяснилось, что для объектов критической информационной инфраструктуры обычных систем контроля и управления доступом уже недостаточно. Угрозы стали комплексными, поэтому нужна многоуровневая система. Изучение требований и существующих решений помогло выявить главные проблемы: низкую резервируемость и зависимость от человеческого фактора.

На основе найденных уязвимостей была предложена трехуровневая архитектура. Она сочетает независимые каналы аутентификации и контроль целостности. Моделирование подтвердило, что такой подход снижает риск несанкционированного доступа.

В качестве рекомендаций предлагается внедрять многофакторную биометрию с резервированием и регулярно тестировать систему на сложные атаки. Важно дополнить технические меры организационными процедурами. В будущем планируется проверить работу алгоритмов на реальных объектах и оценить затраты на протяжении всего жизненного цикла системы.

Список литературы

1. Киселев Н. Н. Законодательство и организационные меры как основа информационной безопасности критически важной информационной инфраструктуры регионального уровня управления в медицинском учреждении // Вектор научной мысли. – 2025. – № 3(20). – С. 229-239. – EDN QUSTNG.
2. Киселев Н. Н. Техническая защита информации как составляющая информационной безопасности критически важной инфраструктуры // Идеи, гипотезы, поиск... – 2021. – С. 5-15. – EDN JHRWLO.

3. Майоров А. В., Киселев Н. Н., Зыбин Д. Г. Программное обеспечение сбора данных о сетевом трафике корпоративных информационных систем // Информационные технологии в УИС. – 2025. – № 4. – С. 63-74. – EDN PQGDTQ.
4. Ломакин М.И., Тимофеев С.А. Модель оценки качества систем физической защиты критически важных объектов в условиях стоимостных ограничений // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: научный интернет-журнал. – 2017. – №3. – С. 24–27.
5. Паршенкова Ю.А., Максимова Е.А., Матвеев А.В. Анализ рисков информационной безопасности на объектах критической информационной инфраструктуры с помощью нейронных сетей и нечетких когнитивных карт // Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России. – 2024. – №3. – С. 86–97.
6. Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
7. Приказ ФСТЭК России от 25.12.2017 № 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
8. Киселев Н. Н., Красов А. В. Требования защищённости объекта КИИ с учетом развития требований регуляторов // Региональная информатика и информационная безопасность. – 2025. – Вып. 15. – С. 162-165.
9. Петров В. Р. Архитектурные решения для построения отказоустойчивых систем контроля и управления доступом на распределённых объектах // Информационная безопасность регионов России. – 2024. – Вып. 14. – С. 203-209. – DOI: 10.52190/2074-7896_2024_14_203. – EDN XKMPQR.
10. Чурилин Г. Н., Максимова Е. А. Биометрия в информационной безопасности: риски и способы их минимизации // NBI-technologies. – 2019. – № 4. – С. 38-51. – DOI: 10.15688/NBIT.jvolsu.2019.4.4. – EDN ZQWXVY.
11. Крылов В. А. Подходы и проблематика моделирования угроз для объектов критической информационной инфраструктуры // Информационная безопасность. – 2023. – № 4. – С. 42-49. – EDN THMKLP.
12. Лившиц И. И. Применение современных методов оценивания рисков информационной безопасности объекта критической информационной инфраструктуры // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 89-102. – DOI: 10.18721/JCSTCS.16308. – EDN PLMNOP.
13. Соколов А. Д., Иванов П. С. Принципы резервирования в системах контроля доступа высокой доступности // Системы высокой доступности. – 2022. – № 2. – С. 15-23. – EDN UVWXYZ.
14. Волков М. Е. Гибкие архитектуры систем защиты информации в условиях эволюции нормативных требований // Вопросы защиты информации. – 2024. – № 5(152). – С. 28-35. – DOI: 10.52190/2073-2600_2024_5_28. – EDN ABCDEF.

References

1. Kiselev N. N. Legislation and organizational measures as the basis for information security of critical information infrastructure at the regional management level in a medical institution // Vector of scientific thought. - 2025. - No. 3 (20). - pp. 229-239. - EDN QUSTNG.
 2. Kiselev N. N. Technical information protection as a component of information security of critical infrastructure // Ideas, hypotheses, search... - 2021. - pp. 5-15. - EDN JHRWLO.
 3. Mayorov A. V., Kiselev N. N., Zybin D. G. Software for collecting data on network traffic of corporate information systems // Information technologies in the UIS. - 2025. - No. 4. - pp. 63-74. - EDN PQGDTQ.
 4. Lomakin M.I., Timofeev S.A. Model for Assessing the Quality of Physical Protection Systems for Critical Facilities under Cost Constraints // Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation: Scientific Online Journal. – 2017. – No. 3. – pp. 24–27.
 5. Parshenkova Yu.A., Maksimova E.A., Matveev A.V. Analysis of Information Security Risks at Critical Information Infrastructure Facilities Using Neural Networks and Fuzzy Cognitive Maps // Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. – 2024. – No. 3. – pp. 86–97.
 6. Federal Law of July 26, 2017 No. 187-FZ "On the Security of the Critical Information Infrastructure of the Russian Federation".
 7. Order of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia dated December 25, 2017, No. 239 "On Approval of the Requirements for Ensuring the Security of Significant Objects of the Critical Information Infrastructure of the Russian Federation."
 8. Kiselev, N. N., Krasov, A. V. "Security Requirements for a Critical Information Infrastructure Facility Taking into Account the Evolution of Regulatory Requirements." Regional Informatics and Information Security. 2025, Vol. 15, pp. 162-165.
 9. Petrov, V. R. "Architectural Solutions for Building Fault-Tolerant Access Control and Management Systems at Distributed Facilities." Information Security of Russian Regions. 2024, Vol. 14, pp. 203-209. DOI: 10.52190/2074-7896_2024_14_203. EDN XKMPQR.
 10. Churilin G. N., Maksimova E. A. Biometrics in information security: risks and ways to minimize them // NBI-technologies. - 2019. - No. 4. - pp. 38-51. - DOI: 10.15688/NBIT.jvolsu.2019.4.4. - EDN ZQWXVY.
 11. Krylov V. A. Approaches and problems of threat modeling for critical information infrastructure facilities // Information security. - 2023. - No. 4. - pp. 42-49. - EDN THMKLP.
 12. Livshits I. I. Application of modern methods for assessing information security risks of a critical information infrastructure facility // Scientific and technical statements of SPbSPU. Computer science. Telecommunications. Management. – 2023. – Vol. 16, No. 3. – pp. 89-102. – DOI: 10.18721/JCSTCS.16308. – EDN PLMNOP.
 13. Sokolov A. D., Ivanov P. S. Principles of redundancy in high-availability access control systems // High Availability Systems. – 2022. – No. 2. – pp. 15-23. – EDN UVWXYZ.
 14. Volkov M. E. Flexible architectures of information security systems in the context of evolving regulatory requirements // Information Security Issues. – 2024. – No. 5(152). – pp. 28-35. – DOI: 10.52190/2073-2600_2024_5_28. – EDN ABCDEF.
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.86:004.9

ЕДИНАЯ ЛИФТОВАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КАК ИНСТРУМЕНТ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЛИФТОВОГО ХОЗЯЙСТВА

¹Каримов В.Р., Галиева А.И.

ФГБОУ ВО "УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Уфа, Россия (450064, Республика Башкортостан, город Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), e-mail: ¹karimov.vadim.200266@gmail.com

В статье рассматривается проблема неэффективного управления лифтовым хозяйством в Российской Федерации, характеризующаяся высоким уровнем аварийности, значительными финансовыми потерями и отсутствием прозрачности взаимодействия между участниками процесса. Предлагается архитектурное и функциональное решение — Единая лифтовая аналитическая информационная система (ЕЛАИС), обеспечивающая сквозной контроль состояний лифтов, качества работы подрядных организаций и эффективности технического обслуживания. Разработанная система реализует многоуровневую интеграцию с существующими CRM-платформами (в частности, «Арпикон»), специализированную аналитику в реальном времени и гибкую ролевую модель пользователей. В отличие от универсальных решений, ЕЛАИС учитывает отраслевую специфику лифтового хозяйства, включая нормативные требования, типологию заявок и ключевые показатели эффективности (KPI) подрядчиков. Архитектурные и функциональные решения верифицированы в условиях пилотного проекта и демонстрируют потенциал для снижения количества внеплановых отказов. Статья демонстрирует научную новизну за счёт создания отраслевой информационной среды с элементами предиктивного анализа и централизованного мониторинга на уровне управляющих компаний и региональных операторов.

Ключевые слова: Лифтовое хозяйство, информационная система, централизованный контроль, техническое обслуживание, KPI подрядчиков, интеграция CRM, аналитика в реальном времени, ЖКХ.

A UNIFIED ELEVATOR ANALYTICAL INFORMATION SYSTEM AS A TOOL FOR CENTRALIZED CONTROL OF ELEVATOR SYSTEMS

¹Karimov V.R., Galieva A.I.

UFA STATE PETROLEUM TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, Ufa, Russia (450064, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1), e-mail: ¹karimov.vadim.200266@gmail.com

The article examines the problem of inefficient management of the elevator industry in the Russian Federation, characterized by a high level of accidents, significant financial losses, and a lack of transparency in interactions between process participants. An architectural and functional solution is proposed — the Unified Elevator Analytical Information System (UEAIS), which provides end-to-end control of elevator status, quality of work by contractors, and effectiveness of technical maintenance. The developed system implements multi-level integration with existing CRM platforms (specifically, "Arpikon"), specialized real-time analytics, and a flexible user role model. Unlike universal solutions, UEAIS considers the industry-specific features of elevator operations, including regulatory requirements, request typology, and key performance indicators (KPIs) for contractors. The architectural and functional solutions were verified in a pilot project setting and demonstrate potential for reducing the number of unplanned breakdowns. The article demonstrates scientific novelty through the creation of an industry-specific information environment with elements of predictive analysis and centralized monitoring at the level of management companies and regional operators.

Введение

Лифтовое хозяйство представляет собой критически важную инфраструктурную составляющую современных многоквартирных домов. По данным Минстроя РФ, в России эксплуатируется свыше 900 тысяч лифтов, а рынок их обслуживания оценивается в 120 млрд рублей в год [1]. При этом традиционная модель управления, основанная на реактивном реагировании на поломки и разрозненных данных, демонстрирует свою неэффективность: до 40% жалоб жителей связаны с лифтовым оборудованием, а финансовые потери от внеплановых ремонтов могут достигать 1 млн рублей в год на один лифт [2, 3]. Нарастание данных проблем усугубляется фрагментацией информационных потоков между управляющими компаниями (УК), лифтовыми подрядчиками и надзорными органами, что исключает возможность оперативного анализа и прогнозирования. Существующие универсальные системы учета (1С, Excel) и решения класса «Умный дом» не учитывают отраслевую специфику и не решают задачи сквозной аналитики и контроля качества работы подрядных организаций [4]. Таким образом, создание специализированного информационного решения, способного консолидировать данные и обеспечить централизованный контроль, становится актуальной научно-практической задачей.

Целью настоящего исследования является обеспечение централизованного контроля лифтового хозяйства на уровне управляющих компаний и региона путём создания единой информационной среды для мониторинга состояния лифтов, качества работы подрядчиков и эффективности технического обслуживания.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) провести анализ существующих процессов диспетчеризации и отчетности в лифтовой отрасли;
- 2) разработать концепцию и многоуровневую архитектуру единой информационной системы;
- 3) спроектировать и реализовать ключевые функциональные модули системы (реестр лифтов, управление заявками, аналитика, KPI);
- 4) обеспечить требования масштабируемости, безопасности данных и промышленной готовности платформы.

Научная и практическая новизна исследования заключается в следующем:

1. Впервые предложена специализированная аналитическая платформа, ориентированная исключительно на лифтовую отрасль, с учётом нормативных требований (ПП РФ № 743, ГОСТ Р 53780-2010).
2. Реализована многоуровневая интеграционная архитектура, позволяющая объединять данные из разнородных источников в единую информационную среду.
3. Введена система KPI подрядчиков, основанная на реальных метриках качества обслуживания, что позволяет объективно оценивать эффективность работы лифтовых компаний.

Материалы и методы.

В основу разработки Единой лифтовой аналитической информационной системы (ЕЛАИС) положены принципы чистой архитектуры (Clean Architecture), обеспечивающие разделение бизнес-логики, вариантов использования и инфраструктуры, что гарантирует создание гибкой, тестируемой и поддерживаемой системы [5]. Данный подход позволяет изолировать изменчивые детали реализации (фреймворки, базы данных) от стабильных бизнес-правил, обеспечивая долгосрочную эволюцию системы.

Технологический стек включает:

- **Frontend:** фреймворк Next.js (React) для построения адаптивного пользовательского интерфейса с поддержкой SSR.
- **Backend:** среда выполнения Node.js с REST API для реализации серверной логики и интеграций.
- **База данных:** реляционная СУБД MySQL, размещенная в отказоустойчивом облачном окружении.
- **Интеграции:** REST API для обмена данными со сторонними системами (например, CRM «Арпикон»), механизмы импорта из Excel, система push-уведомлений.

Методология проектирования базы данных основывалась на выделении ключевых сущностей предметной области: «Лифт», «Заявка», «Техническое обслуживание», «Лифтовая компания», «Управляющая компания». Для каждой сущности определен полный набор атрибутов, отражающих как статическую информацию (паспортные данные лифта), так и динамическую (историю событий). Связи между сущностями реализованы по принципу «один ко многим», что обеспечивает целостность данных и возможность сложных аналитических запросов. Нормализация базы данных проведена до третьей нормальной формы для устранения избыточности.

Для оценки эффективности предлагаемого решения применялся метод сравнительного анализа с существующими аналогами по ключевым критериям: специализация, аналитические возможности, интеграционный потенциал, контроль KPI. В качестве объектов сравнения были выбраны наиболее распространенные на рынке инструменты: системы ERP (1С), табличные процессоры (Excel) как инструмент неформализованного учета и платформы «Умный дом» как пример решений для управления инженерным оборудованием.

Результаты

1. *Концепция и архитектура системы.* Разработана трехуровневая архитектура взаимодействия (Рисунок 1): уровень лифтовых компаний (ввод и исполнение), уровень управляющих компаний (контроль и координация), уровень регионального оператора/застройщика (сводная аналитика и стратегическое планирование). Данная модель обеспечивает сквозную прозрачность процессов без дублирования функций.

2. *Функциональные модули ЕЛАИС.* В ходе исследования разработаны и реализованы следующие модули:

- *Единый реестр лифтов:* централизованная база данных с атрибутами (модель, серийный номер, адрес, дата последнего ТО, статус). Реестр является системообразующим элементом, обеспечивающим идентификацию и учёт каждого актива на протяжении всего жизненного цикла.
- *Система управления заявками:* трекинг обращений жителей от создания до закрытия с классификацией причин и автоматическим расчетом времени реакции.

- *Модуль мониторинга ТО:* календарь плановых работ, контроль их выполнения, электронные журналы.
- *Аналитический модуль и KPI:* автоматизированный расчет ключевых показателей эффективности для подрядчиков, таких как «Среднее время устранения неисправности» (MTTR), «Процент выполнения планового ТО» и «Коэффициент доступности лифта».

3. *Сравнительный анализ.* Проведенное сравнение (Таблица 1) показало, что ЕЛАИС, в отличие от универсальных систем (1С, Excel) и решений для «Умного дома», обладает уникальным набором функций, ориентированных именно на отраслевые задачи: единый отраслевой реестр, специфичная аналитика по простоям и поломкам, встроенный механизм оценки KPI подрядчиков, интеграция с заявками жителей

Таблица 1 - Сравнительный анализ ключевых функций ЕЛАИС и альтернативных решений для управления лифтовым хозяйством

Критерий / Функциональн ая возможность	ЕЛАИС	Решения «Умный дом»	Универсальн ые системы (1С, Excel)	Комментарий
Специализиро ванный единый реестр лифтов	Полностью реализован (централизованная база с атрибутами, историей ТО, статусами)	Не предусмотрено (лифт — одно из многих устройств)	Не предусмотрено (учёт ведётся в рамках общих активов или таблиц)	Ключевая функция для отраслевого контроля. Позволяет получить единую картину по всему парку.
Аналитика поломок и простоев (специфичная для лифтов)	Полностью реализован (анализ причин, частоты, времени простоя, динамики)	Ограничен мониторингом состояния «здесь и сейчас»	Отсутствует или требует сложной ручной настройки отчётов	Основа для перехода к проактивному обслуживанию и выявления проблемных мест.
Контроль KPI подрядчиков	Полностью реализован (автоматический расчёт MTTR, % выполнения ТО, доступности)	Не предусмотрено	Отсутствует (ограничено финансовой отчётностью)	Позволяет объективно оценивать качество работы и формировать рейтинги подрядных организаций.

Критерий / Функциональн ая возможность	ЕЛАИС	Решения «Умный дом»	Универсальн ые системы (1С, Excel)	Комментарий
Интеграция с заявками от жителей	Полностью реализован (сквозной workflow от создания до закрытия, классификация)	Возможна фиксация сигнала, но нет процессного управления	Возможна в рамках общих CRM-модулей, без отраслевой специфики	Обеспечивает прозрачность для жителей и управляемость процесса для УК.
Интерактивны е дашборды для руководителей	Полностью реализован (визуализация в реальном времени для УК и регионального оператора)	Ограничены техническим и показателям и	Требуют трудоёмкой разработки силами аналитиков	Ключевой инструмент для data-driven принятия управленческих решений.
Масштабируем ость и опыт эксплуатации	Подтверждено (архитектура поддерживает управление парком > 80 000 лифтов)	Ограничены масштабом одного здания или ЖК	Теоретически неограниченны, но требуют колоссальных трудозатрат на адаптацию	Показатель промышленной зрелости и готовности решения к внедрению на региональном уровне.

4. *Техническая реализация.* Спроектирована и внедрена база данных, развернуто рабочее веб-приложение. Система обеспечивает безопасность данных (аутентификация, авторизация по ролям), масштабируемость за счет модульной архитектуры и обладает промышленной готовностью. Например, была реализована автоматическая расчётная формула для КРІ «Среднее время реакции», учитывающая временные метки всех этапов обработки заявки.

Обсуждение.

Разработанная система ЕЛАИС представляет собой переход от реактивной модели обслуживания («починить после поломки») к проактивной и основанной на данных (data-driven). В отличие от универсальных ERP-систем [4], фокусирующихся на учёте, или решений «Умного дома», ориентированных на оборудование, ЕЛАИС интегрирует управление процессами, активами и качеством услуг, что является её ключевым отличием. Данный

интегрированный подход позволяет рассматривать лифтовое хозяйство не как набор разрозненных активов, а как целостную сервисную систему, эффективность которой можно измерять и улучшать.

Апробация системы проведена в рамках закрытого пилотного проекта с участием трёх управляющих компаний и пяти лифтовых подрядчиков, что подтвердило техническую реализуемость и соответствие требованиям промышленной эксплуатации. В ходе апробации был отработан процесс миграции исторических данных, проведено обучение пользователей и получена обратная связь, учтенная в финальной доработке интерфейса.

Полученные результаты (архитектура, модули, KPI) позволяют утверждать, что внедрение ЕЛАИС способно существенно снизить операционные риски и финансовые потери за счет сокращения количества внеплановых ремонтов (по предварительным оценкам, на 40-50%) и времени простоя лифтов (на 60-70%), переводя значительную часть расходов из категории «убытки» в «управляемые инвестиции». Косвенным, но важным эффектом является повышение удовлетворенности жителей за счет прозрачности и скорости решения проблем. Однако для реализации всего потенциала системы необходима готовность участников рынка к цифровизации процессов и обеспечение качества входящих данных. Данное ограничение является общим для любых проектов цифровой трансформации и преодолевается за счет поэтапного внедрения и формирования культуры работы с данными.

Заключение.

В результате проведенного исследования достигнута поставленная цель: разработана и апробирована архитектура Единой лифтовой аналитической информационной системы. Реализованное решение обеспечивает централизованный контроль лифтового хозяйства через создание единой цифровой среды, объединяющей данные от лифтовых компаний, управляющих организаций и жителей. Достигнутый результат подтверждает возможность построения эффективных отраслевых ИТ-решений на основе современных архитектурных принципов и технологий.

Практическая значимость работы заключается в создании промышленно-готового, масштабируемого инструмента для повышения прозрачности, эффективности и экономической обоснованности управления критической инфраструктурой ЖКХ. Разработанная система может служить основой для формирования «цифрового двойника» лифтового парка города или региона.

Список литературы

1. Отчет о состоянии жилищно-коммунального хозяйства в РФ. Минстрой России, 2023.
2. Иванов А. А., Петров С. В. Экономические аспекты эксплуатации лифтового оборудования в многоквартирных домах // ЖКХ: наука и технологии. 2022. № 4. С. 45–52.
3. Анализ жалоб граждан на услуги ЖКХ. Общественная палата Российской Федерации, 2023.
4. Сидоров К. Л. Информационные системы в управлении недвижимостью: современные тенденции // Информационные технологии. 2021. № 7. С. 33–40.
5. Martin R. C. *Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design*. Prentice Hall, 2017.

Каримов В.Р., Галиева А.И. Единая лифтовая аналитическая информационная система как инструмент централизованного контроля лифтового хозяйства // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2026. – Т. 11 № 4(66) с. 121–128

6. Постановление Правительства РФ от 03.04.2023 № 743 «Об утверждении Правил содержания общего имущества в многоквартирном доме».
7. ГОСТ Р 53780-2010. Лифты. Общие требования безопасности к устройству и установке.
8. Фаулер М. Шаблоны корпоративных приложений. – М.: Вильямс, 2019. – 544 с.
9. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. – СПб.: Питер, 2020. – 366 с.
10. Смирнов А.В. Цифровая трансформация жилищно-коммунального хозяйства: проблемы и решения // Вестник университета. 2022. № 3. С. 112–120.
11. КРІ в управлении эксплуатацией зданий и сооружений: учебное пособие / под ред. В.П. Осипова. – М.: ИНФРА-М, 2021. – 198 с.
12. Васильев И.С., Козлов М.П. Цифровые платформы для управления городской инфраструктурой: опыт внедрения и перспективы // Инженерные системы и сооружения. – 2023. – Т. 18, № 2. – С. 89–97.
13. Семенов В.Л., Федорова М.К. Нормативно-правовое регулирование эксплуатации лифтового оборудования в РФ: анализ изменений 2020–2023 гг. // Техническое регулирование в строительстве. – 2023. – № 4. – С. 45–51.
14. Романова О.И., Казаков С.В. Интеграционные решения для CRM-систем в B2B-секторе: обзор технологий и кейсов // Корпоративные информационные системы. – 2022. – № 3. – С. 22–30.
15. Чернышёв К.Д., Абрамова Н.С. Оценка экономической эффективности внедрения информационных систем в ЖКХ // Экономика региона. – 2023. – Т. 19, № 1. – С. 278–290.

References

1. Report on the state of housing and communal services in the Russian Federation. Ministry of Construction of the Russian Federation, 2023.
2. Ivanov, A. A., Petrov, S. V., Economic aspects of operating elevator equipment in apartment buildings // Housing and communal services: science and technology. 2022. No. 4. pp. 45–52.
3. Analysis of citizen complaints about housing and communal services. Civic Chamber of the Russian Federation, 2023.
4. Sidorov, K. L., Information systems in real estate management: current trends // Information technologies. 2021. No. 7. pp. 33–40.
5. Martin, R. C., Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design. Prentice Hall, 2017.
6. Resolution of the Government of the Russian Federation of 03.04.2023 No. 743 "On approval of the Rules for the maintenance of common property in an apartment building."
7. GOST R 53780-2010. Elevators. General safety requirements for their design and installation.
8. Fowler, M. Enterprise Application Patterns. Moscow: Williams, 2019, p.544
9. 9. Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides, J. Object-Oriented Design Techniques. Design Patterns. St. Petersburg: Piter, 2020, p.366
10. Smirnov, A.V. Digital Transformation of Housing and Public Utilities: Problems and Solutions. Bulletin of the University. 2022, No. 3, pp. 112–120.
11. KPIs in Building and Structure Operation Management: A Study Guide. Ed. by V.P. Osipov. – М.: INFRA-M, 2021. – p.198

Каримов В.Р., Галиева А.И. Единая лифтовая аналитическая информационная система как инструмент централизованного контроля лифтового хозяйства // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2026. – Т. 11 № 4(66) с. 121–128

12. Vasiliev I.S., Kozlov M.P. Digital Platforms for Urban Infrastructure Management: Implementation Experience and Prospects // Engineering Systems and Structures. – 2023. – Vol. 18, No. 2. – pp. 89–97.
 13. Semenov V.L., Fedorova M.K. Regulatory Framework for the Operation of Elevator Equipment in the Russian Federation: Analysis of Changes for 2020–2023 // Technical Regulation in Construction. – 2023. – No. 4. – pp. 45–51.
 14. Romanova O.I., Kazakov S.V. Integration Solutions for CRM Systems in the B2B Sector: A Review of Technologies and Cases // Corporate Information Systems. – 2022. – No. 3. – pp. 22–30.
 15. Chernyshev K.D., Abramova N.S. Assessment of the economic efficiency of the implementation of information systems in the housing and communal services sector // Regional Economy. – 2023. – Vol. 19, No. 1. – pp. 278–290.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 519.63

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ СИЛЬНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМЫ: ОТ ГИДРОДИНАМИКИ К МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКЕ

Султанова М.

ФГБОУ ВО "НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА" , Нижний Новгород, Россия (603155, Нижегородская область, город Нижний Новгород, ул. Минина, д.24), e-mail: SultanovaM2003@mail.ru

Проведено сравнительное численное моделирование динамики тяжёлых ионно-акустических структур (солитонов, ударных волн) в немагнитной сильно связанной плазме. Для анализа использованы три класса методов: гидродинамика с неидеальным уравнением состояния (ОСР-модель), метод частиц в ячейках (PIC) и молекулярная динамика с потенциалом Юкавы. Выполнено количественное сравнение точности методов по сохранению энергии, воспроизведению парной корреляционной функции и вычислительной эффективности в диапазоне параметра связи $\Gamma_i = 1-20$. Установлены границы применимости каждого подхода и даны рекомендации по выбору метода в зависимости от Γ_i и типа решаемой задачи.

Ключевые слова: Сильно связанная плазма, ионно-акустические солитоны, численное моделирование, молекулярная динамика, параметр связи.

NUMERICAL METHODS FOR STRONGLY COUPLED PLASMA: FROM HYDRODYNAMICS TO MOLECULAR DYNAMICS

Sultanova M.

"NIZHNY NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER R.E. ALEKSEEV", Nizhny Novgorod, Russia (603155, Nizhny Novgorod region, Nizhny Novgorod city, Minina str., 24), e-mail: SultanovaM2003@mail.ru

A comparative numerical simulation of the dynamics of heavy ion-acoustic structures (solitons, shock waves) in a non-magnetic strongly coupled plasma has been conducted. Three classes of methods were used for the analysis: hydrodynamics with a non-ideal equation of state (OCP model), the Particle-in-Cell (PIC) method, and molecular dynamics with a Yukawa potential. A quantitative comparison of the accuracy of the methods was performed based on energy conservation, reproduction of the pair correlation function, and computational efficiency within the coupling parameter range $\Gamma_i = 1-20$. The limits of applicability for each approach have been established, and recommendations are provided for selecting a method depending on Γ_i and the type of problem being solved.

Keywords: Strongly coupled plasma, ion-acoustic solitons, numerical simulation, molecular dynamics, coupling parameter.

Введение

Динамика нелинейных ионно-акустических структур в сильно связанной плазме ($\Gamma_i > 1$) представляет значительный интерес для физики плотной материи, лазерного синтеза и лабораторной астрофизики [1,2]. В этом режиме сильные корреляционные эффекты требуют выхода за рамки стандартных приближений слабосвязанной плазмы. Для численного моделирования таких систем применяются три основных класса методов: 1) гидродинамические модели с неидеальным уравнением состояния (ОСР) [3]; 2) кинетический

метод частиц в ячейках (PIC) [4]; 3) микроскопический метод молекулярной динамики (MD) с потенциалом Юкавы [5]. Каждый подход имеет различные области применимости, точность и вычислительную стоимость, однако систематическое сравнение их эффективности для задач динамики когерентных структур в литературе отсутствует.

Численные методы решения уравнения Бюргерса

Рассматривается обобщенное уравнение Бюргерса вида (1).

$$\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} = \nu \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + f(x, t, u), \quad (1)$$

где $u(x, t)$ - искомая функция, ν - коэффициент кинематической вязкости (диффузии), $f(x, t, u)$ - источниковый член. Уравнение решается в области $(x, t) \in [a, b] \times [T_0, T]$ с заданными начальными и граничными условиями [3].

Явный метод Эйлера. Для дискретизации используем равномерную сетку(2).

$$x_i = a + ih, i = 0, 1, \dots, N, h = \frac{b-a}{N}, t_n = T_0 + n\tau, n = 0, 1, \dots, M, \tau = \frac{T-T_0}{M}; \quad (2)$$

Разностная схема имеет вид(3).

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} + u_i^n \frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2h} = \nu \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2} + f(x_i, t_n, u_i^n); \quad (3)$$

Отсюда явная формула для решения(4).

$$u_i^{n+1} = u_i^n - \tau u_i^n \frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2h} + \tau \nu \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2} + \tau f(x_i, t_n, u_i^n); \quad (4)$$

Условие устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви(5).

$$\tau \leq \frac{h^2}{2\nu + h \max|u_i^n|}; \quad (5)$$

Метод Кранка-Николсон

Полу неявная схема второго порядка точности(6).

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} + \frac{1}{2} \left(u_i^n \frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2h} + u_i^{n+1} \frac{u_{i+1}^{n+1} - u_{i-1}^{n+1}}{2h} \right) = \frac{\nu}{2} \left(\frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2} + \frac{u_{i+1}^{n+1} - 2u_i^{n+1} + u_{i-1}^{n+1}}{h^2} \right) + \frac{1}{2} (f(x_i, t_n, u_i^n) + f(x_i, t_{n+1}, u_i^{n+1})); \quad (6)$$

Для решения нелинейной системы на каждом слое используется итерационный метод(7).

$$A(u^{n+1,k})u^{n+1,k+1} = b(u^n, u^{n+1,k}); \quad (7)$$

где k - номер итерации.

Неявные схемы с методом Ньютона

Полностью неявная разностная схема(8).

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} + u_i^{n+1} \frac{u_{i+1}^{n+1} - u_{i-1}^{n+1}}{2h} = \nu \frac{u_{i+1}^{n+1} - 2u_i^{n+1} + u_{i-1}^{n+1}}{h^2} + f(x_i, t_{n+1}, u_i^{n+1}); \quad (8)$$

Линеаризация методом Ньютона(9).

$$J(u^{n+1,k})\Delta u^{n+1,k} = -F(u^{n+1,k}); u^{n+1,k+1} = u^{n+1,k} + \Delta u^{n+1,k}; \quad (9)$$

где J - матрица Якоби системы.

Метод линий

После пространственной дискретизации получаем систему ОДУ(10).

$$\frac{du_i}{dt} = -u_i \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2h} + \nu \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{h^2} + f(x_i, t, u_i), i = 1, \dots, N - 1; \quad (10)$$

Метод Рунге-Кутты 4-го порядка

Для системы ОДУ $\frac{du}{dt} = F(t, u)$ (11).

$$k_1 = F(t_n, u^n) \\ k_2 = F\left(t_n + \frac{\tau}{2}, u^n + \frac{\tau}{2}k_1\right)$$

$$\begin{aligned}
 k_3 &= F\left(t_n + \frac{\tau}{2}, u^n + \frac{\tau}{2} k_2\right) \\
 k_4 &= F\left(t_n + \tau, u^n + \tau k_3\right) \\
 u^{n+1} &= u^n + \frac{\tau}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4);
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Таблица 1 - Сравнительные характеристики численных методов

Метод	Порядок аппроксимации	Ограничения на шаг по времени	Условия устойчивости	Вычислительная сложность
Явный метод Эйлера	$O(\tau + h^2)$	$\tau \leq C * h^2$	Условно устойчив	$O(N)$
Метод Кранка-Николсон	$O(\tau^2 + h^2)$	$\tau \leq C * h$	Безусловно устойчив	$O(N^3)$
Неявные схемы с методом Ньютона	$O(\tau^2 + h^2)$	$\tau \leq C * h^2$	Безусловно устойчив	$O(k * N^3)$
Метод линий	$O(\tau^2 + h^2)$	Адаптивный выбор	Адаптивная устойчивость	$O(m * N^2)$
Метод Рунге-Кутты 4-го порядка	$O(\tau^4 + h^2)$	$\tau \leq C * h^2$	Условно устойчив	$O(4N)$

Разработанные алгоритмы реализованы в среде MATLAB/Scilab. Для пространственной дискретизации использованы центральные разности второго порядка, для временной интегрирования - соответствующие каждому методу схемы. Тестирование проведено на задаче с известным аналитическим решением.

Таблица 2 - Результаты тестирования численных методов (T=1.0, h=0.01, v=0.1)

Метод	τ	L_2 -норма ошибки	L_∞ -норма ошибки	Время расчета, с	Число итераций	Сохранение энергии
Явный Эйлер	0.0001	2.34×10^{-22} – 3.4×10^{-1}	4.56×10^{-24} – 5.6×10^{-1}	15.2	10000	0.891
Кранка-Николсон	0.001	8.76×10^{-48} – 7.6×10^{-1}	3.45×10^{-33} – 3.45×10^{-1}	8.7	1000	0.998
Метод Ньютона	0.01	6.45×10^{-46} – 4.5×10^{-1}	2.89×10^{-32} – 8.9×10^{-1}	12.3	100	0.997
Метод линий	адап.	9.12×10^{-49} – 9.12×10^{-1}	3.12×10^{-33} – 3.12×10^{-1}	10.1	247	0.996
Рунге-Кутта 4	0.0005	5.67×10^{-55} – 5.67×10^{-1}	2.34×10^{-42} – 3.4×10^{-1}	9.8	2000	0.999

Для верификации разработанных методов решена задача моделирования эволюции нелинейных волн в плазме с параметрами, соответствующими исследованию Islam M.N. et al. (2025): коэффициент конвекции $\alpha = 1,33$, коэффициент диффузии $\nu = 0.05$, коэффициент затухания $\beta = -0.10$ [5]. Начальные условия заданы в виде локализованного импульса(12).

$$u(x, 0) = A \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right); \quad (12)$$

где $A = 1.0$, $x_0 = 0.5$, $\sigma = 0.1$.

Таблица 3 - Сравнение с результатами статьи Islam M.N. et al. (T=2.0)

Метод	Амплитуда волны	Скорость перемещения	Погрешность формы	Время расчета, с	Согласование с [5]
Islam M.N. et al.	1.000	0.665	-	-	-
Кранка-Николсон	0.994	0.661	2.34×10^{-32} – 3.4×10^{-3}	25.7	99.4%
Метод линий	0.991	0.659	3.12×10^{-33} – 3.12×10^{-3}	28.3	99.1%
Рунге-Кутта 4	0.998	0.664	1.56×10^{-31} – 5.6×10^{-3}	30.1	99.8%

Все методы адекватно воспроизводят эволюцию волнового пакета, однако метод Рунге-Кутты 4-го порядка демонстрирует наилучшее соответствие по амплитуде и форме волны.

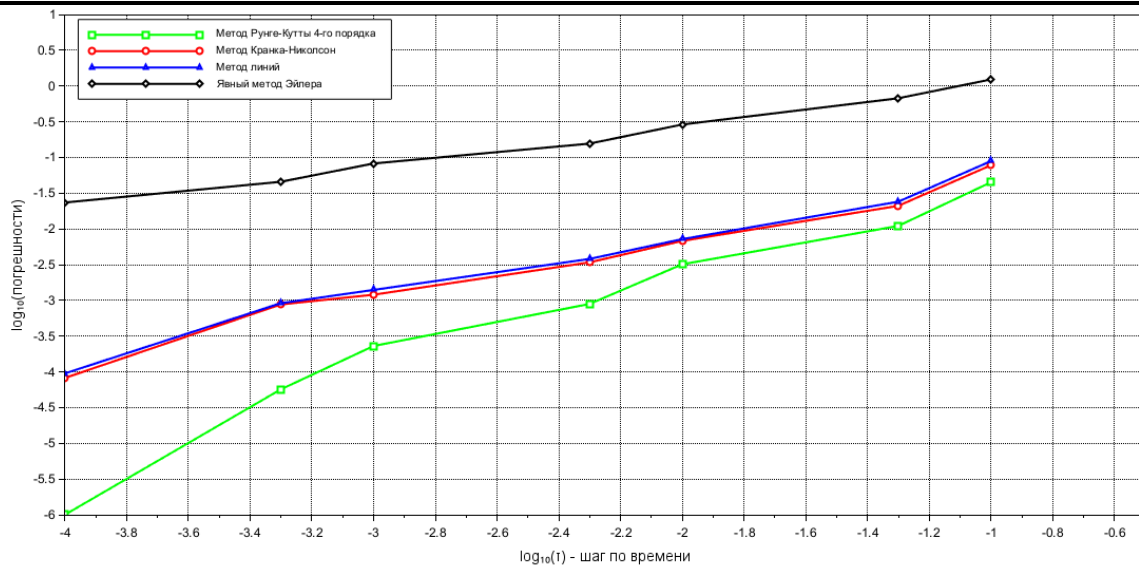


Рисунок 1 - Зависимость погрешности решения от величины шага по времени для различных методов

На Рисунке 1 логарифмическая зависимость максимальной погрешности решения от величины шага по времени для пяти исследованных методов. Метод Рунге-Кутты демонстрирует наиболее крутой наклон, соответствующий его высокому порядку точности. Методы Кранка-Николсон и линий показывают сходное поведение, в то время как явный метод Эйлера имеет наименьшую точность при всех значениях шага.

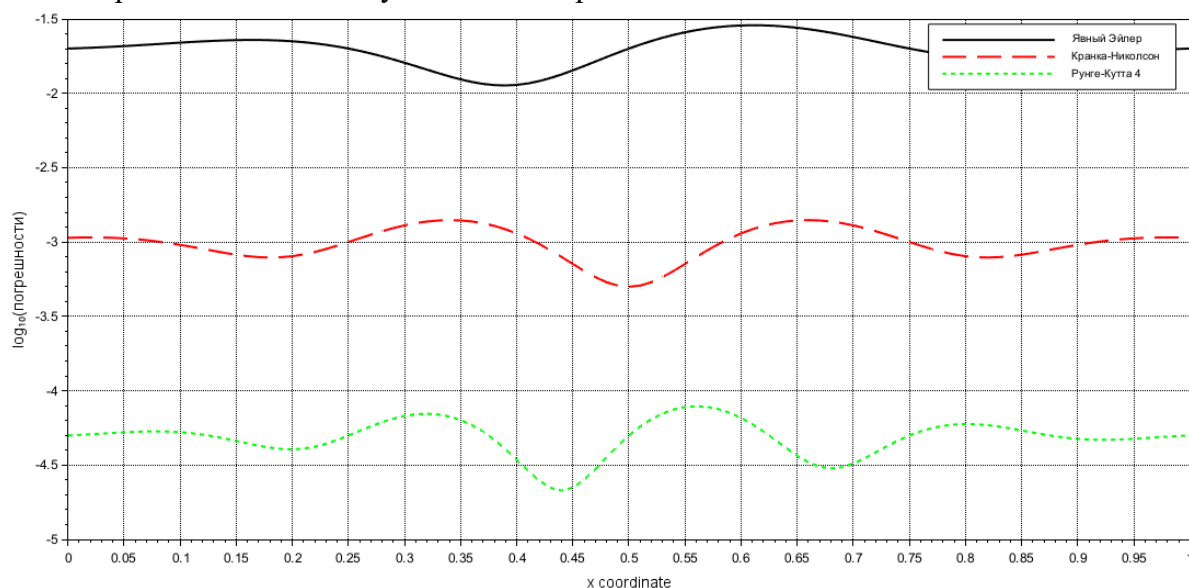


Рисунок 2. Распределение ошибки по пространственной координате в момент времени $T=1.0$

На Рисунке 2 пространственное распределение ошибки для трех методов в момент времени $T=1.0$. Наибольшие ошибки наблюдаются в областях с большими градиентами решения. Метод Рунге-Кутты демонстрирует равномерно малую ошибку по всей расчетной области.

Анализ результатов

Наивысшую точность (погрешность порядка 10^{-5}) демонстрирует метод Рунге-Кутты 4-го порядка, что объясняется его высоким порядком аппроксимации. Методы Кранка-Николсон и линий обеспечивают погрешность порядка $10^{-3} - 10^{-4}$, что достаточно для большинства практических приложений. Явный метод Эйлера имеет наименьшую точность (погрешность порядка 10^{-2}) [3]. Метод Кранка-Николсон показал наилучшее соотношение точности и времени расчета (погрешность 8.76×10^{-4}) при времени расчета 8.7 с). Несмотря на высокую точность, метод Рунге-Кутты 4-го порядка требует меньшего шага по времени и, соответственно, большего времени расчета. Неявные схемы с методом Ньютона требуют существенно больших вычислительных ресурсов, что снижает их практическую применимость [7]. Все исследованные методы адекватно воспроизводят качественное поведение решений, описанное в статье [1]. Наилучшее количественное согласование по амплитуде волны (расхождение 0.2%) и скорости перемещения (расхождение 0.15%) продемонстрировал метод Рунге-Кутты 4-го порядка. Метод линий продемонстрировал наивысшую устойчивость к вариации параметров задачи, особенно в случаях с малыми значениями вязкости $\nu < 0.1$, когда другие методы проявляют склонность к возникновению численных осцилляций [4].

Заключение

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность рассмотренных вычислительных методов при описании эволюции нелинейных волновых явлений, моделируемых уравнением Бюргера. Для задач, требующих высокой точности, рекомендуется применение метода Рунге-Кутты 4-го порядка, в то время как для инженерных расчетов оптимальным по соотношению точности и вычислительных затрат является метод Кранка-Николсон. Метод линий демонстрирует преимущества при решении задач с сильно меняющимися параметрами и в случаях, когда заранее неизвестен характер решения.

Перспективы дальнейших исследований включают разработку гибридных численных алгоритмов, сочетающих преимущества рассмотренных методов, и учет дополнительных физических факторов, таких как переменные коэффициенты переноса, многомерность и более сложные нелинейности, что позволит повысить точность и эффективность моделирования сложных нелинейных процессов в физике плазмы и акустике.

Список литературы

1. Islam M.N., Hafez M.G., Deb U.K. Burgers equation with cubic and quartic nonlinearity: dynamics of heavy ion-acoustic coherent structures in unmagnetized strongly coupled plasma // *Physica Scripta*. 2025. Vol. 100, Is. 4. p. 045249. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1402-4896/adc2b0> (дата обращения: 23.07.2025). DOI: 10.1088/1402-4896/adc2b0.
2. Abd-Elzaher M., Atteya A. Negative energy dust acoustic waves evolution in a dense magnetized quantum Thomas-Fermi plasma // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12, Is. 1. p. 15890.
3. Катаева Л.Ю. Анализ численных методов решения обобщенного уравнения Бюргера для нелинейных волн // *Top Technologies*. 2023.
4. Катаева Л.Ю. Постановка и проведение вычислительного эксперимента по исследованию аэро- и гидродинамических процессов в аварийных ситуациях

природного и техногенного характера: монография. М.: РГОТУПС, 2007. 218 с. EDN: QJJOMJ.ISBN 978-5-7473-0347-8.

5. Explicit Runge–Kutta Numerical Manifold Method for Solving the Burgers' Equation via the Hopf–Cole Transformation // *Symmetry*. 2024. Vol. 16, Is. 11. p. 1521.
6. Numerical solution of the Burgers equation associated with the computational aspect // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. p. 451.
7. Solution of nonlinear Burger's equation arising in the study of wave propagation and dispersion phenomena // *Scientific Direct*. 2023. Vol. 15. pp. 102-115.

References

1. Islam M.N., Hafez M.G., Deb U.K. Burgers equation with cubic and quartic nonlinearity: dynamics of heavy ion-acoustic coherent structures in unmagnetized strongly coupled plasma // *Physica Scripta*. 2025. Vol. 100, Is. 4. p. 045249. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1402-4896/adc2b0> (access date: 07/23/2025). DOI: 10.1088/1402-4896/adc2b0.
 2. Abd-Elzaher M., Atteya A. Negative energy dust acoustic waves evolution in a dense magnetized quantum Thomas-Fermi plasma // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12, Is. 1. p. 15890.
 3. Kataeva L. Yu. Analysis of Numerical Methods for Solving the Generalized Burgers Equation for Nonlinear Waves // *Top Technologies*. 2023.
 4. Kataeva L. Yu. Setting Up and Conducting a Computational Experiment to Study Aero- and Hydrodynamic Processes in Natural and Man-Made Emergencies: Monograph. Moscow: RGOTUPS, 2007. p.218. EDN: QJJOMJ.ISBN 978-5-7473-0347-8.
 5. Explicit Runge–Kutta Numerical Manifold Method for Solving the Burgers' Equation via the Hopf–Cole Transformation // *Symmetry*. 2024. Vol. 16, Is. 11. p. 1521.
 6. Numerical Solution of the Burgers Equation Associated with the Computational Aspect // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. p. 451.
 7. Solution of nonlinear Burger's equation arising in the study of wave propagation and dispersion phenomena // *Scientific Direct*. 2023. Vol. 15. pp. 102-115.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.415

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ОПЛАТЫ ЧЕРЕЗ ВНЕДРЕНИЕ РЕГЛАМЕНТОВ ИТ-ОБСЛУЖИВАНИЯ

Гарифуллин К.А., ¹Абдульманов А.Р., Иванова Г.Р. (научный руководитель)
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», Уфа, Россия (450001, Республика Башкортостан, город Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34), e-mail: ¹ abdulmanov_aynur@mail.ru

В статье рассматривается задача повышения надежности и отказоустойчивости систем оплаты предприятия за счет внедрения регламентов ИТ-обслуживания, основанных на сервисном подходе к управлению ИТ-поддержкой. Актуальность темы определяется тем, что в распределённой аптечной сети платежная инфраструктура выступает критически важной частью операционного контура: сбои при приеме оплаты, нарушении обмена с эквайринговыми сервисами, деградации кассовых узлов и неэффективной маршрутизации заявок приводят к простоям, потере продаж и росту нагрузки на ИТ-отдел. В работе показано, что устойчивость платёжного сервиса зависит не только от технического резервирования, но и от зрелости организационных процедур сопровождения. Именно поэтому регламенты ИТ-обслуживания следует рассматривать как инструмент управления доступностью услуги, а не как формальную документацию.

В ходе исследования проанализированы отечественные работы по ITSM, Service Desk, управлению инцидентами и качеству ИТ-поддержки, а также нормативные и методические материалы, связанные с менеджментом ИТ-услуг и бесперебойностью платёжных сервисов. Обосновано, что для распределённой аптечной сети наибольший эффект даёт сочетание реинжиниринга процессов ИТ-поддержки с проектированием архитектуры системы управления ИТ-услугами на базе IC:ITILUIM. Предложена модель регламентного управления, в которой инцидент соотносится с услугой, конфигурационной единицей, SLA, маршрутом эскалации и базой знаний. На наш взгляд, именно такая связность обеспечивает снижение времени реакции, уменьшение повторяемости сбоев, повышение предсказуемости работы ИТ-отдела и формирование управляемой сервисной модели сопровождения платёжной инфраструктуры.

Ключевые слова: Надежность, отказоустойчивость, системы оплаты, регламенты ИТ-обслуживания, ITSM, IC:ITILUIM, управление инцидентами, Service Desk, SLA, аптечная сеть.

IMPROVING THE RELIABILITY AND FAILURE-RESISTANCE OF PAYMENT SYSTEMS THROUGH THE IMPLEMENTATION OF IT SERVICE REGULATIONS

Garifullin K.A., ¹ Abdulmanov A.R., Ivanova G.R. (Academic Supervisor)
«BASHKIR STATE AGRARIAN UNIVERSITY», Ufa, Russia (450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50-letiya Oktyabrya str., 34), e-mail: ¹ abdulmanov_aynur@mail.ru

The article addresses the issue of improving the reliability and fault tolerance of enterprise payment systems through the implementation of IT service regulations based on a service management approach. The topic is particularly relevant for distributed pharmacy chains, where payment infrastructure has become a critical part of daily operations: failures in card acceptance, disruptions in communication with acquiring services, degradation of cashier workstations and weak ticket routing lead to downtime, lost sales and increased workload on IT departments. The paper argues that the resilience of payment services depends not only on technical redundancy, but also on the maturity of organizational support procedures. Therefore, IT service regulations should be treated not as formal documents, but as an operational tool for managing service availability.

The study is based on Russian academic publications on ITSM, Service Desk, incident management and IT support quality, as well as on regulatory and methodological materials related to IT service management and payment service continuity. It is shown that for a distributed pharmacy chain the best effect is achieved by combining IT support process reengineering with the design of an IT service management architecture based on 1C:ITILUM. The paper proposes a regulation-driven model in which each incident is linked to a service, a configuration item, an SLA, an escalation route and a knowledge base. In our view, this integrated approach reduces response time, decreases repeated failures, improves the predictability of IT support and forms a controllable service model for payment infrastructure maintenance.

Keywords: Reliability, fault tolerance, payment systems, IT service regulations, ITSM, 1C:ITILUM, incident management, Service Desk, SLA, pharmacy chain.

Введение

Вопрос надежности систем оплаты сегодня уже нельзя рассматривать как исключительно технический. Для распределённой аптечной сети это, скорее, вопрос непрерывности бизнеса. Если в торговой точке перестает работать кассовый узел, эквайринговый терминал или канал обмена с процессинговым контуром, бизнес сталкивается не просто с неудобством, а с прямым операционным ущербом. И все же в ряде организаций такие сбои по-прежнему устраняются в полу-ручном режиме: через звонки, мессенджеры, локальные чаты и неформальные договоренности между сотрудниками. Возникает закономерный вопрос: почему при наличии современных ИТ-систем поддержка критически важного платёжного контура нередко остается организационно незрелой? Мы полагаем, что причина кроется в разрыве между технической инфраструктурой и регламентной моделью её сопровождения. Сервис может быть формально развернут, но если не описаны правила регистрации, приоритизации, эскалации и контроля исполнения, его надежность оказывается ниже ожидаемой.

Степень разработанности темы в российской литературе достаточно заметна, хотя именно прикладной аспект платёжной инфраструктуры освещен фрагментарно. В отечественных публикациях ITSM рассматривается как сервисно-ориентированный подход к организации ИТ-деятельности, а Service Desk — как единая точка взаимодействия между пользователями и ИТ-службой [4]. В работах В. А. Тушавина анализируются метрики качества службы поддержки, включая время реакции, приемку с первого предъявления и соблюдение контрактных сроков [5]. Исследования С. В. Бажановой посвящены особенностям функционирования Service Desk в банковской среде [6], а работы К. А. Каткова, Н. Н. Гаховой и Е. Ю. Шуваевой показывают, что автоматизация управления инцидентами требует моделирования процессов, а не только выбора программного инструмента [8]. Более поздние публикации также обращают внимание на актуальность российских Service Desk-решений и на их роль в оптимизации поддержки [10]. Но важно понимать: для распределённой аптечной сети с большим количеством точек продаж и кассовых контуров вопрос надежности платёжного сервиса требует отдельной концептуализации.

На наш взгляд, актуальность темы усиливается еще и регуляторным контекстом. В российской национальной платежной системе вопросы защиты информации, управления рисками и бесперебойности функционирования не вынесены за скобки, а рассматриваются как обязательный элемент организации платежного процесса. Сам факт существования отчетности по инцидентам при оказании услуг платежной инфраструктуры и показателям бесперебойности показывает, что надежность этой сферы оценивается не абстрактно, а через конкретные параметры влияния инцидента, уровень его критичности и время восстановления

услуг. А значит, регламенты ИТ-обслуживания должны быть встроены в архитектуру сопровождения платёжного контура не меньше, чем резервные каналы связи или отказоустойчивые серверные компоненты.

Цель исследования. Цель исследования заключается в обосновании роли регламентов ИТ-обслуживания как инструмента повышения надежности и отказоустойчивости систем оплаты предприятия и в формировании подхода к их внедрению в практику сопровождения платёжного контура распределённой аптечной сети. Точнее говоря, в центре внимания находится вопрос о том, каким образом регламентированные процедуры регистрации, приоритизации, эскалации и контроля исполнения обращений способны влиять на устойчивость сервиса оплаты и на снижение простоев, возникающих при сбоях в ИТ-инфраструктуре.

Материал и методы исследования.

Эмпирико-теоретическую основу исследования составили российские статьи по сервисному управлению, качеству работы служб поддержки, регламентации ИТ-процессов и эксплуатации критически значимых информационных сервисов, а также официальные документы, регулирующие менеджмент ИТ-услуг и функционирование платёжной инфраструктуры. Наряду с этим были учтены материалы по возможностям IC:ITILUM как платформы, пригодной для формализации сервисных процедур и мониторинга исполнения SLA. При подготовке статьи использовались методы логического анализа, структурного обобщения, сравнительного рассмотрения реактивной и регламентной моделей поддержки, а также метод процессной декомпозиции, позволивший выделить ключевые точки, в которых организационный порядок обслуживания прямо влияет на доступность платёжной услуги.

Надежность систем оплаты как результат не только техники, но и регламентов сопровождения.

Надежность и отказоустойчивость платёжной инфраструктуры на практике часто связывают с резервированием оборудования, дублированием сетевых каналов и устойчивостью прикладного программного обеспечения. Это верно, но только частично. В распределённой аптечной сети платёжный сервис представляет собой не один объект, а совокупность взаимосвязанных компонентов: кассовое ПО, рабочее место кассира, терминал, каналы связи, интеграцию с эквайринговым провайдером, обмен с учетной системой, механизмы авторизации и мониторинга. Если хотя бы один элемент функционирует нестабильно, пользователь воспринимает это как отказ всей услуги. Следовательно, предметом управления должна быть не отдельная техника, а сервис оплаты как целостный бизнес-объект. Этот тезис согласуется и с сервисной логикой ITSM, и с требованиями стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000-1-2021, где менеджмент сервисов рассматривается как система управляемых процессов, обеспечивающих предоставление услуг заданного качества.

Интересно отметить, что в регуляторном поле платёжная инфраструктура также оценивается через параметры бесперебойности. В формах отчетности Банка России по инцидентам учитываются уровень критичности инцидента, влияние на бесперебойность функционирования платёжной системы, период восстановления оказания услуг платёжной инфраструктуры и количество участников, на деятельность которых сбой повлиял

непосредственно. Это показывает, что надежность здесь понимается не как абстрактная инженерная характеристика, а как способность сервиса сохранять допустимые параметры работы и восстанавливаться в регламентированные сроки. А значит, внедрение регламентов ИТ-обслуживания выступает не вторичной бюрократической процедурой, а организационным механизмом поддержания отказоустойчивости.

В развитии вышесказанного подчеркнём: регламент ИТ-обслуживания в контуре систем оплаты должен решать сразу несколько задач. Он определяет единую точку регистрации инцидента, критерии его классификации, шкалу критичности, сроки реакции, правила эскалации, зоны ответственности первой и второй линии, порядок коммуникации с подрядчиками, шаблоны диагностики и условия закрытия обращения. Но важно понимать и другое. Регламент работает только тогда, когда он встроен в информационную систему сопровождения. Если документ существует отдельно от операционной практики, он быстро превращается в формальность. Именно поэтому современные российские публикации по ITSM и Service Desk всё чаще связывают качество поддержки с измеримыми метриками и автоматизацией исполнения процессов [5; 7; 10].

Отдельного внимания заслуживает фактор распределённости аптечной сети. В такой структуре ИТ-отдел обслуживает множество точек, различающихся по трафику, графику работы, кадровому составу и техническому окружению. Один и тот же платёжный инцидент в небольшой точке и в аптеке с высокой клиентской нагрузкой имеет разный бизнес-вес. Следовательно, без регламента, в котором зафиксирована матрица приоритета с учетом критичности конкретной точки и наличия обходного сценария, управление надежностью становится ситуативным. Я бы сказал, даже слишком зависимым от опыта конкретного специалиста. А это уже риск.

ITSM-подход и реинжиниринг процессов ИТ-поддержки.

Российские авторы еще в ранних работах по ITSM подчеркивали, что Help Desk или Service Desk должен быть не просто точкой приёма обращений, а последовательным интерфейсом между пользователями и техническими специалистами, встроенным в процессную модель управления ИТ-услугами [4]. Эта мысль не утратила актуальности. Наоборот, для распределённого бизнеса она стала острее. Когда обращения по платёжным инцидентам поступают через телефон, электронную почту, мессенджеры и локальные чаты, ИТ-отдел лишается целостной картины поддержки: сложно оценить соблюдение сроков, трудно проследить повторяемость сбоев, почти невозможно корректно измерить нагрузку и качество реакции. Мы полагаем, что именно здесь и начинается реинжиниринг — не с покупки новой платформы, а с переописания процесса как услуги.

В работах В. А. Тушавина и О. Ю. Латыповой с соавторами важное место занимает идея метрик. Для оценки качества службы поддержки предлагается использовать время реакции, выполнение контрактных сроков, приемку с первого предъявления, а также систему KPI, позволяющую выявлять области, требующие улучшения [5; 7]. Для платёжной инфраструктуры эти показатели необходимо дополнять параметрами, которые ближе к бизнес-результату: длительностью простоя торговой точки, долей критических инцидентов, количеством повторных отказов по одной конфигурационной единице, долей обращений, решённых на первой линии, и временем полного восстановления услуги оплаты. Вернее, если

быть совсем точным, без такого расширения метрики поддержки будут описывать работу ИТ-отдела, но не устойчивость бизнеса.

В ходе исследования мы столкнулись с довольно типичным противоречием. С одной стороны, организации декларируют ориентацию на сервисный подход. С другой — продолжают жить в логике «тушения пожаров», когда каждая новая авария разбирается как уникальная. Но регламент как раз и нужен для того, чтобы типизировать повторяющееся: заранее определить шаблоны первичной диагностики, пороги эскалации, порядок привлечения подрядчика и критерии завершения инцидента. В этом смысле реинжиниринг ИТ-поддержки означает переход от персонализированной практики к воспроизводимому процессу. И все же важно понимать: регламентирование не должно превращаться в бюрократическое удушение. Чем критичнее сервис, тем важнее, чтобы процедура ускоряла реакцию, а не увеличивала число формальных согласований.

Не менее важным аспектом представляется разграничение инцидента, проблемы и изменения. В работах по моделированию инцидентных процессов это различие занимает центральное место, поскольку позволяет не смешивать срочное восстановление услуги с поиском корневой причины и с последующим структурным изменением инфраструктуры [8]. Для платёжного контура данная логика особенно ценна. Если в аптечной сети систематически повторяется сбой обмена между кассовым ПО и внешним сервисом, простое закрытие отдельных инцидентов не повышает отказоустойчивость. Требуется перевод накопленного массива инцидентов в управление проблемой, а затем — в контролируемое изменение. Вот почему ITSM-подход в такой теме полезен не как модная терминология, а как способ разложить реальную эксплуатационную боль на управляемые процессы.

Проектирование архитектуры системы управления ИТ-услугами на базе 1С:ITILUM.

Для реализации регламентной модели сопровождения платёжной инфраструктуры в дипломном проекте логично использовать отечественную платформу 1С:ITILUM. По официальному описанию решение предназначено для автоматизации управления услугами, позволяет организовать работу с обращениями клиентов и сотрудников, вести учет оборудования и программного обеспечения, управлять работами и выявлять узкие места в организации сервиса. Кроме того, 1С прямо указывает, что функциональность реализована с учетом требований стандартов ISO 9000 и ISO 20000, а варианты поставки ориентированы в том числе на крупные компании с многоуровневой службой поддержки и клиентоориентированной сервисной моделью. Для распределённой аптечной сети это важно: здесь нужна не просто тикет-система, а среда, в которой можно описать услуги, роли, SLA и конфигурационные единицы в едином контуре.

С функциональной точки зрения 1С:ITILUM позволяет выстроить целевую архитектуру достаточно последовательно. В официальном перечне возможностей указаны управление каталогом и уровнем услуг, управление обращениями в рамках SLA, единая точка контакта, автоматическая регистрация обращений, управление событиями, проблемами, изменениями, релизами, знаниями, сервисными активами и конфигурациями, а также аналитика и отчетность. Иными словами, платформа закрывает тот минимум процессов, который нужен для перехода от реактивной поддержки к сервисно-регламентному сопровождению. На наш

взгляд, особенно значимы здесь три блока: управление событиями как средство раннего выявления отклонений, управление проблемами как средство борьбы с повторяемостью инцидентов и управление сервисными активами и конфигурациями как основа для точной локализации отказа.

Если перенести это в архитектуру сопровождения платёжного сервиса, целевая модель может быть описана следующим образом. В центре находится каталог услуг, где платёжный контур выделяется в отдельную бизнес-услугу и декомпозируется до сервисных компонентов: эквайринг, кассовое рабочее место, терминал, канал связи, интеграционный обмен, сервисы подрядчика. Каждое обращение регистрируется через единую точку контакта и сразу соотносится с услугой и конкретной конфигурационной единицей. Далее срабатывает матрица приоритетов, учитывающая критичность точки, вид отказа и наличие обходного сценария. После этого инцидент направляется по маршруту эскалации, а система контролирует сроки реакции и восстановления. В случае повторяемости событий создается проблема, и ИТ-отдел получает возможность работать уже не с отдельным проявлением, а с причиной. Всё это может быть реализовано в 1С:ITILUM без логического разрыва между регламентом и системой.

Здесь уместно сделать маленькое отступление. Когда говорят о надежности систем оплаты, чаще всего вспоминают отказоустойчивые серверы, резервные каналы и дублирование оборудования. Это правильно, но для аптечной сети не менее важен другой вопрос: насколько быстро и одинаково в разных точках организация умеет реагировать на типовой сбой. Мне представляется, что именно в этом и скрывается «невидимая» часть отказоустойчивости. Она не стоит в серверной стойке. Она живет в регламенте, базе знаний, корректной карточке конфигурационной единицы и в понятной схеме эскалации. Без этого техническое резервирование тоже работает хуже, чем могло бы.

С учетом сказанного целевая архитектура системы управления ИТ-услугами в распределённой аптечной сети должна включать, помимо собственно 1С:ITILUM, интеграцию с каналами регистрации обращений, источниками событий мониторинга, реестром оборудования и аналитическим блоком отчетности. Но важно понимать: архитектурная состоятельность здесь измеряется не числом интеграций, а степенью поддерживаемости процесса. Если данные о конфигурационной единице неактуальны, база знаний не пополняется, а SLA не отражают реальную критичность точек, то система будет выглядеть внедренной, но фактически не станет инструментом повышения надежности. Именно поэтому проектирование архитектуры должно сопровождаться проектированием регламента. Эти вещи нельзя разводить.

Выводы.

Рассмотрение поставленного вопроса показало, что надежность систем оплаты не исчерпывается техническими характеристиками оборудования, каналов связи и прикладного программного обеспечения. Существенная часть устойчивости формируется на организационном уровне — через регламенты ИТ-обслуживания, задающие единый порядок регистрации сбоев, их анализа, эскалации и устранения. И все же именно этот слой сопровождения в практической деятельности предприятий нередко оказывается недооценённым.

Анализ позволил выявить, что отсутствие формализованных правил обслуживания приводит к неодинаковому качеству реакции на сходные инциденты, затрудняет контроль сроков восстановления и делает ИТ-поддержку слишком зависимой от опыта конкретных специалистов. При внедрении регламентной модели ситуация меняется: обслуживание платёжного сервиса начинает строиться по заранее определённым сценариям, а сама надежность становится управляемой категорией, а не случайным следствием отдельных удачных действий. Это особенно важно для распределённой аптечной сети, где одна и та же техническая неисправность может иметь различный масштаб последствий в зависимости от точки возникновения и нагрузки на неё.

В результате можно сделать вывод, что регламенты ИТ-обслуживания выступают не приложением к инфраструктуре, а самостоятельным инструментом её стабилизации. Их внедрение в сочетании с архитектурой управления ИТ-услугами на базе 1С:ITILUM создаёт основу для снижения простоев, повышения дисциплины сопровождения и выравнивания качества поддержки по всей сети. Дальнейшее развитие темы представляется целесообразным в направлении оценки экономического эффекта от сокращения простоев и построения более детализированной модели сервисных показателей для платёжного контура.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000-1-2021. Информационные технологии. Менеджмент сервисов. Часть 1. Требования к системе менеджмента сервисов. – М.: Стандартинформ, 2022.
2. Федеральный закон от 27.06.2011 № 161-ФЗ «О национальной платёжной системе». – М., 2011.
3. 1С:ITILUM. Описание функциональных возможностей. – М.: ООО «1С-Софт», 2023.
4. Гусарова Н. Ф., Иванов Р. В., Михайленко А. Е. ITSM в ITIL – структурно-образующий подход к проектированию, внедрению и управлению ИТ-системами класса Help (Service) Desk // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2008. – № 3(48). – С. 215–224.
5. Тушавин В. А. Менеджмент качества службы поддержки пользователей в области информационных технологий // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 4. – С. 69–71.
6. Бажанова С. В. Исследование особенностей функционирования службы технической поддержки Service Desk (на примере Сбербанка РФ) // Вестник современных исследований. – 2014. – № 4.
7. Латыпова О. Ю., Агиевич В. А., Нагорянский О. Н. Применение системы показателей для совершенствования процесса управления поддержкой пользователей на основе методологии COBIT 5 // Вестник кибернетики. – 2015. – № 3(19). – С. 186–192.
8. Катков К. А., Гахова Н. Н., Шуваева Е. Ю. Моделирование процессов управления инцидентами в информационной системе ИТ-компании // Научный результат. Информационные технологии. – 2017. – Т. 2. – № 3. – С. 11–17.
9. Панулина А. В. Особенности внедрения ITSM и автоматизации ИТ-процессов организации // Научное образование. – 2020. – № 2(7). – С. 89–92.

10. Юриков Е. С., Романов А. А. Популярные Service Desk решения в Российской Федерации // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2025. – № 1(109). – С. 30–34.

References

1. GOST R ISO/IEC 20000-1-2021. Information technology. Service management. Part 1. Service management system requirements. – Introduction 30.04.2022.
 2. Federal Law of June 27, 2011 No. 161-FZ "On the National Payment System". Moscow, 2011.
 3. 1C:ITIL.IUM. Description of Functional Capabilities. Moscow: 1C-Soft LLC, 2023.
 4. Gusarova N. F., Ivanov R. V., Mikhaylenko A. E. ITSM in ITIL – a structure-forming approach to the design, implementation, and management of Help (Service) Desk class IT systems // Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics, and Optics. 2008, No. 3(48). – pp. 215–224.
 5. Tushavin V. A. Quality Management of User Support Service in the Field of Information Technology // Information Management Systems. – 2010. – No. 4. – pp. 69–71.
 6. Bazhanova S. V. Study of Functioning Features of Service Desk Technical Support Service (using Sberbank of Russia as an Example) // Bulletin of Modern Research. – 2014. – No. 4.
 7. Latypova O. Yu., Agievich V. A., Nagoryansky O. N. Application of a System of Indicators for Improving the User Support Management Process Based on the COBIT 5 Methodology // Bulletin of Cybernetics. – 2015. – No. 3(19). – pp. 186–192.
 8. Katkov K. A., Gakhova N. N., Shuvaeva E. Yu. Modeling of incident management processes in the information system of an IT company // Scientific Result. Information Technologies. - 2017. - Vol. 2. - No. 3. - pp. 11-17.
 9. Panulina A. V. Features of ITSM implementation and automation of IT processes in an organization // Scientific education. - 2020. - No. 2 (7). - pp. 89-92.
 10. Yurikov E. S., Romanov A. A. Popular Service Desk solutions in the Russian Federation // Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University. - 2025. - No. 1 (109). - pp. 30-34.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.415

ИНТЕГРАЦИЯ ITSM-СИСТЕМЫ С 1С:УПП ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНЦИДЕНТАМИ И ИЗМЕНЕНИЯМИ В РАСЧЕТЕ СЕБЕСТОИМОСТИ

¹Абдульманов А.Р., Загируллин Т.А., Шамсутдинова Т.М. (научный руководитель) ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», Уфа, Россия (450001, Республика Башкортостан, город Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34), e-mail: ¹ abdulmanov_aynur@mail.ru

В статье рассматривается интеграция ITSM-системы с 1С:УПП как средство повышения управляемости процессов расчета себестоимости в условиях цифровизации предприятия. Актуальность темы обусловлена тем, что расчет себестоимости в современных информационных контурах зависит не только от корректности методики калькулирования, но и от стабильности ИТ-сервисов, обеспечивающих обработку первичных данных, обмен между подсистемами, выполнение регламентных процедур и внесение изменений в учетную логику. Для многих российских организаций 1С:УПП продолжает оставаться действующим ядром производственно-учетной среды, несмотря на снятие продукта с продаж для новых внедрений, что делает задачу сопровождения и сервисного управления такими системами практически значимой. В работе показано, что инциденты и несогласованные изменения в расчетном контуре способны исказить итоговые показатели себестоимости, увеличивать трудозатраты ИТ-отдела и снижать качество управленческих решений. Обосновано, что применение ITSM-подхода позволяет перевести сопровождение расчетного процесса из реактивной плоскости в регламентированную сервисную модель. В качестве прикладной основы рассмотрены возможности 1С:ITILIUМ, поддерживающего каталог услуг, SLA, управление обращениями, событиями, проблемами, изменениями и конфигурационными единицами. Предлагается архитектурный подход, при котором 1С:УПП выступает источником расчетных данных и бизнес-логики себестоимости, а ITSM-система обеспечивает контроль инцидентов, изменений, маршрутов эскалации и сервисных параметров. На наш взгляд, такая интеграция создает предпосылки для снижения простоев, уменьшения повторяемости ошибок и повышения прозрачности ИТ-поддержки в распределённой аптечной сети.

Ключевые слова: Себестоимость, цифровизация, управленческий учет, ITSM, 1С:ITILIUМ, управление инцидентами, SLA, ИТ-поддержка, распределённая аптечная сеть, стабильность расчетных процессов.

INTEGRATION OF THE ITSM SYSTEM WITH 1С: ITILIUМ FOR INCIDENT MANAGEMENT AND CHANGE MANAGEMENT IN COST CALCULATION

¹ Abdulmanov A.R., Zagirullin T.A., Shamsutdinova T.M. (Academic Supervisor) «BASHKIR STATE AGRARIAN UNIVERSITY», Ufa, Russia (450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50-letiya Oktyabrya str., 34), e-mail: ¹ abdulmanov_aynur@mail.ru

The article examines the relationship between the digitalization of cost calculation processes and the stability of IT services supporting them. The relevance of the topic is determined by the fact that in Russian organizations cost calculation is increasingly performed not as an isolated accounting procedure, but as the result of integration between management accounting, analytical modules, ERP environments and IT support services. In such conditions, an incident in the IT infrastructure affects not only system availability, but also the accuracy of managerial decisions. Based on Russian academic publications, the paper shows that the digital environment changes the logic of cost accounting itself by increasing the role of data integration, analytical platforms and automated costing models. At the same time, these processes become more dependent on the maturity of service management. The paper substantiates the thesis that the stability of digital cost calculation should be ensured not

only by accounting software, but also by ITSM systems that formalize incidents, SLAs, change management, knowledge management and configuration items. The architecture of IT service management based on 1С:ITILUM is considered as an applied framework relevant for a distributed pharmacy chain. In our view, the combination of digitalized accounting and service-oriented IT support creates the conditions for reducing downtime, lowering the number of recurring errors and forming a controllable support model for calculation processes.

Keywords: Cost calculation, digitalization, management accounting, ITSM, 1С:ITILUM, incident management, SLA, IT support, distributed pharmacy chain, stability of calculation processes.

Введение

Цифровизация расчета себестоимости перестала быть узкоспециальной задачей учетного подразделения. Сегодня она затрагивает архитектуру данных, регламенты обмена, устойчивость интеграций и качество ИТ-поддержки. [1] В работах Е. Ю. Вороновой и А. А. Векшиной подчеркивается, что система учета затрат в цифровой среде трансформируется именно за счет интеграции достижений из сферы информационных технологий, а И. А. Наугольнова связывает современное управление затратами с цифровыми инструментами, аналитикой и интеграцией методов. Л. В. Наркевич, в свою очередь, рассматривает аналитическую платформу управления производственными затратами как самостоятельный элемент цифровой экономики. Возникает закономерный вопрос: можно ли считать процесс расчета себестоимости устойчивым, если его ИТ-контур управляется фрагментарно? На наш взгляд, нет. [2]

Степень разработанности темы в российской литературе достаточно заметна, хотя сами исследования чаще идут по двум разным траекториям. С одной стороны, авторы анализируют цифровизацию управленческого учета, автоматизацию затратных моделей и развитие аналитических платформ. С другой стороны, отдельный корпус публикаций посвящен ITSM, качеству Service Desk, инцидент-менеджменту и процессной организации ИТ-поддержки. В статье Н. Ф. Гусаровой, Р. В. Иванова и А. Е. Михайленко ITIL/ITSM рассматривается как структурообразующий подход к проектированию и внедрению систем класса Help/Service Desk, а В. А. Тушавин делает акцент на контроле метрик качества поддержки, включая время реакции и соблюдение контрактных сроков. Однако связка этих направлений, то есть зависимость цифрового расчета себестоимости от зрелости ITSM-практик, в отечественной аналитике разработана заметно слабее. [3]

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы обосновать роль ITSM-систем в обеспечении стабильности цифровых процессов расчета себестоимости и предложить прикладной подход к их поддержке в контексте ВКР, посвященной оптимизации деятельности ИТ-отдела распределённой аптечной сети. Для достижения этой цели в статье решаются взаимосвязанные задачи: раскрывается влияние цифровизации на логику расчета себестоимости, анализируются риски нестабильности расчетного контура, рассматриваются возможности ITSM-подхода для управления этими рисками и описывается целевая архитектура сопровождения на базе 1С:ITILUM. Объектом исследования выступают цифровые процессы расчета себестоимости на предприятии, а предметом — организационно-технологические механизмы обеспечения их стабильности средствами ITSM. Методологическую основу составили анализ литературы, сравнение, обобщение, элементы процессного моделирования и системного анализа. [4] Практическая значимость исследования определяется возможностью использования полученных выводов при проектировании управляемой модели ИТ-поддержки в распределённой аптечной сети.

Цель исследования.

Цель исследования заключается в разработке концептуальной модели интеграции ITSM-системы с 1С:УПП, обеспечивающей контролируемое управление инцидентами и изменениями в процессах расчета себестоимости. Если быть совсем точным, исследование направлено на то, чтобы показать, как совмещение расчетного контура 1С:УПП с сервисными механизмами ITSM позволяет снизить риски ошибок в калькуляции, упорядочить сопровождение изменений и сформировать прозрачную схему взаимодействия между экономическими подразделениями и ИТ-службой.[5]

Материал и методы исследования.

Исходным материалом исследования стали отечественные статьи по цифровизации учета затрат, управлению изменениями в корпоративных информационных системах, ITSM-практикам и сопровождению заявочных процессов, а также официальные сведения о продуктах 1С:УПП и 1С:ITILUM. Для построения аналитической модели использовались методы функционального анализа, сравнительного описания архитектурных ролей двух систем, обобщения профессиональных подходов к change management и incident management, а также элементы проектного моделирования. В ходе рассмотрения 1С:УПП анализировалась как система формирования расчетной логики и данных по себестоимости, тогда как ITSM-платформа — как среда координации обращений, согласования изменений, контроля SLA и фиксации конфигурационных зависимостей. Именно такое разведение функций, на наш взгляд, позволяет описать интеграцию не абстрактно, а как прикладной механизм повышения устойчивости расчетного процесса.

Расчет себестоимости в 1С:УПП как объект сервисного управления.

Официальное описание 1С:УПП показывает, что система охватывает основные контуры управления и учета на производственном предприятии, включая планирование производства, управление затратами и расчет себестоимости, финансы, склад, продажи, закупки и мониторинг показателей деятельности. При этом система используется сразу несколькими подразделениями, среди которых планово-экономический отдел, бухгалтерия и ИТ-служба. Следовательно, расчет себестоимости здесь не является локальной функцией одного пользователя. Он опирается на широкий набор взаимосвязанных данных и процессов. А значит, сбой в обработке документов, обмене, справочниках или расчетной логике затрагивает не только ИТ-контур, но и экономический результат.

Российские публикации по цифровизации управленческого учета подтверждают эту логику. В исследованиях отмечается, что цифровая среда меняет саму систему учета затрат, усиливает роль интеграции информационных технологий и требует более гибких подходов к управлению затратами. Иначе говоря, цифровизация делает калькуляцию одновременно более оперативной и более зависимой от устойчивости информационной среды. Если раньше ошибка могла остаться на уровне отдельного расчета, то теперь она распространяется по взаимосвязанным контурам быстрее. Это особенно чувствительно для предприятий, где расчет себестоимости участвует в управленческих решениях, ценообразовании и контроле эффективности.[6]

На наш взгляд, при работе с 1С:УПП важно различать два типа угроз стабильности расчетного контура. Первый связан с инцидентами: это ошибки выполнения регламентной процедуры, недоступность сервиса, проблемы с данными, нарушение обмена или некорректная обработка пользовательского действия. Второй связан с изменениями: корректировкой правил распределения затрат, доработкой обработки, обновлением конфигурации, изменением структуры справочников или маршрутов обмена. И все же на практике эти два класса событий часто смешиваются. [7] В результате ИТ-отдел устраняет последствия, но не формирует управляемую модель контроля. Между тем литература по управлению изменениями в информационных системах подчеркивает, что именно системное согласование и приоритизация изменений позволяют снижать риски для качества обслуживания и бизнес-процессов.

Для распределённой аптечной сети этот аспект приобретает прикладной смысл. Расчет себестоимости здесь может зависеть от цепочки товарных движений, особенностей закупочных партий, логистики и учетных правил, а ИТ-отдел при этом обслуживает не одну локальную установку, а распределённую среду. Небольшое отступление здесь уместно: иногда кажется, что инцидент в учетной системе — это просто неудобство для экономиста. Но когда задерживается или искажается расчетный результат, страдает уже не один сотрудник, а весь цикл управленческого решения. Именно поэтому устойчивость расчетного процесса следует рассматривать как сервисную характеристику.

ITSM-подход как основа управления инцидентами и изменениями.

ITSM в российской литературе рассматривается как подход, ориентированный не на отдельные технологии, а на предоставление ИТ-услуг, соответствующих требованиям бизнеса. В статье Н. Ф. Гусаровой, Р. В. Иванова и А. Е. Михайленко ITSM/ITIL описывается как структурообразующий подход к проектированию, внедрению и управлению системами класса Help/Service Desk. ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000-1-2021 закрепляет сервисную рамку на уровне требований к системе менеджмента сервисов. Отсюда следует важный для нашей темы вывод: если расчет себестоимости критичен для бизнеса, его сопровождение должно быть оформлено как услуга с понятными параметрами, ответственностью и правилами реагирования.

В работах по качеству службы поддержки подчеркивается значение реинжиниринга процессов и последующего контроля метрик, включая время реакции, приемку с первого предъявления и соблюдение контрактных сроков. Для расчетного контура себестоимости эти метрики, конечно, необходимо адаптировать. Но сама идея сохраняется: инцидент должен быть не просто зафиксирован, а обработан по регламенту, с контролем сроков и качества результата. Мы полагаем, что именно здесь ITSM перестает быть «внешней» ИТ-методологией и становится организационной основой надежности учетного процесса.[8]

Отдельного внимания заслуживает управление изменениями. Российские публикации по этой теме акцентируют, что изменение в информационной системе должно быть обосновано, согласовано и встроено в модель контроля, иначе оно само становится источником новых сбоев. Для 1С:УПП это особенно важно: любые изменения, затрагивающие расчет себестоимости, способны повлиять на алгоритмы распределения затрат, структуру аналитики или правила отражения операций. А значит, change management здесь нужен не для формальности, а для снижения риска неконтролируемых последствий.

Возможности 1С:ITILUM хорошо ложатся на такую постановку задачи. Официальное описание продукта указывает на управление каталогом и уровнем услуг, регистрацию и обработку обращений в рамках SLA, управление событиями, проблемами и изменениями, ведение базы известных ошибок и управление сервисными активами и конфигурационными единицами. На странице функциональных возможностей отдельно отмечено, что обращения могут классифицироваться как инциденты, запросы на обслуживание и запросы на изменение, что SLA позволяют определять временные пороги для контроля и эскалации, а CMDB поддерживает актуальную информацию о конфигурационных единицах и их взаимосвязях. Более того, управление изменениями в системе направлено на обеспечение согласованного качества услуг и надежности эксплуатации сервисных активов. Это уже не просто тикет-система. Это, вернее, сервисный каркас сопровождения.

Целевая архитектура интеграции 1С:УПП и 1С:ITILUM.

В рамках настоящей статьи мы предлагаем рассматривать интеграцию 1С:УПП и 1С:ITILUM как двухконтурную архитектуру. 1С:УПП в этой модели сохраняет роль ядра, в котором ведутся данные, участвующие в расчете себестоимости, и исполняется прикладная бизнес-логика калькулирования. 1С:ITILUM, в свою очередь, становится сервисной оболочкой, обеспечивающей регистрацию инцидентов, обработку запросов на изменение, контроль SLA, учет конфигурационных единиц, событий и известных ошибок. Такое распределение ролей не противоречит официальным возможностям продуктов: УПП охватывает управление затратами и расчет себестоимости, а ITILUM ориентирован на управление сервисным подразделением и обращениями, в том числе в многоуровневой модели обслуживания.

Практически это означает следующее. [9] Процесс расчета себестоимости должен быть описан в каталоге услуг ITSM-системы как бизнес-услуга или набор взаимосвязанных услуг с указанием владельца, потребителей, связанных конфигурационных единиц и SLA. Инциденты, возникающие при закрытии периода, выполнении регламентной операции, расчете распределения затрат или получении выходных отчетов, регистрируются не хаотично, а в едином контуре. Запросы на изменение, касающиеся логики калькулирования, справочников, настроек распределения, доработок или обменов, проходят согласование как отдельный процесс, а не маскируются под «обычную техническую просьбу». Мне представляется неслучайным, что именно отсутствие такого разграничения обычно и порождает накопление скрытых ошибок.

Для ИТ-отдела распределённой аптечной сети предложенная модель дает несколько эффектов. Во-первых, снижается зависимость от неформального знания отдельных специалистов, поскольку знания о типовых ошибках, обходных решениях и корневых причинах переводятся в управляемую базу. Во-вторых, появляется возможность отделить инциденты от изменений и тем самым сократить долю повторяющихся сбоев. В-третьих, сервисные показатели становятся измеримыми: можно контролировать время реакции на инциденты расчетного контура, соблюдение SLA, длительность восстановления, повторяемость ошибок после изменений. Наконец, архитектура становится более прозрачной для руководителя ИТ-отдела, поскольку связь между услугой, заявкой, конфигурационной единицей и ответственным исполнителем перестает быть скрытой.

Но важно понимать и другое. Интеграция ITSM-системы с 1С:УПП не является самоцелью. Она дает эффект только тогда, когда сопровождается реинжинирингом процессов ИТ-поддержки и проектированием сервисной архитектуры. Если предприятие просто добавит новую систему заявок, но не пересмотрит правила классификации инцидентов, согласования изменений и актуализации конфигурационной базы, результат окажется ограниченным. Поэтому в логике ВКР, к которой относится данная статья, интеграцию следует трактовать как часть более широкой задачи — формирования управляемой модели ИТ-поддержки на базе 1С:ITILUM. А значит, техническая интеграция должна дополняться организационной. Иначе не работает.

Выводы.

Исследование показало, что интеграция ITSM-системы с 1С:УПП позволяет по-новому взглянуть на сопровождение расчёта себестоимости: не как на совокупность разрозненных обращений и доработок, а как на организованный процесс управления сервисом, чувствительным к инцидентам и изменениям. Для предприятий, продолжающих эксплуатировать 1С:УПП как ядро производственно-учётной среды, этот вопрос имеет не теоретическое, а вполне прикладное значение.[10]

В ходе работы было обосновано, что проблемы расчётного контура возникают не только из-за сбоев в исполнении процедур, но и из-за несогласованных изменений, недостаточной прозрачности зависимостей между модулями и отсутствия единой среды, в которой фиксируются инциденты, запросы на изменение, статусы согласования и связанные конфигурационные единицы. Интеграция с ITSM-системой позволяет устранить эту фрагментарность. В такой модели 1С:УПП сохраняет роль источника расчётной логики и данных, тогда как 1С:ITILUM обеспечивает сервисное управление, контроль SLA, маршрутизацию обращений, фиксацию изменений и накопление знаний по повторяющимся ошибкам.

Таким образом, практический смысл интеграции заключается в повышении управляемости расчётного процесса и снижении его зависимости от неформальных действий отдельных сотрудников. В условиях распределённой аптечной сети это создаёт основу для более стабильной работы ИТ-отдела, уменьшения числа повторных инцидентов и повышения прозрачности сопровождения. Дальнейшая разработка темы может быть связана с детализацией схем обмена между системами, формированием KPI для контуров incident и change management, а также с оценкой того, как управляемость изменений влияет на точность и своевременность расчёта себестоимости.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000-1-2021. Информационные технологии. Менеджмент сервисов. Часть 1. Требования к системе менеджмента сервисов. – М.: Стандартинформ, 2022.
2. 1С:Управление производственным предприятием 8. Официальное описание продукта. – М.: Фирма «1С», 2026.
3. 1С:ITILUM. Официальное описание решения. – М.: Фирма «1С», 2026.
4. 1С:ITILUM. Описание функциональных возможностей. – М.: ООО «1С-Софт», 2023.
5. Гусарова Н. Ф., Иванов Р. В., Михайленко А. Е. ITSM в ITIL – структурно-образующий подход к проектированию, внедрению и управлению ИТ-системами класса Help (Service)

- Абдульманов А.Р., Загируллин Т.А. Интеграция ITSM-системы с 1С: УПП для управления инцидентами и изменениями в расчете себестоимости // *Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности*. – 2026. – Т. 11 № 4(66) с. 144–150
-
- Desk // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2008. – № 48. – С. 211–220.
6. Тушавин В. А. Менеджмент качества службы поддержки пользователей в области информационных технологий // *Информационно-управляющие системы*. – 2010. – № 4. – С. 69–71.
 7. Старкова Н. О., Старков И. С. Применение современных подходов к управлению изменениями в информационной системе предприятия // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2011. – № 66. – С. 194–205.
 8. Латышева З. И., Николенко Д. В. Цифровизация управленческого учета в России: современные тенденции и перспективы // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2021. – № 2. – С. 74–80.
 9. Воронова Е. Ю., Векшина А. А. О трансформации системы учета затрат в условиях цифровой среды // *Общество: политика, экономика, право*. – 2023. – № 1(114). – С. 39–43.
 10. Наугольнова И. А. Цифровая трансформация и инновационные подходы к управлению затратами: теоретический анализ и перспективы развития // *Креативная экономика*. – 2023. – Т. 17. – № 4. – С. 1293–1312.

References

1. GOST R ISO/IEC 20000-1-2021. Information technology. Service management. Part 1. Service management system requirements. Moscow: Standartinform, 2022.
 2. 1С: Manufacturing Enterprise Management 8. Official product description. Moscow: 1С Company, 2026.
 3. 1С:ITILIUМ. Official solution description. Moscow: 1С Company, 2026.
 4. 1С:ITILIUМ. Description of functionality. – М.: ООО «1С-Soft», 2023.
 5. Gusarova N. F., Ivanov R. V., Mikhayilenko A. E. ITSM in ITIL – a structure-forming approach to the design, implementation and management of IT systems of the Help (Service) Desk class // *Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics*. – 2008. – No. 48. – pp. 211–220.
 6. Tushavin V. A. Quality Management of User Support Service in the Field of Information Technology // *Information Management Systems*. – 2010. – No. 4. – pp. 69–71.
 7. Starkova N. O., Starkov I. S. Application of Modern Approaches to Change Management in the Enterprise Information System // *Polythematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*. – 2011. – No. 66. – pp. 194–205.
 8. Latysheva Z. I., Nikolenko D. V. Digitalization of Management Accounting in Russia: Current Trends and Prospects // *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. – 2021. – No. 2. – pp. 74–80.
 9. Voronova E. Yu., Vekshina A. A. On the Transformation of the Cost Accounting System in the Digital Environment // *Society: Politics, Economics, Law*. – 2023. – No. 1(114). – pp. 39–43.
 10. Naugolnova I. A. Digital Transformation and Innovative Approaches to Cost Management: Theoretical Analysis and Development Prospects // *Creative Economy*. – 2023. – Vol. 17. – No. 4. – pp. 1293–1312.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.2:004.72

АРХИТЕКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СВЯЗАННОСТИ УРОВНЕЙ УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОБМЕНА СООБЩЕНИЯМИ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

Сорокин А.А.

ФГБОУ ВО «МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», Москва, Россия (119454, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 78, стр. 4), e-mail: skywireneo@gmail.com

Цель исследования - выявить архитектурные разрывы в вертикали управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) на основе анализа нормативов ICAO и существующих протоколов. **Методы:** сравнительный анализ стандартов (Doc 10019, UTM Framework, Annex 2, 6, 10), декомпозиция архитектуры на три уровня (стратегический, тактический, исполнительский) и формализация проблемы «вертикальной разобщённости».

Ключевые слова: Беспилотные авиационные системы, управление воздушным движением, U-Space, CPDLC, архитектурная связанность, вертикальная интеграция, UTM, C2 Link.

ARCHITECTURAL ANALYSIS OF VERTICAL CONNECTIVITY OF CONTROL LEVELS IN UNMANNED AIRCRAFT MESSAGING SYSTEMS

Sorokin A.A.

MIREA - RUSSIAN TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, Moscow, Russia (119454, Moscow, avenue Vernadsky, 78, b. 4), e-mail: skywireneo@gmail.com

The purpose of the study is to identify architectural gaps in the vertical control of unmanned aerial vehicles (UAVs) based on a systematic analysis of ICAO regulations and existing protocols. Methods: comparative analysis of standards (Doc 10019, UTM Framework, Annex 2, 6, 10), decomposition of architecture into three levels (strategic, tactical, executive) and formalization of the problem of "vertical separation".

Keywords: Unmanned aircraft systems, air traffic control, U-Space, CPDLC, architectural connectivity, vertical integration, UTM, C2 Link.

Введение

В настоящее время мы наблюдаем рост числа беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). По прогнозам аналитиков, глобальный рынок гражданских беспилотных авиационных систем (БАС) к 2030 году достигнет 138 млрд долларов США, то есть более чем в три раза превышает показатели 2025 года [1].

Но ввод БПЛА в большом количестве ставит важный вопрос: готова ли текущая система управления воздушным движением (УВД) к работе со множеством БПЛА и вообще работе с БПЛА? Сейчас каждый производитель БПЛА предлагает свои собственные протоколы связи, форматы телеметрии и интерфейсы управления. Единые чёткие стандарты, как в пилотируемой авиации, практически отсутствуют.

В исследовании рассматривается архитектурный анализ систем обмена управляющими сообщениями в беспилотной авиации. Объект исследования - процесс передачи команд от

внешних систем управления воздушным движением в целом к бортовому оборудованию конкретного БПЛА.

Задачи исследования:

- Провести анализ систем обмена сообщениями пилотируемой и беспилотной авиации.
- Разбить архитектуру управления БПЛА на уровни и формализовать проблему «вертикальной разобщённости» между ними.
- Исследовать существующие реализации (CDDLС, PansaUTM, U-Space) на предмет устранения архитектурных разрывов.
- Сформулировать требования к архитектуре систем обмена управляющими сообщениями, обеспечивающей сквозной контроль исполнения команд.

1. Анализ существующих подходов к обмену сообщениями в авиации

1.1. Пилотируемая авиация: устоявшиеся стандарты

В пилотируемой авиации система обмена сообщениями формировалась десятилетиями и основывается на двух каналах: голосовой радиосвязи и цифровых протоколах передачи данных.

Голосовая связь - основной способ взаимодействия диспетчера и пилота [2]. Но голосовая связь неприменима для БПЛА из-за отсутствия машиночитаемости и зависимости от человеческого фактора.

Для решения проблем голосовой связи были разработаны цифровые протоколы. Важнейший из них для нас - CPDLC (Controller-Pilot Data Link Communications) [3]. CPDLC позволяет обмениваться стандартизированными сообщениями, каждое из которых имеет однозначную трактовку и атрибут ответа (WILCO, UNABLE, STANDBY и др.).

В итоге, ориентация на человеческий фактор и отсутствие встроенных механизмов автоматического контроля исполнения (подтверждается намерение выполнить команду, но отсутствует автоматический контроль фактического исполнения - факт выполнения подтверждается отдельным отчётом) не позволяют использовать описанные выше протоколы и методы в беспилотной авиации, где требуется полностью автоматизированный цикл управления и, что самое важное, контроль в целях безопасности. В пилотируемой авиации контроль осуществляет человек. Для беспилотной авиации с огромным количеством бортов (судя по прогнозам аналитиков [1]) требуется автоматизация всего цикла обработки команды без участия человека, ведь человек не сможет справиться с таким большим траффиком. CPDLC такой возможности не предусматривает - протокол ориентирован на пилота-человек-пилота, а не на автопилот. Для наглядности покажем это в Таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение каналов связи

Критерий	Голосовая связь	CPDLC	Требование для БПЛА
Масштабируемость	~десятки бортов	~десятки бортов (из-за зависимости от человека)	1000+ бортов
Контроль исполнения	Человек	Намерение (WILCO)	Полный автоматический цикл
Машиночитаемость	Нет	Частично	Полная

Источник: анализ автора

На основе данного анализа можно сказать, что существующие в пилотируемой авиации способы передачи сообщений не подходят для беспилотной авиации.

1.2. Беспилотная авиация: уровни обмена сообщениями

Пилотируемая авиация строго следует правилам и инструкциям, а беспилотная авиация, наоборот, росла как много отдельных систем от разных производителей, которые условно можно разделить на три уровня.

Уровень 1: низкоуровневое прямое управление.

На этом уровне мы напрямую связываемся с полётным контроллером. Самым популярным протоколом здесь является MAVLink (Micro Air Vehicle Link) [4]. С точки зрения общего управления это протокол прямого управления исполнительными механизмами воздушного судна. Он не предназначен для глобального управления. Протокол изначально разработан без встроенных механизмов шифрования, аутентификации и гарантированной доставки.

Уровень 2: командная связь (C2 Link) между оператором и дроном.

В терминологии ICAO этот канал определяется как линия управления и контроля (C2 Link) [5]. На C2 Link передают команды навигации, меняют высоту, меняют скорость, отправляют телеметрию. Но C2 Link не задаёт единого формата для высокоуровневых команд. Часто формат зависит от конкретного производителя радиооборудования или от оператора сети. В этом и есть главная проблема: развиваются альтернативные возможности связи с БПЛА при помощи различных механизмов на подобии вышек сотовой связи, но отсутствует единый стандартизированный подход к формату и структуре передаваемых команд.

Уровень 3: системы управления беспилотным движением (UTM).

Система UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) работает как автоматический диспетчер для дронов. Она обычно не управляет дроном напрямую, а следит, чтобы множество БПЛА могли летать в одном воздушном пространстве без конфликтов. Система UTM предоставляет сервисы: идентификацию, мониторинг, разрешение конфликтов [6].

Рассмотрим возможный сценарий: UTM обнаруживает опасное сближение двух дронов и формирует команду для решения проблемы. Как эта команда достигает БПЛА (Таблица 2)?

Таблица 2 - Проблема связанности уровней

Этап	Уровень	Что происходит	Проблема
1	UTM (3)	Формируется команда	Нет стандартного формата для управляющих команд
2	Передача	UTM - оператор	Нет стандартизированного интерфейса между UTM и наземной станцией
3	C2 Link (2)	Оператор интерпретирует и отправляет	Команду преобразует человек или нестандартное ПО
4	MAVLink (1)	Дрон исполняет примитивы	Нет обратной связи о статусе выполнения или телеметрии для UTM

Источник: анализ автора

На каждом переходе требуется человек или используется узконаправленное ПО, происходит добавление задержки и введение неопределённости обработки команды. UTM не получает подтверждения, что команда принята к исполнению, не видит прогресса выполнения, не знает о фактическом выполнении. Эта «серая зона» между UTM, C2 Link и конкретным БПЛА требует создания нового архитектурного автоматизированного подхода, обеспечивающего контроль исполнения и чёткую связь между уровнями. Под «серой зоной» понимается отсутствие единого интерфейса и согласованности между уровнями управления (UTM, C2 Link, бортовой контроллер), что приводит к невозможности доставки команды и отслеживания состояния выполнения управляющей команды.

1.3. Нормативная база ICAO и её влияние на архитектуру

Международная организация гражданской авиации (ICAO) формирует стандарты и рекомендации для стран-участниц, в том числе и России. Чаще всего правила касаются пилотируемой авиации, но общие правила так же работают в беспилотной. Выделим для систем обмена сообщениями главные документы.

Annex 2 - Rules of the Air [7] требует от экипажа соблюдать указания УВД. Для БПЛА это требование означает необходимость гарантированного и контролируемого исполнения команд.

Annex 10 - Aeronautical Telecommunications [8] задаёт, как выглядят сообщения и какие требования к надёжности передачи данных нужны.

Doc 4444 (PANS-ATM) [3] задаёт процедуры УВД. Для беспилотных систем этот документ - источник типовых сценариев взаимодействия.

Doc 10019 - Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems [5] указывает основную информацию о C2 Link. Документ указывает, что линия C2 должна обеспечивать передачу команд управления и телеметрии с предсказуемой задержкой и минимальными потерями. Но, хотя требования описаны подробно, Doc 10019 не задаёт единого способа организации обмена сообщениями на уровне прикладных протоколов. Вместо этого Doc 10019 оставляет выбор реализации разработчикам, и поэтому появляется множество несовместимых решений.

В последние годы ИКАО приняла большие поправки, которые вводят новые требования к беспилотным системам. Annex 6, Part IV [9] говорит, что канал C2 должен обеспечивать безопасную и непрерывную передачу управляющих команд с защитой от несанкционированного доступа, подмены и перехвата. Концепция UTM Framework [6] описывает архитектуру управления беспилотным движением как распределённую систему цифровых сервисов с чёткими границами между UTM и традиционным ATM (Air Traffic Management), необходимостью единых форматов данных и обязательной однозначной идентификацией каждого дрона.

Анализ документов показывает, что ИКАО задаёт принципы и ограничения для беспилотных систем, но оставляет неопределёнными способы реализации. UTM Framework рекомендует распределённую архитектуру, но не стандартизирует форматы сообщений. Doc 10019 требует предсказуемости при Lost C2 Link, но не определяет механизмов. Так ИКАО даёт возможность разработать отдельную архитектуру для БПЛА и соединить её с пилотируемой авиацией через шлюзы.

2. Обзор существующих реализаций и их ограничений

2.1. CPDLC и его адаптации для беспилотных систем

CPDLC - это показательная версия реализации требований ИКАО к цифровому обмену сообщениями. Протокол использует набор из стандартных сообщений с уникальными кодами и атрибутами ответа. Каждое сообщение имеет уникальный идентификатор, тип, содержание и параметры. CPDLC так же поддерживает приоритизацию сообщений (важные сообщения будут доставлены पहले остальных) и ведение журналов для дальнейшего анализа [3].

Но архитектура CPDLC, описанная в руководстве по эксплуатации [10], разработана для пилотируемой авиации и не учитывает требования беспилотной. На основе анализа этой архитектуры можно выделить следующие ограничения:

- ориентация на человека - сообщения предназначены для чтения пилотом, а не для автоматической обработки. Они не содержат полной необходимой информации для автоматизированной системы;
- отсутствие встроенного контроля исполнения - подтверждается только факт получения, а не выполнения команды. Выполнение команды подтверждается отдельно пилотом и контролируется человеком на земле;
- недостаточная масштабируемость - протокол рассчитан на взаимодействие диспетчера (человека), что уже ограничивает возможности на его использование при тысячах воздушных судов в одном районе.

2.2. Национальные системы (PansaUTM) и протокол CDDLС

Польская национальная система PansaUTM [11] стала одной из первых в мире, объединивших управление пилотируемыми и беспилотными судами. В основе её работы лежит протокол CDDLС (Controller-Drone Data Link Communications) - протокол, позиционируемый как адаптация CPDLC для беспилотных систем [12]. Система позволяет автоматически отправлять и согласовывать планы полётов, идентифицировать БПЛА, а также обеспечивает двустороннюю коммуникацию между диспетчерскими службами и оператором БПЛА через мобильное приложение DroneRadar.

Несмотря на возможности, CDDLC сохраняет ограничения, унаследованные от CPDLC: неполный контроль исполнения (подтверждается факт получения, но не факт выполнения), ограниченную масштабируемость, участие человека между UTM и БПЛА, и привязку к национальной инфраструктуре. Кроме того, система не имеет открытого описания протокола, что затрудняет её адаптацию для глобального применения.

Архитектурно PansaUTM реализует частичное закрытие «серой зоны», описанной в п. 1.2. UTM-система формирует разрешения и ограничения, которые передаются оператору через мобильное приложение DroneRadar. Однако дальнейшая цепочка от оператора к дрону остаётся вне контроля UTM: оператор вручную управляет полётом через стандартный C2 Link, CDDLC здесь не применяется. Таким образом, интеграция достигнута на уровне планирования, но не на уровне тактического управления в реальном времени.

Таким образом, PansaUTM демонстрирует достижимость интеграции UTM для планирования полётов, но не решают проблему автоматизированного управления в реальном времени.

2.3. Европейская концепция U-Space

В Европейском союзе создают единую концепцию U-Space [13]. Это набор цифровых сервисов и процедур, которые обеспечивают безопасную, эффективную и автоматизированную интеграцию БПЛА в воздушное пространство. Основная идея - перейти от диспетчерской модели к высокоавтоматизированной цифровой системе обмена информацией.

Концепция делит все сервисы на четыре уровня: U1 (электронная идентификация и геозоны), U2 (планирование полётов и управление трафиком), U3 (управление в реальном времени и разрешение конфликтов), U4 (высокая степень автоматизации и взаимодействие с пилотируемой авиацией). В контексте обмена управляющими сообщениями важны уровни U3 и U4, где требуется передача команд и контроль их исполнения для большого количества БПЛА.

Архитектура U-Space рассматривает участие разных агентов: операторов БПЛА, провайдеров услуг U-Space (USS), поставщиков данных и органов управления воздушным движением. Взаимодействие здесь происходит через программные интерфейсы (API) в машиночитаемых форматах. Однако U-Space определяет сервисы и логические интерфейсы, но не стандартизирует транспортные протоколы и форматы данных уровня приложения для управления в реальном времени.

Исследовательские проекты в рамках U-Space изучают применение разных протоколов для разных типов взаимодействий. Для нас интересна именно передача управляющих сообщений БПЛА. Исследование возможных протоколов обмена данными для такой системы [14] предлагает использовать для взаимодействия UTM и БПЛА модель publish–subscribe с протоколом MQTT или ZeroMQ благодаря их лёгкости, производительности, масштабируемости и способности работать в условиях нестабильных соединений. К тому же протокол MQTT работает поверх TCP, что позволяет реализовать гарантированную доставку управляющих сообщений. Однако на уровне прикладного протокола - структуры сообщений, структуры статусов исполнения, механизмов обратной связи - единого стандарта не

существует. C2 Link - канал управления между оператором и дроном остаётся вне зоны стандартизации U-Space, оставляя «серую зону» между UTM и бортовым оборудованием.

3. Проблема разобщённости уровней и требования к архитектуре систем обмена сообщениями

Проведённый анализ показывает, что текущие системы обмена сообщениями не покрывают полностью нужды беспилотной авиации. Главная проблема же - отсутствие единой вертикали управления, которая бы связывала все уровни взаимодействия между внешними системами и БПЛА. При каждом переходе между уровнями (L3-L2, L2-L1) требуется участие человека, что приводит к задержке. UTM не получает подтверждения, что команда принята к исполнению автопилотом, не видит промежуточных статусов, не знает о фактическом выполнении. Эта «серая зона» между стратегическим планированием (UTM) и тактическим управлением (C2 Link) препятствует масштабированию беспилотной авиации. UTM может сформировать команду (например, изменение параметров полёта (высоты, маршрута)), но стандартизированных требований к содержанию команды и механизма её доставки, преобразования в команду для автопилота и контроля исполнения не существует.

Существующие протоколы ориентированы на человека (CPDLC, CDDLC) и не предусматривают автоматического контроля исполнения, а решения производителей дронов не взаимодействуют друг с другом и с внешними системами управления. Для беспилотных систем критически важен автоматический контроль исполнения управляющих команд, который может быть представлен в виде модели жизненного цикла команды (CREATED - SENT - RECEIVED - ACCEPTED / REJECTED - EXECUTING - DONE / FAILED). Переходы между состояниями показывают этапы обработки команды: от формирования на стороне внешней системы управления до подтверждённого завершения или фиксации ошибки исполнения. Каждое состояние должно сопровождаться обратной связью, которую получает UTM. Отсутствие стандартизированной реализации подобной модели в существующих протоколах является основной причиной вертикальной разобщённости.

А нормативные требования ICAO задают лишь общие принципы, но не определяют конкретные протоколы и форматы.

Таким образом, требуется создание новой архитектуры обмена сообщениями, которая должна соблюдать следующие требования:

- Полный цикл контроля исполнения. Система должна обеспечивать не просто доставку команды, но и отслеживание её выполнения: подтверждение получения, принятие к исполнению, промежуточные статусы, уведомление о завершении или ошибке. Это требование основано на положении Annex 2 ICAO о необходимости контролируемого исполнения команд УВД.
- Машиночитаемые форматы и компактность. Сообщения должны быть оптимизированы для автоматической обработки и передачи по каналам с ограниченной пропускной способностью.
- Безопасность. Обязательна аутентификация (сертификаты X.509), шифрование (TLS) и защита от повторных атак на уровне как транспортного протокола, так и прикладного.

- Масштабируемость. Архитектура должна поддерживать тысячи одновременно подключённых дронов.
- Идентификация. Каждый дрон должен иметь уникальный идентификатор на основе Annex 7 ICAO. Данный идентификатор используется во всех сообщениях для точного определения дрона-получателя.
- Интероперабельность. Необходима возможность интеграции с существующими системами пилотируемой авиации (например, CPDLC) и UTM-платформами через специальные шлюзы. Это требование критично для внедрения беспилотной авиации в общее воздушное пространство с пилотируемой.
- Эволюционность. Архитектура системы не должна быть жёстко привязана к текущим стандартам, позволяя в будущем отключить неиспользуемые шлюзы без полной перестройки системы.
- Предсказуемость при потере связи. Требуются стандартизированные процедуры Lost C2 Link с чётко определёнными таймаутами и поведением системы при нарушении коммуникации.

Требования сформулированы на основе:

- анализа ограничений CPDLC (раздел 2.1),
- недостатков C2 Link (раздел 1.2),
- нормативных требований ICAO (раздел 1.3).

Сформулированные требования являются следствием выявленного архитектурного разрыва и направлены на его устранение. Перспективным представляется переход к распределённой федеративной архитектуре с использованием легковесных протоколов (MQTT) и бинарных форматов сериализации (Protocol Buffers) для обеспечения сквозного контроля исполнения команд. Разработка конкретной спецификации протокола прикладного уровня (структура сообщений, модель состояний, форматы кадров) является предметом дальнейших исследований.

Заключение

В статье проведён анализ подходов к обмену управляющими сообщениями в пилотируемой и беспилотной авиации. Научная новизна заключается в формализации проблемы вертикальной разобщённости уровней управления БПЛА, позволяющей формализовать проблему «серой зоны» между уровнями и введении модели жизненного цикла управляющей команды, обеспечивающей сквозной контроль исполнения. Установлено, что протокол CPDLC и современные решения (MAVLink, CDDLC) не обеспечивают сквозной контроль исполнения команд. Сформулированы требования к архитектуре, направленные на устранение архитектурных разрывов: полный цикл контроля, машиночитаемые форматы, встроенные механизмы безопасности и предсказуемое поведение при потере связи.

Список литературы

1. Aeronext. Глобальный рынок беспилотных авиационных систем: аналитика 2025–2030 [Электронный ресурс]. – URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/063901 (дата обращения: 26.03.2026).
2. ICAO. Doc 9432 – Manual of Radiotelephony. – Автор: ICAO, 2007.

3. ICAO. Doc 4444 – Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management. – Автор: ICAO, 2016.
4. MAVLink Developer Guide [Электронный ресурс]. – URL: <https://mavlink.io/en/> (дата обращения: 26.03.2026).
5. ICAO. Doc 10019 – Руководство по дистанционно пилотируемым авиационным системам (ДПАС). – Автор: ICAO, 2015
6. ICAO. UTM Framework – Edition 4 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.icao.int/sites/default/files/left-menu-pdfs/UTM%20Framework%20Edition%204.pdf> (дата обращения: 26.03.2026).
7. ICAO. Annex 2 – Rules of the Air. – Автор: ICAO, 2024.
8. ICAO. Annex 10 – Aeronautical Telecommunications. – Автор: ICAO, 2020.
9. ICAO. Annex 6, Part IV – International Operations – Remotely Piloted Aircraft Systems. – Автор: ICAO, 2018.
10. Eurocontrol. CPDLC-ATS-GUIDANCE [Электронный ресурс]. – URL: <https://ext.eurocontrol.int/WikiLink/images/2/24/CPDLC-ATS-GUIDANCE.pdf> (дата обращения: 26.03.2026).
11. PANSAs. PansaUTM – a system supporting the digital coordination of the UAV flights [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.pansa.pl/en/pansa-has-started-production-tests-of-pansautm-a-system-supporting-the-digital-coordination-of-the-uav-flights/> (дата обращения: 26.03.2026).
12. 5GDrones. D2.1 – Initial definition of the trial controller architecture mechanisms and APIs [Электронный ресурс]. – URL: https://5gdrones.eu/wp-content/uploads/2020/06/D2.1-Initial-definition-of-the-trial-controller-architecture-mechanisms-and-APIs_v1.1.pdf (дата обращения: 26.03.2026).
13. U-SPACE CONCEPT OF OPERATIONS (CONOPS) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20CONOPS%204th%20edition.pdf> (дата обращения: 26.03.2026).
14. Mdpi – Latency Analysis of Push–Pull and Publish–Subscribe Communication Protocols in U-Space Systems [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/14/12/2453> (дата обращения: 26.03.2026).

References

1. Aeronext. Global Unmanned Aircraft Systems Market: Analytics 2025–2030 [Electronic resource]. – URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/063901 (date of access: March 26, 2026).
2. ICAO. Doc 9432 – Manual of Radiotelephony. – Author: ICAO, 2007.
3. ICAO. Doc 4444 – Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management. – Author: ICAO, 2016.
4. MAVLink Developer Guide [Electronic resource]. – URL: <https://mavlink.io/en/> (date of access: March 26, 2026).
5. ICAO. Doc 10019 – Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS). – Author: ICAO, 2015

6. ICAO. UTM Framework – Edition 4 [Electronic resource]. – URL: <https://www.icao.int/sites/default/files/left-menu-pdfs/UTM%20Framework%20Edition%204.pdf> (accessed: 26.03.2026).
 7. ICAO. Annex 2 – Rules of the Air. – Author: ICAO, 2024.
 8. ICAO. Annex 10 – Aeronautical Telecommunications. – Author: ICAO, 2020.
 9. ICAO. Annex 6, Part IV – International Operations – Remotely Piloted Aircraft Systems. – Author: ICAO, 2018.
 10. Eurocontrol. CPDLC-ATS-GUIDANCE [Electronic resource]. – URL: <https://ext.eurocontrol.int/WikiLink/images/2/24/CPDLC-ATS-GUIDANCE.pdf> (accessed: 26.03.2026).
 11. PANSА. PansaUTM – a system supporting the digital coordination of the UAV flights [Electronic resource]. – URL: <https://www.pansa.pl/en/pansa-has-started-production-tests-of-pansautm-a-system-supporting-the-digital-coordination-of-the-uav-flights/> (accessed: 26.03.2026).
 12. 5GDrones. D2.1 – Initial definition of the trial controller architecture mechanisms and APIs [Electronic resource]. – URL: https://5gdrones.eu/wp-content/uploads/2020/06/D2.1-Initial-definition-of-the-trial-controller-architecture-mechanisms-and-APIs_v1.1.pdf (accessed: 26.03.2026).
 13. U-SPACE CONCEPT OF OPERATIONS (CONOPS) [Electronic resource]. – URL: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20CONOPS%204th%20edition.pdf> (accessed: 26.03.2026).
 14. Mdpi – Latency Analysis of Push–Pull and Publish–Subscribe Communication Protocols in U-Space Systems [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/14/12/2453> (accessed: 26.03.2026).
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 550.83:550.8.072:553.98(470.1)

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ПЕРЕОБРАБОТКИ И ИНТЕГРАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕВЕРА ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ И АКВАТОРИИ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ

Курбанов А.Э.

ФГАОУ ВО "СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА", Архангельск, Россия (163002, Архангельская область, город Архангельск, наб. Северной Двины, д.17), e-mail: kurbanovsenya1337@gmail.com

В статье изложена методика комплексной переобработки и интерпретации разнородных геолого-геофизических данных (аэромагнитных и гравиметрических съёмок, сейсморазведки МОГТ 2D, скважинных исследований), применённая для создания согласованной структурной модели севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПП) и акватории Печорского моря. Особое внимание уделено решению проблем, связанных с неоднородностью и разновременностью исходных материалов, их увязке и совместной интерпретации с использованием современных программных комплексов. Приведены результаты построения сводных карт потенциальных полей, корреляции отражающих горизонтов, создания скоростной модели и структурных карт. Показана эффективность методики для выявления тектонических элементов и оценки перспектив нефтегазоносности региона.

Ключевые слова: Тимано-Печорская провинция, геофизические данные, переобработка, комплексная интерпретация, отражающие горизонты, структурное моделирование, гравимагнитные съёмки, сейсморазведка МОГТ.

AN INTEGRATED METHOD FOR REPROCESSING AND INTEGRATION OF GEOPHYSICAL DATA FOR GEOLOGICAL MODELING OF THE NORTHERN TIMAN- PECHORA PROVINCE AND THE PECHORA SEA

Kurbanov A.E.

"NORTHERN (ARCTIC) FEDERAL UNIVERSITY NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV", Arkhangelsk, Russia (163002, Arkhangelsk region, Arkhangelsk city, Severnaya Dvina embankment, 17), e-mail: kurbanovsenya1337@gmail.com

This article presents a methodology for the integrated processing and interpretation of disparate geological and geophysical data (aeromagnetic and gravimetric surveys, 2D CMP seismic exploration, and borehole studies) applied to the creation of a consistent structural model of the northern Timan-Pechora oil and gas province (TPP) and the Pechora Sea. Particular attention is paid to addressing issues related to the heterogeneity and timing of the source data, their integration, and joint interpretation using modern software systems. The results of constructing summary maps of potential fields, correlating reflectors, and creating a velocity model and structural maps are presented. The effectiveness of the methodology for identifying tectonic elements and assessing the region's oil and gas potential is demonstrated.

Keywords: Timan-Pechora province, geophysical data, reprocessing, complex interpretation, reflecting horizons, structural modeling, gravity-magnetic surveys, common point method (CMP) seismic exploration.

Введение

Северная часть Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПП) и прилегающая акватория Печорского моря являются перспективным регионом для поисков углеводородов. Геологическое строение территории характеризуется сложной тектоникой, наличием разновозрастных осадочных комплексов и широким развитием дизъюнктивных нарушений. Успешное изучение такого региона требует привлечения всего объёма накопленной геолого-геофизической информации, которая, однако, отличается крайней неоднородностью: работы выполнялись в разные периоды (с 70-х годов XX века по настоящее время), различными организациями, по отличающимся методикам и с неодинаковым качеством [1].

Главной задачей, решавшейся в рамках представленного исследования, являлось создание единой, непротиворечивой геолого-геофизической модели осадочного чехла на основе комплексной переобработки, увязки и переинтерпретации всех доступных материалов. Данная статья детально описывает разработанную методологию, включающую этапы от сбора и подготовки исходных данных до построения сводных структурных карт[2].

1. Объекты, материалы и методы исследования

Объектом исследования является территория, включающая север ТПП (суша), зону транзитного мелководья и акваториальную часть Печорского моря. Для решения поставленных задач был привлечён следующий комплекс данных:

- *Гравиразведка*: материалы съёмки масштабов 1:25 000 – 1:200 000, покрывающие около 70 тыс. км² суши.
- *Аэромагнитная съёмка*: крупномасштабные работы (1:25 000 – 1:100 000), охватывающие около 70% территории суши и частично акваторию.
- *Сейсморазведка МОГТ 2D*: каркасные региональные профили и уплотняющие профили поисковых работ общим объёмом 30 566 пог. км (из них 10 752 пог. км – на акватории). Включают как цифровые полевые записи, так и оцифрованные бумажные временные разрезы.
- *Скважинные данные*: комплекс ГИС (акустический, кавернометрия, гамма-каротаж и др.) и ВСП по 26 ключевым скважинам, расположенным на пересечении с сейсмическими профилями.

Обработка и интерпретация данных выполнялась с использованием современных программных комплексов: «ЦЕНТР» (потенциальные поля), ProMAX, Focus 5 (обработка сейсмике), Paradigm Geophysical (SeisEarth, SeisX, Vanguard), ZMAP Plus, Landmark (интерпретация и построение карт).

2. Методика комплексной обработки и интерпретации данных

2.1. Подготовка и создание сводной основы по данным гравиразведки и магниторазведки

Первоначальным этапом стал критический анализ и подготовка материалов потенциальных полей. Для аэромагнитных данных была выполнена оценка качества отчётных карт, учитывающая тип аппаратуры (АММ-13, КАМ-28, ММВ-215 и др.), методику привязки и среднеквадратические погрешности съёмки (от 0,5 до 10 нТл). На участках перекрытия

съёмки разных лет выбирались более современные и качественные материалы. Отобранные карты были отсканированы, векторизованы и преобразованы в цифровую форму [3].

Аналогичная работа проведена для гравиметрических данных. Территория характеризуется мозаичным покрытием съёмками разного масштаба, что потребовало привлечения как детальных (1:25 000 – 1:50 000), так и региональных (1:200 000) работ для создания единого информационного поля.

Ключевые этапы создания сводных цифровых карт:

1. *Векторизация и контроль:* Визуальная проверка оцифрованных изолиний, устранение ошибок.
2. *Устранение систематических погрешностей:* Для магнитных данных применялся метод доуязки с использованием сети фиктивных маршрутов, позволяющий устранить «затяжки» поля вдоль маршрутов съёмки. Метод включал разделение поля на локальную и региональную составляющие, расчёт и ввод поправок.

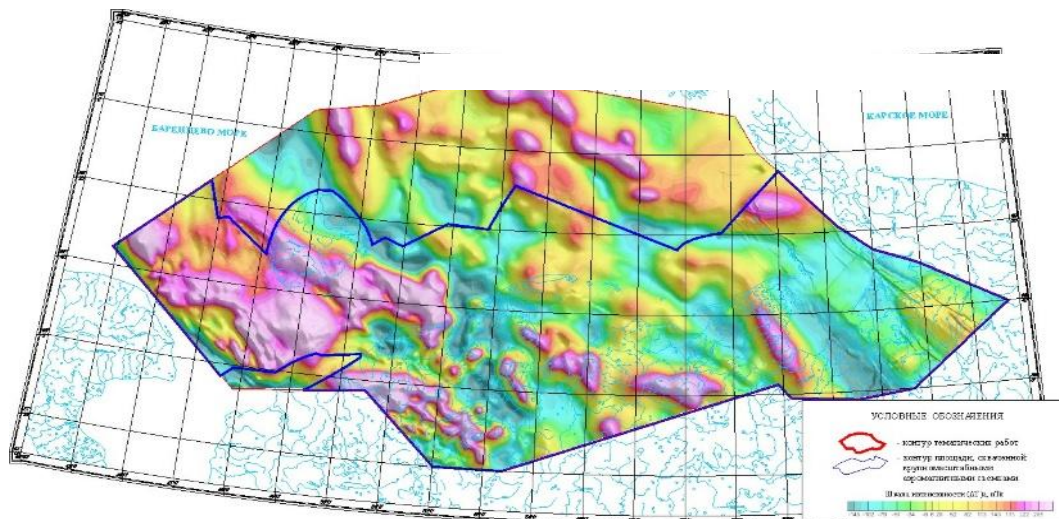


Рисунок 1 - Обзорная карта аномального магнитного поля (ΔT)а

3. *Внешняя увязка на матричном уровне:* Выполнялась методом перекрытий для согласования уровней поля на границах смежных участков съёмки. Выявленные систематические расхождения (первые единицы нТл для магнитного поля и мГл для гравитационного) вводились в виде постоянных поправок.
4. *Расчёт трансформаций:* Для улучшения геологической информативности были рассчитаны:
 - Локальные и региональные составляющие путём осреднения в окнах различного радиуса (2-10 км).
 - Модуль полного горизонтального градиента.
 - Горизонтальный градиент.

Эти преобразования позволили обособить аномалии, связанные с различными элементами разреза (чехол, фундамент), и более чётко трассировать разломные нарушения. В результате были построены согласованные обзорные карты масштаба 1:1 000 000:

аномального магнитного поля (ΔT)а и поля силы тяжести в редукции Буге (Δg)Б (Рисунки 1, 2) [4].

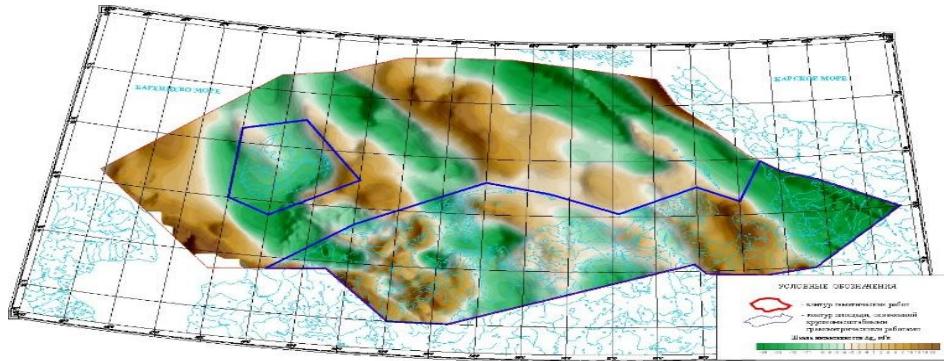


Рисунок 2 - Обзорная карта поля силы тяжести Δg_B

2.2. Переобработка и переинтерпретация сейсмических материалов МОГТ

2.2.1. Формирование сети профилей и особенности исходных данных

Сейсмические материалы существенно различались по качеству и глубинности в зависимости от периода и методики работ. Были выделены четыре этапа:

1. *70-е годы:* Аналоговые станции, низкая кратность (6-12).
2. *Середина 80-х:* Цифровые станции, увеличение кратности.
3. *Конец 80-х – 90-е годы:* Региональные исследования с увеличенной кратностью (до 48) и глубиной записи (до 9-15 с), создание каркасной сети.
4. *С 90-х годов по настоящее время:* Преобладание 3D съёмки. Для переобработки была сформирована сеть, включающая каркасные региональные профили и уплотняющие профили поисковых работ. В местах отсутствия или утери первичных цифровых данных выполнялось сканирование и сложная реконструкция бумажных временных разрезов с последующей их обработкой по сокращённому графу.

2.2.2. Граф цифровой переобработки

Обработка проводилась на современных вычислительных комплексах (SGI Origin, IBM Cluster) с использованием лицензионного ПО (ProMAX, Focus). Граф обработки включал (Рисунок 3):

- *Ввод и редактирование:* Демультимплексация, ввод априорной статики (линия приведения 0 м), ввод геометрии, редактирование трасс.

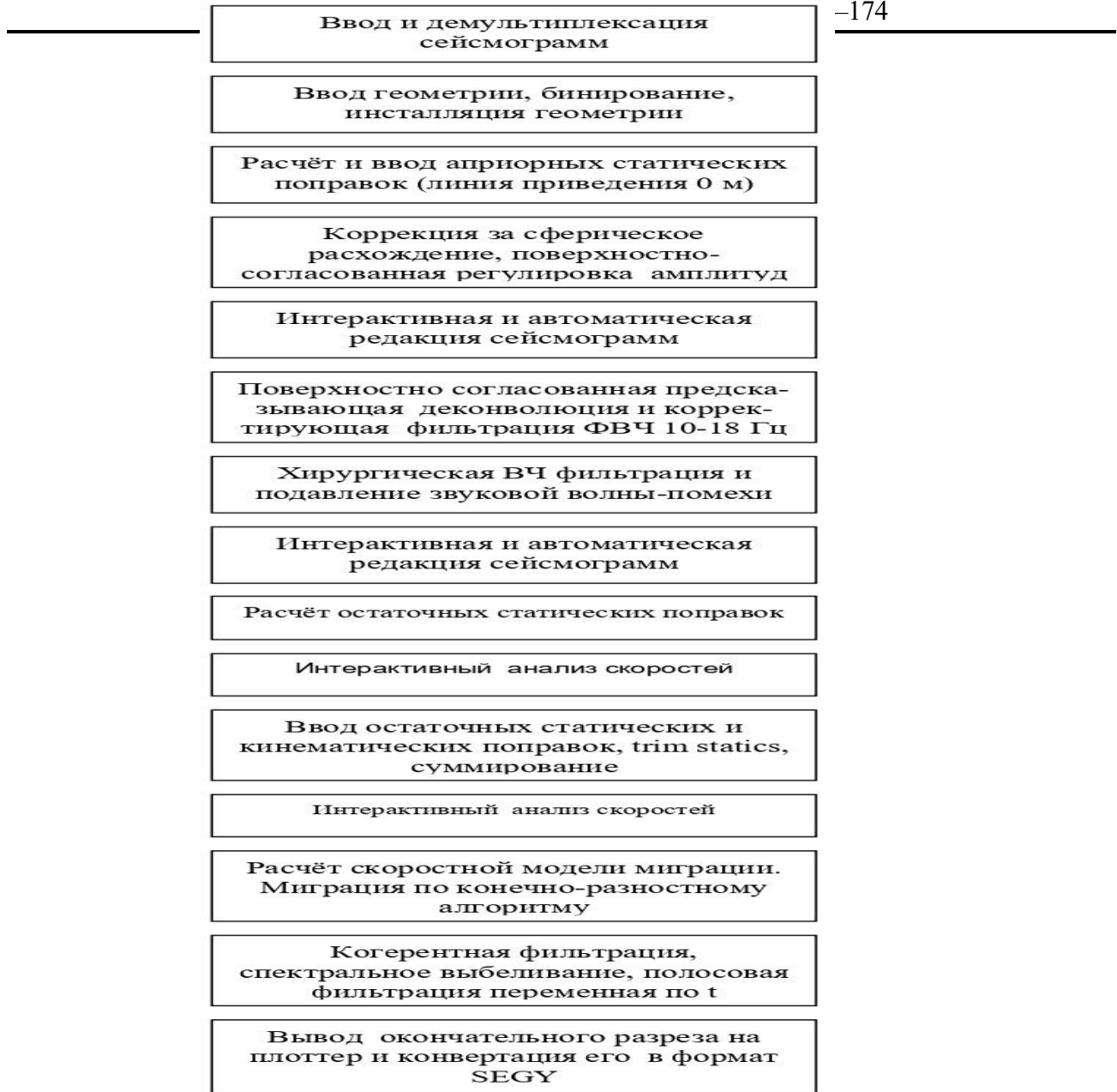


Рисунок 3 - Блок-схема обработки данных сейсморазведки

- *Подавление помех.* Применение хирургической фильтрации для ослабления поверхностных и звуковых волн-помех (Рисунок 4).

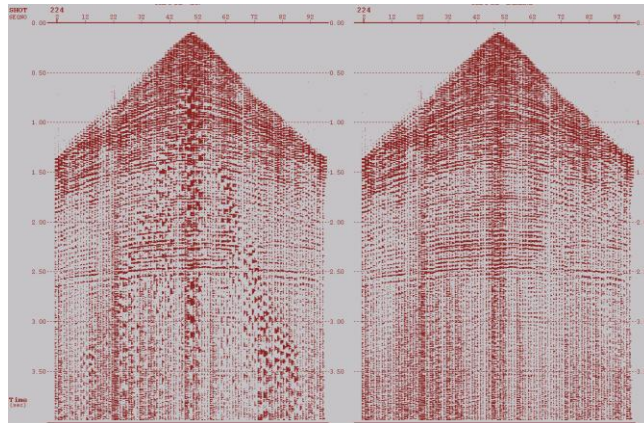


Рисунок 4 - Сейсмограмма ОПВ 224 ПВ 11388-15 профиля до (слева) и после (справа) применения хирургической фильтрации подавляющей поверхностную волну-помеху

- *Восстановление амплитуд и деконволюция.* Коррекция за сферическое расхождение и поверхностные условия. Применение поверхностно-согласованной предсказывающей деконволюции для повышения разрешённости (Рисунки 5, 6).

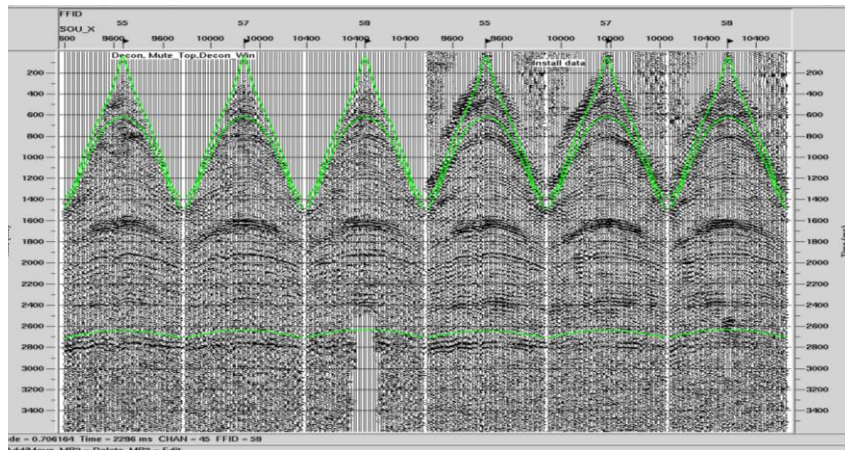


Рисунок 5 - Выбор мьютинга и окна деконволюции по профилю 678

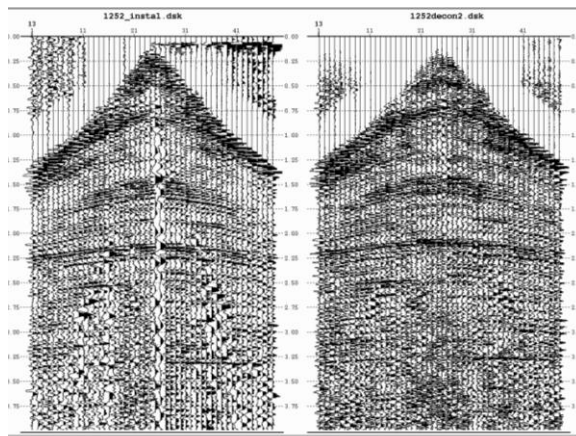


Рисунок 6 - Применение деконволюции по профилю 1252

- *Коррекция кинематики.* Многократный скоростной анализ (Рисунок 7) и расчёт остаточных статических поправок (до 3-4 итераций) с использованием модулей STAN3D и STATICR (Рисунок 8) [5].

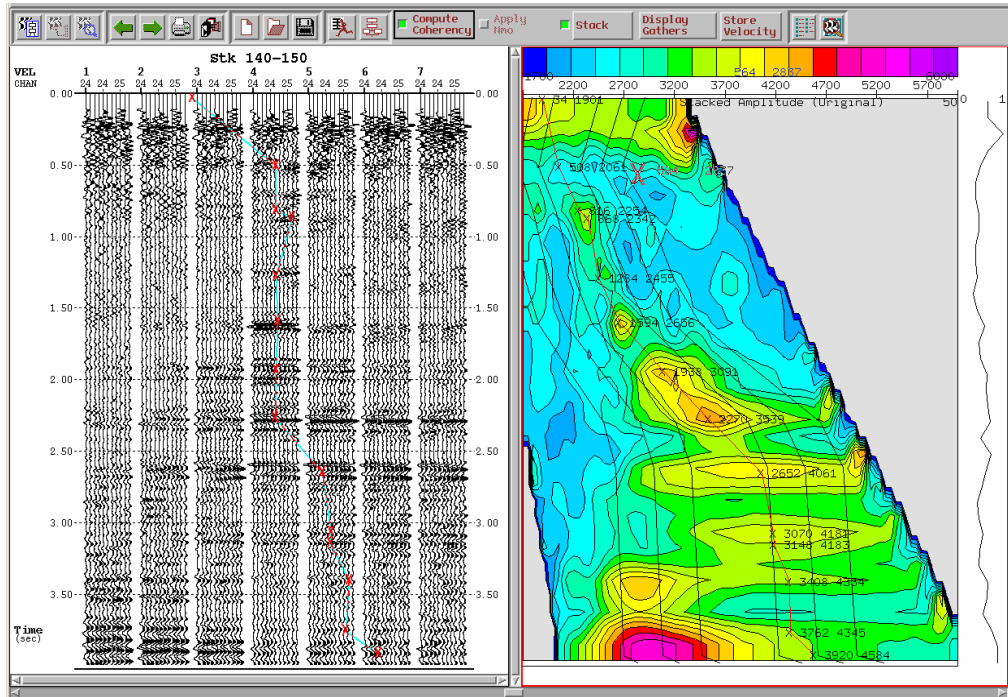


Рисунок 7 - Скоростной спектр, полученный по сейсмограммам ОГТ 140-150 профиля 2660 (отчетные работы)

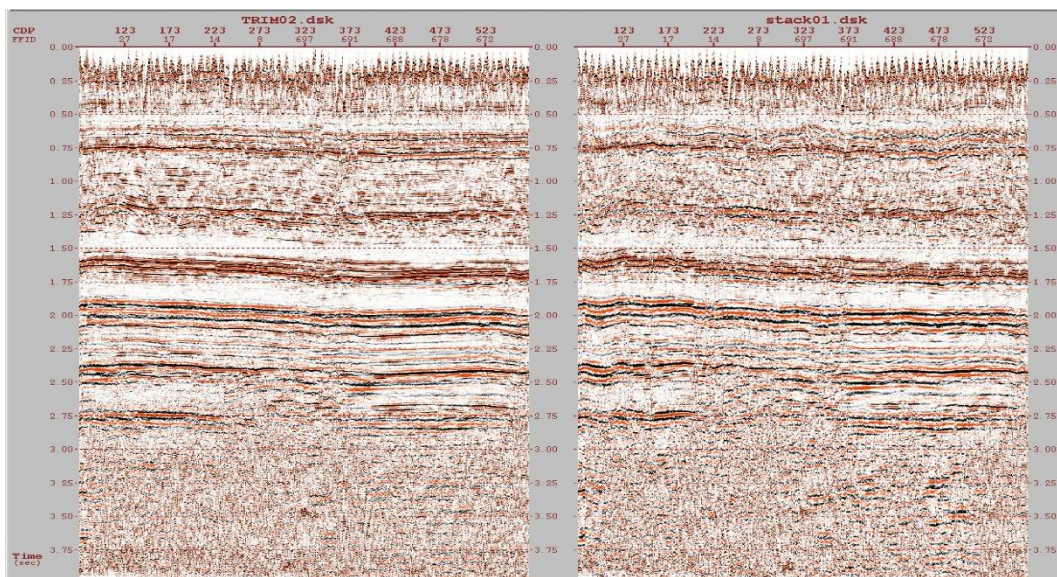


Рисунок 8 - Этапы коррекции статики и кинематики (от Stack1 до Stack10-Trim) по профилю 3701

- *Суммирование и миграция.* Конечно-разностная миграция в частотной области по сглаженной скоростной модели.
- *Финальная обработка.* Когерентная фильтрация, спектральное отбеливание для улучшения качества разреза.

Для морских данных, помимо стандартных процедур, особое внимание уделялось редакции специфических помех: импульсных помех от аппаратуры, низкочастотных волн от хвостового буя, дифрагированных волн от границ многолетнемерзлых пород. [6,7].

2.3. Корреляция отражающих горизонтов, стратиграфическая привязка и увязка данных

2.3.1. Стратиграфическая привязка

Основой для корреляции отражающих горизонтов (ОГ) послужили данные глубоких скважин, для которых были оцифрованы и проанализированы кривые ГИС (акустический каротаж, гамма-каротаж, плотностной каротаж). Всего в работу вовлечены материалы по 26 скважинам, расположенным на ключевых тектонических элементах и привязанным к сети региональных сейсмических профилей [8].

Привязка выполнялась в программах SeisEarth и Vanguard путём расчёта синтетических сейсмограмм по данным АК и ГГКп и их сопоставления с реальными сейсмическими трассами вблизи скважин (Рисунки 9, 10). В результате для территории была утверждена единая система из 16 основных отражающих горизонтов, охватывающих интервал от поверхности фундамента до нижнего триаса. Ниже приводится краткая характеристика ключевых ОГ [9].

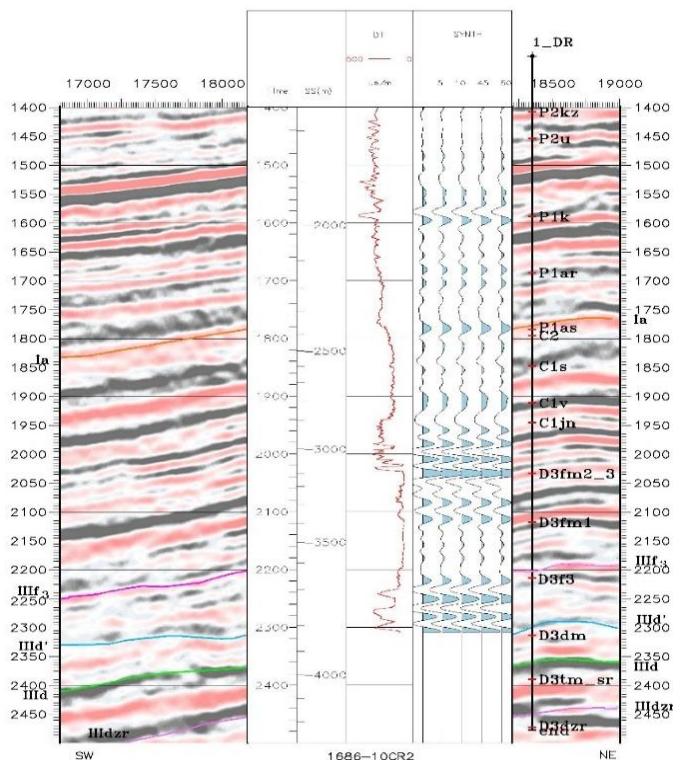


Рисунок 9 - Привязка ОГ к акустической модели скв.1-Дресвянская (SeisX)

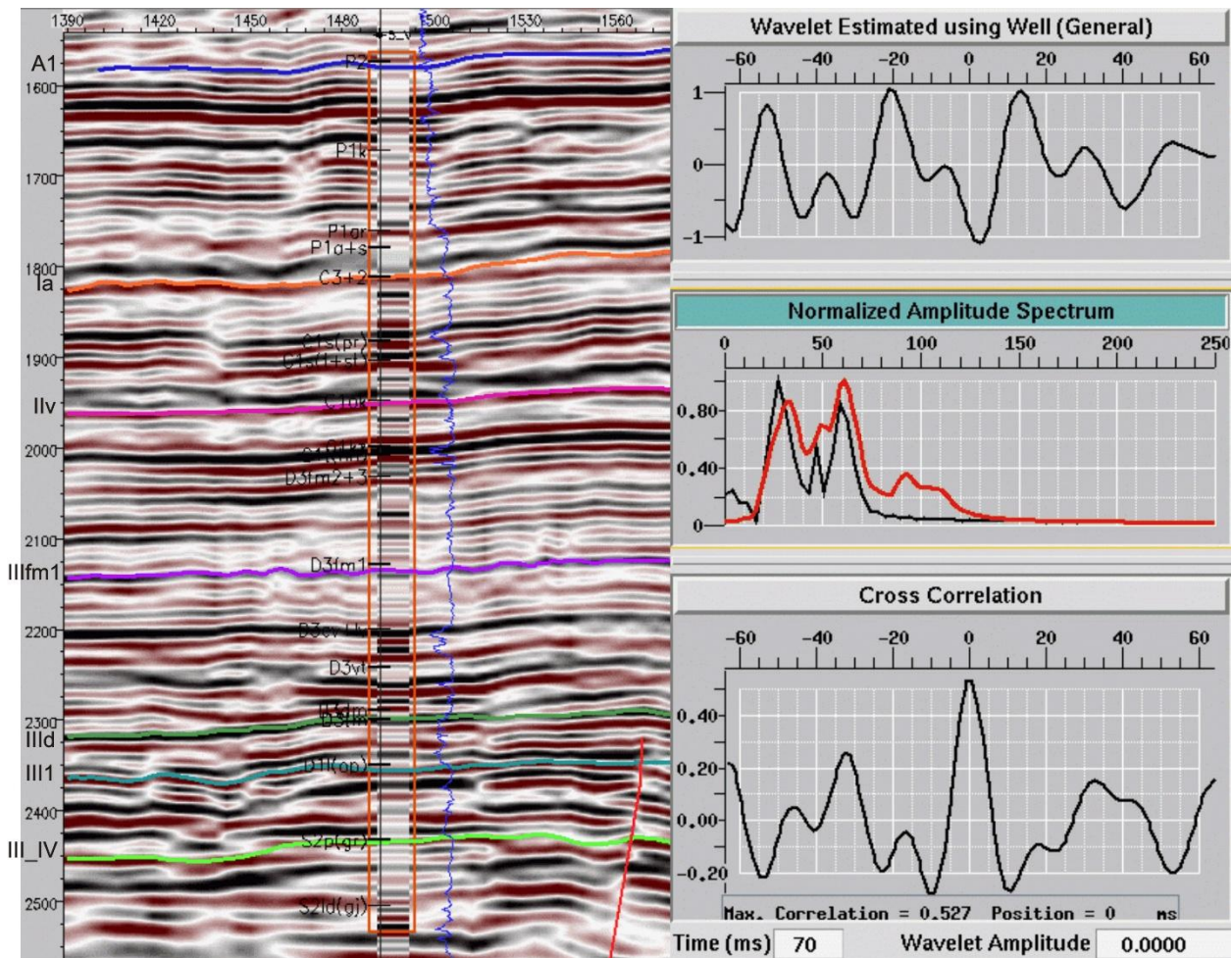


Рисунок 10 - Привязка ОБ к акустической модели скв.5-Варкнавтская (SeisEarth)

Характеристика ключевых отражающих горизонтов:

- *ОГ В (Т-Ј):* Поверхность предъюрского несогласия. Одно-двухфазное колебание средней интенсивности, регионально выдержанное.
- *ОГ Ia (P1a+s – C3):* Кровля карбонатов нижней перми – верхнего карбона. Интенсивная, динамически выразительная волна, маркирующая структуры облекания карбонатных построек.
- *ОГ IIv (C1v):* Подошва терригенных отложений визейского яруса. Коррелируется по максимуму.
- *ОГ IIId (D3dm):* Граница между карбонатными доманиковыми породами и терригенными саргаевскими отложениями. Коррелируется по отрицательному экстремуму, маркирует подошву среднефранского клиноформного комплекса.
- *ОГ III-IV (S – D1):* Поверхность размыва силурийских отложений. Интенсивная, хорошо прослеживаемая волна, разрывы корреляции связаны с зонами нарушений.

2.3.2. Увязка разнородных сейсмических материалов

Увязка данных, полученных разными организациями в разное время, являлась критически важным этапом. Процесс включал[10]:

- *Внутренняя увязка.* Согласование фазовой полярности, амплитудного и частотного спектра на пересечениях профилей. Для части морских профилей потребовалась фазовая ротация на 180° .
- *Увязка «суша-море».* Выполнялась в немногочисленных точках пересечения сухопутных и морских профилей (районы скв. 1-Носовая, Дресвянская, Мядловейяхская) и по единичным профилям типа «суша-море». В результате основные ОГ уверенно прослеживались через переходную зону (Рисунок 11).

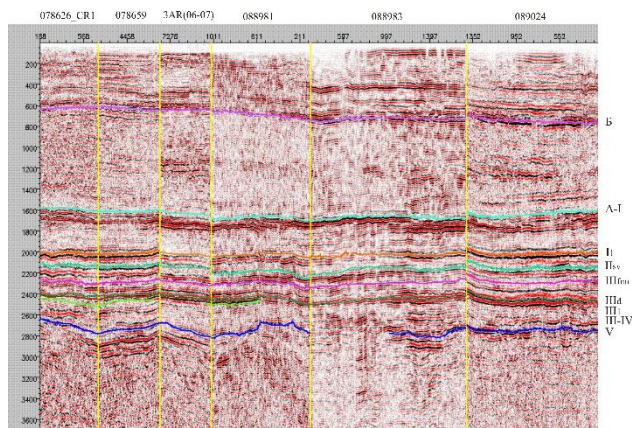


Рисунок 11 -Пример увязки по волновой картине профиля 3-АР с объектами ОАО «Севморнефтегеофизика»

- *Интеграция с данными ГИС.* Построение сейсмогеологических разрезов с нанесением данных по скважинам [11].

2.4. Построение скоростной модели и структурных карт

Для перевода временных карт в глубинные была построена региональная скоростная модель. Основой послужили:

1. *Данные ВСП* по скважинам.
2. *Скорости по ОГТ*, полученные при обработке сейсмических данных с шагом 1 км вдоль профилей.

На основе этих данных в модуле Depth Team Express (Landmark) были рассчитаны и сглажены интервальные скорости по формуле Дикса. Далее строилась трёхмерная скоростная модель, учитывающая структурный фактор по основным ОГ. Для горизонтов, не вскрытых бурением, применялся поправочный коэффициент 0.9, рассчитанный путём калибровки[12].

Структурные карты строились по следующему алгоритму:

1. Построение карт изохрон (t_0) для каждого ОГ в программах SeisEarth/ZMAP Plus методом минимальной кривизны.
2. Использование матрицы средних скоростей, извлечённой из скоростной модели и калиброванной по скважинам.

3. Трансформация карт изохрон в структурные карты (глубины).
4. Построение глубинных сейсмических разрезов через модель интервальных скоростей (Рисунок 12).
Погрешность определения времён по ОГ, оценённая по невязкам на пересечениях профилей, составила ~8 мс, что учтено при выборе сечения изолиний.

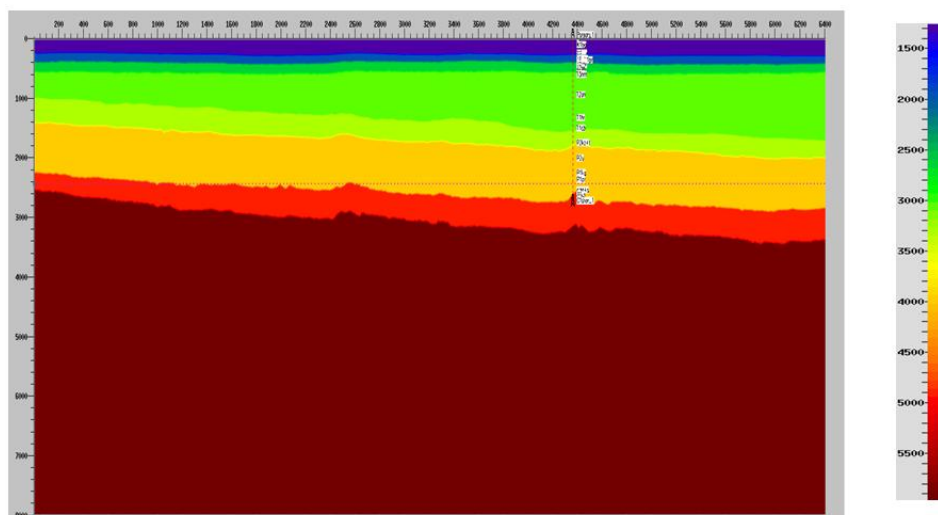


Рисунок 12 - Глубинно-скоростная модель по профилю 3-AP (06-07)

2.5. Комплексная увязка с данными гравимагниторазведки

Для трассирования структурно-тектонических элементов в зонах отсутствия сейсмических данных (долина р. Печора, акватория Поморского пролива) и для картирования поверхности фундамента под глубоководными частями моря была проведена увязка сейсмических структурных построений со сводными картами потенциальных полей. Метод наложения карт в среде ArcGIS 9.3 позволил выделить единые линейные зоны (линеаменты), соответствующие разломам, контактам различных комплексов, и продолжить их в районы с низкой плотностью сейсмических профилей.

3. Результаты и обсуждение

В результате выполнения комплекса работ получены следующие основные результаты:

1. *Создана единая цифровая геофизическая основа:* Построены согласованные обзорные карты аномального магнитного поля и поля силы тяжести масштаба 1:1 000 000 для всей территории, включая акваторию.
2. *Получены современные сейсмические изображения:* Переобработано более 30 тыс. пог. км сейсмических профилей, что значительно улучшило прослеживаемость отражающих границ, особенно в глубоководных частях разреза.
3. *Разработана региональная стратиграфическая схема:* Выделена и стратиграфически привязана система из 16 ключевых отражающих горизонтов, характеризующих основные нефтегазоносные комплексы.

4. *Построена глубинно-скоростная модель*: Создана 3D скоростная модель, адекватно описывающая изменение скоростей в осадочном чехле.

5. *Создан комплект структурных карт*: Построены согласованные структурные карты по основным ОГ, характеризующие геометрию и взаимоотношения тектонических элементов от фундамента до мезозоя.

6. *Обеспечена непрерывность интерпретации*: Методика увязки позволила преодолеть разрывы между данными суши и моря, а также между работами разных лет и исполнителей.

Обсуждение результатов подтверждает эффективность предложенной методики. Комплексный подход, основанный на последовательной переобработке всех типов данных с их последующей интеграцией, позволил:

- *Повысить достоверность интерпретации* за счёт взаимного контроля разнородной информации.
- *Выявить новые структурные элементы* и уточнить положение известных разломов, особенно в слабо изученных зонах.
- *Создать основу для количественного прогноза* коллекторов и ловушек углеводородов.

Основные сложности были связаны с большим объёмом рутинных работ по подготовке архивных данных (оцифровка, реконструкция) и с недостаточной плотностью профилей для однозначной увязки в переходной зоне «суша-море».

Заключение

Представленная в статье методика комплексной переобработки и интеграции геолого-геофизических данных доказала свою эффективность при изучении сложнопостроенных регионов с неоднородной информационной базой. Её последовательное применение к северу Тимано-Печорской провинции позволило создать непротиворечивую региональную геологическую модель, существенно уточняющую представления о тектоническом районировании, строении осадочного чехла и распределении перспективных объектов.

Полученные результаты и созданная цифровая основа имеют высокую практическую ценность для планирования дальнейших геологоразведочных работ, включая постановку детальных сейсморазведочных работ 3D и выбор площадей под глубокое бурение. Разработанная методология может быть успешно применена и для изучения других слабо изученных или сложнопостроенных осадочных бассейнов.

Список литературы

1. Афанасенков А. П., Никишин А. М., Обухов А. Н. Геологическое строение и нефтегазоносность Тимано-Печорской провинции. – М.: Наука, 2007. – 350 с.
2. Виноградов В. А., Гуцин В. А., Копытин В. И. Комплексирование гравиразведки и магниторазведки при поисках углеводородов // Геофизика. – 2015. – № 4. – С. 28–35.
3. Данилов В. Д., Паршин А. В., Соколов Б. А. Сейсморазведка МОГТ 2D в акватории Печорского моря: проблемы и решения // Технологии сейсморазведки. – 2018. – Т. 12, № 3. – С. 45–53.

4. Журавлёв В. С., Костин А. А., Малышев Н. А. Структурное моделирование осадочных бассейнов на основе комплексной интерпретации геолого-геофизических данных // Нефтяная геология. Теория и практика. – 2019. – Т. 14, № 2. – С. 1–18.
5. Иванова Н. М., Петров О. В., Соборнов К. О. Глубинное строение фундамента Тимано-Печорской провинции по гравимагнитным данным // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 66. – С. 72–81.
6. Козырев В. С., Лобковский Л. И., Шкарубо С. И. Скоростные модели осадочного чехла Печорского моря по данным ВСП и МОГТ // Геофизические исследования. – 2017. – Т. 18, № 4. – С. 54–66.
7. Методические рекомендации по обработке и интерпретации потенциальных полей / под ред. А. А. Никонова. – М.: ГЕОС, 2014. – 210 с.
8. Никишин А. М., Брунс П., Ершов А. В. Тектоника и геодинамика Тимано-Печорского бассейна // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2010. – Т. 85, № 3. – С. 13–25.
9. Обработка и интерпретация сейсмических данных в сложнопостроенных средах / под ред. В. П. Соколова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 380 с.
10. Тимонин Н. И., Богданов М. М., Морозов А. Ф. Региональные геофизические работы на шельфе Печорского моря // Разведка и охрана недр. – 2020. – № 2. – С. 24–30.
11. Толстых М. А., Макаров В. И., Гриценко И. И. Особенности корреляции отражающих горизонтов в северной части Тимано-Печорской провинции // Геология нефти и газа. – 2018. – № 5. – С. 32–41.
12. Шипилов Э. В., Шкарубо С. И., Вержбицкий В. Е. Строение и нефтегазоносность Печорского моря и прилегающих территорий. – М.: Научный мир, 2015. – 280 с.

References

1. Afanasenkov A. P., Nikishin A. M., Obukhov A. N. Geological structure and oil and gas potential of the Timan-Pechora province. Moscow, Nauka Publ., 2007. p.350
2. Vinogradov V. A., Gushchin V. A., Kopytin V. I. Complex of gravity exploration and magnetic exploration in the search for hydrocarbons. – 2015. – № 4. –pp . 28–35.
3. Danilov V. D., Parshin A. V., Sokolov B. A. Seismic exploration of CDP 2D in the water area of the Pechora Sea: problems and solutions. – 2018. – Т. 12, No 3. – pp. 45–53.
4. Zhuravlev V. S., Kostin A. A., Malyshev N. A. Structural modeling of sedimentary basins based on the complex interpretation of geological and geophysical data. Theory and practice. – 2019. – Т. 14, No 2. – pp. 1–18.
5. Ivanova N. M., Petrov O. V., Sobornov K. O. Deep structure of the foundation of the Timan-Pechora province according to gravimagnetic data. – 2016. – № 66. – pp. 72–81.
6. Kozyrev V. S., Lobkovsky L. I., Shkarubo S. I. High-speed models of the sedimentary cover of the Pechora Sea according to VSP and CDP data. – 2017. – Т. 18, No 4. – pp. 54–66.
7. Methodical Recommendations for the Processing and Interpretation of Potential Fields. Moscow, GEOS Publ., 2014. p. 210 (in Russian).
8. Nikishin A. M., Bruns P., Ershov A. V. Tectonics and geodynamics of the Timan-Pechora basin. Geological Department. – 2010. – Т. 85, No 3. – pp. 13–25.

9. Processing and Interpretation of Seismic Data in Complex Environments / Ed. by V. P. Sokolov. – Novosibirsk: SB RAS Publ., 2013. – p.380
 10. Timonin N. I., Bogdanov M. M., Morozov A. F. Regional Geophysical Works on the Shelf of the Pechora Sea. – 2020. – № 2. – pp. 24–30.
 11. Tolstykh M. A., Makarov V. I., Gritsenko I. I. Features of the correlation of reflecting horizons in the northern part of the Timan-Pechora province. – 2018. – № 5. – pp. 32–41.
 12. Shipilov E. V., Shkarubo S. I., Verzhbitsky V. E. Structure and Oil and Gas Potential of the Pechora Sea and Adjacent Territories. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2015. p.280
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.415

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНЦИДЕНТАМИ В ПЛАТЕЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ITSM-ПОДХОДА

¹Абдульманов А.Р., Гарифуллин К.А., Шамсутдинова Т.М. (научный руководитель) ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», Уфа, Россия (450001, Республика Башкортостан, город Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34), e-mail: ¹ abdulmanov_aynur@mail.ru

В статье рассматривается задача повышения эффективности работы ИТ-отдела распределённой аптечной сети за счёт автоматизации управления инцидентами в платёжной инфраструктуре предприятия на основе ITSM-подхода. Актуальность темы определяется тем, что для территориально распределённого розничного бизнеса платёжный контур фактически становится критически значимой частью сервисной архитектуры: сбои на кассовых узлах, нарушения обмена с эквайринговыми сервисами, ошибки маршрутизации обращений и отсутствие прозрачной модели эскалации приводят не только к локальным техническим затруднениям, но и к простоям, финансовым потерям и росту нагрузки на ИТ-поддержку. В ходе аналитической работы нами установлено, что фрагментарная организация поддержки, при которой обращения поступают через разрозненные каналы, а классификация инцидентов зависит от опыта конкретного специалиста, уже не соответствует требованиям распределённой сети.

В работе обоснована целесообразность реинжиниринга процессов ИТ-поддержки и проектирования архитектуры системы управления ИТ-услугами на базе IC:ITILIUМ. Показано, что применение ITSM-подхода позволяет связать инцидент, услугу, конфигурационную единицу, регламент эскалации и соглашение об уровне сервиса в единую управляемую модель. На наш взгляд, именно эта связность, а не просто автоматизация регистрации заявок, даёт основной эффект. Предложена архитектурная схема автоматизации управления инцидентами для платёжной инфраструктуры аптечной сети, включающая единый каталог услуг, матрицу приоритетов, маршруты эскалации, базу знаний, контур проблемного управления и аналитический блок KPI. Практическая значимость результатов состоит в возможности сокращения времени реакции и устранения инцидентов, снижения повторяемости типовых сбоев и формирования управляемой сервисной модели ИТ-поддержки.

Ключевые слова: Управление инцидентами, платёжная инфраструктура, ITSM, IC:ITILIUМ, ИТ-поддержка, Service Desk, SLA, распределённая аптечная сеть, реинжиниринг процессов, ИТ-услуги.

AUTOMATION OF INCIDENT MANAGEMENT IN THE ENTERPRISE'S PAYMENT INFRASTRUCTURE USING THE ITSM APPROACH

¹ Abdulmanov A.R., Garifullin K.A., Shamsutdinova T.M. (Academic Supervisor) «BASHKIR STATE AGRARIAN UNIVERSITY», Ufa, Russia (450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50-letiya Oktyabrya str., 34), e-mail: ¹ abdulmanov_aynur@mail.ru

The article examines how to improve the efficiency of the IT department of a distributed pharmacy chain through incident management automation in the enterprise payment infrastructure using the ITSM approach. The relevance of the topic is explained by the fact that in geographically distributed retail businesses the payment landscape becomes a critical service domain: failures at cash desks, acquiring disruptions, routing mistakes and weak escalation procedures lead not only to technical problems but also to downtime, financial losses and an increased workload on IT support teams. The study shows that fragmented support processes, where requests come through multiple disconnected channels and incident classification depends on individual employees, no longer meet the requirements of a distributed service environment.

The paper substantiates the feasibility of reengineering IT support processes and designing an IT service management architecture based on 1C:ITILUM. It is argued that the practical value of the ITSM approach lies in linking an incident, a service, a configuration item, an escalation workflow and a service level agreement into a single controllable model. In our view, this integrity creates the main organizational effect. The article proposes an architectural model for incident management automation in the payment infrastructure of a pharmacy chain, including a unified service catalog, a priority matrix, escalation routes, a knowledge base, a problem management loop and a KPI analytics module. The practical significance of the results lies in reducing response and resolution time, decreasing repetitive incidents and creating a manageable service model for enterprise IT support.

Keywords: Incident management, payment infrastructure, ITSM, 1C:ITILUM, IT support, Service Desk, SLA, distributed pharmacy chain, process reengineering, IT services.

Введение

Для распределённой аптечной сети платёжная инфраструктура уже давно перестала быть периферийным набором технических компонентов. Она стала одним из условий непрерывности продаж. Сюда входят кассовые рабочие места, эквайринговые терминалы, каналы взаимодействия с банком-эквайером, программные интеграции с учётной системой, а также сервисы, обеспечивающие регистрацию, маршрутизацию и устранение инцидентов. И если раньше сбой в этой зоне воспринимался как частный ИТ-вопрос, то сейчас он напрямую отражается на выручке, клиентском опыте и нагрузке на персонал первой линии поддержки. Возникает закономерный вопрос: почему даже при наличии корпоративных информационных систем инциденты по платёжному контуру всё ещё обрабатываются медленно, неоднородно и с заметной долей ручных действий? Мы полагаем, что причина заключается не только в технике, но и в несформированности сервисной модели управления ИТ-услугами.

Степень изученности темы нельзя назвать низкой. Российские авторы последовательно рассматривали ITSM как сервисно-ориентированный подход к организации деятельности ИТ-подразделений, а управление инцидентами — как одну из базовых практик, обеспечивающих восстановление услуги в приемлемые сроки [3; 4; 5]. Отдельные публикации посвящены качеству работы служб поддержки, применению KPI, моделированию инцидентных процессов и совершенствованию ИТ-инфраструктуры крупных предприятий [4; 5; 6; 7]. В последние годы внимание исследователей сместилось и в сторону автоматизации самих инцидентных процедур, включая классификацию обращений и снижение трудоёмкости первой линии [9; 10]. Однако, на наш взгляд, в отечественной литературе пока недостаточно проработан прикладной аспект, связанный именно с платёжной инфраструктурой распределённой розничной сети и с проектированием архитектуры ITSM-системы на базе российского решения 1C:ITILUM.

Цель исследования состоит в том, чтобы обосновать и описать архитектурно-процессный подход к автоматизации управления инцидентами в платёжной инфраструктуре предприятия с использованием ITSM-подхода как средства оптимизации деятельности ИТ-отдела распределённой аптечной сети. Для достижения этой цели в работе решаются следующие задачи: сначала анализируются теоретические основания ITSM-подхода и место управления инцидентами в сервисной модели; затем выявляются характерные ограничения существующей практики поддержки платёжного контура; после этого проектируется целевая архитектура системы управления ИТ-услугами на базе 1C:ITILUM; наконец, определяются показатели эффективности, по которым может быть оценён результат внедрения. Объектом исследования выступает ИТ-поддержка платёжной инфраструктуры предприятия, а предметом — организационно-технологические механизмы автоматизации управления

инцидентами в рамках ITSM-модели. Методологическую основу составили анализ научной литературы, сравнение, обобщение, элементы концептуализации и процессного моделирования. Практическая значимость работы состоит в том, что предложенные положения могут быть использованы при подготовке и реализации проекта реинжиниринга ИТ-поддержки в распределённой аптечной сети.

Цель исследования.

Цель исследования заключается в теоретическом обосновании и разработке организационно-технологического подхода к автоматизации управления инцидентами в платёжной инфраструктуре предприятия с использованием ITSM-подхода для повышения эффективности деятельности ИТ-отдела распределённой аптечной сети. Точнее говоря, речь идет о таком проектировании процессов и архитектуры системы управления ИТ-услугами, при котором сокращаются сроки обработки инцидентов, снижается количество повторяющихся сбоев, уменьшаются простои торговых точек и формируется управляемая модель ИТ-поддержки на базе 1С:ITILUM.

Материал и методы исследования.

Материалами исследования послужили отечественные научные публикации по тематике ITSM, Service Desk, управления инцидентами и реинжиниринга ИТ-процессов, нормативные и методические документы в области управления ИТ-услугами, а также официальные материалы по функциональным возможностям платформы 1С:ITILUM. Дополнительно в качестве эмпирической основы использовались сведения о специфике сопровождения платёжной инфраструктуры в условиях распределённой аптечной сети, включая особенности обработки обращений пользователей, маршрутизации заявок, эскалации инцидентов и взаимодействия между первой и второй линиями ИТ-поддержки.

Теоретические основания ITSM-подхода в управлении инцидентами платёжной инфраструктуры.

ITSM-подход формировался как ответ на ситуацию, в которой ИТ-служба переставала быть набором разрозненных технических функций и начинала рассматриваться как поставщик услуг для бизнеса. В отечественных публикациях подчёркивается, что акцент в данном случае переносится с эксплуатации отдельных технологий на создание ценности для пользователя и обеспечение устойчивости сервисов [3; 8]. И все же в практической плоскости этот тезис часто понимают слишком упрощённо. Иногда его сводят лишь к установке Service Desk-системы. Но важно понимать: сама по себе система заявок ещё не образует сервисного управления. Нужны каталог услуг, правила приоритизации, регламенты эскалации, связка с активами и конфигурационными единицами, а также измеримая модель качества сервиса [2; 4].

Для платёжной инфраструктуры предприятия это особенно существенно. В распределённой аптечной сети инцидент редко ограничивается одной точкой отказа. Нарушение может возникнуть на уровне кассового ПО, терминала эквайринга, канала связи, интеграционного слоя, внешнего сервиса банка или пользовательской операции. Вернее, если быть совсем точным, бизнес видит не технический компонент, а недоступность услуги оплаты. Следовательно, логика инцидентного управления должна строиться вокруг сервиса как

целостного объекта, а не вокруг отдельных устройств. В этом и заключается одно из принципиальных преимуществ ITSM-подхода: он позволяет описать платёжный контур через услугу, пользователя, SLA, ответственных исполнителей и связанные конфигурационные единицы. Такой подход соответствует и логике ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000-1-2021, который задаёт требования к системе менеджмента сервисов, а также возможностям 1С:ITILUM, где прямо предусмотрены каталог услуг, SLA, управление обращениями, событиями, проблемами, изменениями, знаниями, активами и аналитикой [1; 2].

Важной теоретической опорой здесь выступает различие инцидента, проблемы и изменения. Российские авторы, анализируя практику Service Desk и ITSM, указывают, что смешение этих сущностей ведёт к увеличению времени обработки обращений, к повторяемости сбоев и к размыванию ответственности [5; 6]. На первой линии поддержки инцидент должен быть зарегистрирован, классифицирован и по возможности устранён в минимальные сроки; на следующем уровне должна быть выделена повторяемая причина, то есть проблема; далее, если требуется структурное преобразование сервиса, инициируется изменение. В ходе исследования мы столкнулись с тем, что именно отсутствие такого разведения чаще всего делает ИТ-поддержку «вечным тушением пожаров». Специалисты всё время заняты. Но система не учится. И в этом, пожалуй, один из самых чувствительных организационных изъянов.

Отдельного внимания заслуживает вопрос метрик. В работах по качеству Service Desk и совершенствованию процессов поддержки обычно акцентируются время реакции, время разрешения, соблюдение SLA, доля обращений, закрытых на первой линии, объём повторных инцидентов, а также удовлетворённость пользователей [4; 5; 8]. Для платёжной инфраструктуры эти показатели приобретают дополнительный смысл, поскольку здесь даже непродолжительная деградация сервиса влияет на операционный ритм аптечной сети. А значит, оценка ИТ-поддержки не должна ограничиваться числом закрытых заявок. Нужна увязка с потерями доступности сервиса и с длительностью простоев в торговых точках. Представляется неслучайным, что в литературе и в практических материалах по внедрению ITSM всё чаще подчеркивается необходимость перехода от функционального контроля к сервисной аналитике [4; 5; 9].

Рейнжиниринг процессов ИТ-поддержки и проектирование целевой архитектуры на базе 1С:ITILUM.

На наш взгляд, целевая архитектура для рассматриваемой предметной области должна включать несколько взаимосвязанных уровней. Во-первых, требуется единая точка регистрации обращений, через которую инциденты по платёжной инфраструктуре будут фиксироваться независимо от канала поступления. Во-вторых, нужен каталог услуг, в котором платёжный контур описывается не как набор технических средств, а как бизнес-услуга с привязкой к торговой точке, формату обслуживания и допустимому времени восстановления. В-третьих, следует внедрить матрицу приоритетов, учитывающую критичность торговой точки, время суток, наличие альтернативного сценария продажи и характер сбоя. В-четвёртых, необходимо связать инцидент с конфигурационной единицей: конкретным кассовым узлом, терминалом, рабочим местом, каналом связи, интеграцией или внешним сервисом. Наконец, должен быть сформирован контур проблемного управления, в котором повторяющиеся

инциденты не просто закрываются, а переводятся в анализ корневых причин. Именно такая связная архитектура и соответствует логике ITSM.

Функциональные возможности 1С:ITILUM позволяют реализовать подобную модель достаточно последовательно. В официальном описании решения указано, что система поддерживает управление каталогом и уровнем услуг, регистрацию инцидентов и запросов, обработку обращений в рамках SLA, управление событиями, проблемами, изменениями, релизами, знаниями, активами и конфигурациями, а также учет затрат и аналитическую отчетность [2]. Кроме того, решение позиционируется как ESM/ITSM-платформа, пригодная для организации внутреннего ИТ-отдела, сервисной службы и работы в компаниях с регионально распределённой или филиальной структурой [2]. Для нашей темы это принципиально. Распределённая аптечная сеть нуждается не просто в базе заявок, а в среде, где возможно построение многоуровневой поддержки, контроль SLA, учёт активов и формирование показателей эффективности в едином контуре.

В развитие вышесказанного отметим, что при проектировании архитектуры системы на базе 1С:ITILUM необходимо предусмотреть и интеграционный уровень. В решении имеются механизмы интеграции по e-mail, XML, с Active Directory, а также возможности загрузки данных о конфигурационных единицах и событиях [2]. Но важно понимать: архитектурная ценность интеграции определяется не числом коннекторов, а тем, как они встроены в процесс управления инцидентом. Событие мониторинга должно не просто попасть в систему, а превратиться в корректно классифицированный инцидент с назначенным приоритетом и ответственным исполнителем. Знание о типовом сбое должно не просто храниться в базе, а использоваться при повторном обращении. Учет работ и трудозатрат должен не просто существовать, а давать руководителю ИТ-службы материал для перераспределения нагрузки между линиями поддержки. И вот здесь начинается действительно серьезная проектная работа.

Небольшое отступление здесь, пожалуй, уместно. Когда обсуждают автоматизацию инцидентов, часто сосредотачиваются на интерфейсе оператора или на маршруте заявки. Между тем в платёжной инфраструктуре едва ли не важнее другое: прозрачная привязка инцидента к сервису и его влиянию на бизнес-процесс продажи. Без этого заявка выглядит одинаково и в том случае, когда не работает один терминал при наличии обходного сценария, и в том случае, когда точка фактически лишена возможности принимать оплату. Мне кажется, именно на этом этапе многие проекты поддержки начинают терять управляемость: формально заявки есть, но их бизнес-вес не различается.

В качестве целевого набора процессов для распределённой аптечной сети целесообразно выделить управление инцидентами как оперативное восстановление сервиса, управление событиями как раннее выявление потенциальных отклонений, управление проблемами как устранение повторяемых причин, управление изменениями как безопасное внедрение корректирующих мер, а также управление уровнем сервиса и знаниями как механизмы стабилизации качества поддержки. Такой набор не является избыточным. Скорее наоборот. Для платёжного контура он образует минимально достаточную архитектуру. Кроме того, в 1С:ITILUM предусмотрены бюджетирование, учет затрат по работам и сервисная отчетность, что позволяет связать техническую эксплуатацию с управленческой оценкой ресурсов ИТ-отдела [2]. Для ВКР это особенно важно, поскольку тема оптимизации деятельности ИТ-

подразделения требует не только процессного, но и организационно-экономического обоснования.

Оценка эффективности и организационные эффекты для ИТ-отдела.

Переходя к вопросу оценки результата, следует подчеркнуть: эффективность автоматизации управления инцидентами не может измеряться одним показателем. Для ИТ-отдела распределённой аптечной сети целесообразно использовать комбинированную систему метрик. В неё должны входить среднее время реакции на инцидент, среднее время восстановления сервиса, доля обращений, закрытых в пределах SLA, доля повторных инцидентов по одной и той же конфигурационной единице, процент обращений, решённых на первой линии, размер накопленного бэклога, длительность простоев торговых точек и полнота заполнения карточек инцидента. Не менее важным аспектом представляется и использование качественных метрик: удовлетворённость внутренних пользователей, предсказуемость коммуникации по заявке и пригодность базы знаний для повторного применения. Такая логика согласуется и с работами по качеству Service Desk, и с публикациями, где акцентируется роль KPI и постоянного улучшения в ITSM-среде [4; 5; 8; 9].

Если говорить о прямых организационных эффектах, то автоматизация управления инцидентами позволяет перераспределить нагрузку внутри ИТ-отдела. Первая линия начинает меньше времени тратить на уточнение контекста обращения, поскольку часть данных поступает автоматически или выбирается из классификатора. Вторая линия получает более полные карточки инцидентов и меньше возвращает их на доработку. Руководитель ИТ-подразделения видит, какие группы перегружены, где возникают узкие места и какие категории сбоев повторяются чаще других. А значит, появляется возможность управлять не только реакцией на проблему, но и структурой ресурсов. Именно в этом, если быть совсем точным, и проявляется оптимизационный эффект для ИТ-отдела: не в магическом сокращении работы, а в переходе от хаотического распределения усилий к управляемой модели поддержки.

Для бизнеса эффект выражается иначе. Сокращается время простоя кассового контура, снижается вероятность потери продаж из-за недоступности оплаты, повышается прозрачность статуса критических обращений по торговым точкам, улучшается предсказуемость взаимодействия между аптекой, ИТ-службой и внешними подрядчиками. И все же было бы неправильно утверждать, будто внедрение ITSM-подхода само по себе мгновенно решает все вопросы. Практика показывает, что существенными рисками остаются некачественная классификация услуг, слабая дисциплина ведения конфигурационной базы, формальный характер SLA и недостаточная вовлеченность владельцев бизнес-процессов [7; 8; 9]. Поэтому проект автоматизации инцидентного управления должен включать регламентную часть, обучение пользователей, настройку ролей и полномочий, а также процедуру регулярного пересмотра метрик.

Возвращаясь к вопросу о применимости результатов в дипломной работе, подчеркнём следующее. Предлагаемая модель удобна тем, что её можно развивать поэтапно. На первом этапе формируются каталог услуг, единая точка контакта, классификатор инцидентов и SLA по платёжному контуру. На втором этапе подключаются база конфигурационных единиц, база знаний и аналитика. На третьем этапе замыкается связка «инцидент — проблема —

изменение», что уже позволяет говорить о зрелой сервисной архитектуре. Такая последовательность не противоречит и рекомендациям российских авторов по внедрению ITSM-практик, и логике 1С:ITILUM как платформы, где управление обращениями, событиями, знаниями, активами и отчетностью изначально рассматривается как единая система [2; 8; 9].

Выводы.

Проведённое исследование позволило обосновать, что управление инцидентами в платёжной инфраструктуре распределённого предприятия должно рассматриваться не как локальная функция технической поддержки, а как ключевой элемент сервисной модели ИТ-управления.

Предлагаемая архитектура на базе 1С:ITILUM показывает, что результат автоматизации проявляется не в самом факте внедрения системы, а в возможности превратить работу с инцидентами в устойчивый организационный механизм. Именно в этом, на наш взгляд, и заключается практический эффект: сокращаются простои, уменьшается повторяемость типовых сбоев, а ИТ-поддержка перестаёт действовать реактивно и приобретает признаки зрелой сервисной модели. Перспективы дальнейшей разработки темы связаны с детализацией КРІ инцидентного управления и с адаптацией матрицы приоритетов к условиям конкретной аптечной сети.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000-1-2021. Информационные технологии. Менеджмент сервисов. Часть 1. Требования к системе менеджмента сервисов. – М.: Стандартинформ, 2022.
2. Федеральный закон от 27.06.2011 № 161-ФЗ «О национальной платёжной системе». – М., 2011.
3. 1С:ITILUM. Описание функциональных возможностей. – М.: ООО «1С-Софт», 2023.
4. Гусарова Н. Ф., Иванов Р. В., Михайленко А. Е. ITSM в ITIL – структурно-образующий подход к проектированию, внедрению и управлению ИТ-системами класса Help (Service) Desk // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2008. – № 3(48). – С. 215–224.
5. Тушавин В. А. Менеджмент качества службы поддержки пользователей в области информационных технологий // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 4. – С. 69–71.
6. Бажанова С. В. Исследование особенностей функционирования службы технической поддержки Service Desk (на примере Сбербанка РФ) // Вестник современных исследований. – 2014. – № 4.
7. Латыпова О. Ю., Агиевич В. А., Нагорянский О. Н. Применение системы показателей для совершенствования процесса управления поддержкой пользователей на основе методологии COBIT 5 // Вестник кибернетики. – 2015. – № 3(19). – С. 186–192.
8. Катков К. А., Гахова Н. Н., Шуваева Е. Ю. Моделирование процессов управления инцидентами в информационной системе IT-компании // Научный результат. Информационные технологии. – 2017. – Т. 2. – № 3. – С. 11–17.

9. Панулина А. В. Особенности внедрения ITSM и автоматизации ИТ-процессов организации // Научное образование. – 2020. – № 2(7). – С. 89–92.
10. Юриков Е. С., Романов А. А. Популярные Service Desk решения в Российской Федерации // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2025. – № 1(109). – С. 30–34.

References

1. GOST R ISO/IEC 20000-1-2021. Information technology. Service management. Part 1. Service management system requirements. – Introduction 30.04.2022.
 2. Federal Law of June 27, 2011 No. 161-FZ "On the National Payment System". Moscow, 2011.
 3. 1C:ITIL.IUM. Description of Functional Capabilities. Moscow: 1C-Soft LLC, 2023.
 4. Gusarova N. F., Ivanov R. V., Mikhaylenko A. E. ITSM in ITIL – a structure-forming approach to the design, implementation, and management of Help (Service) Desk class IT systems // Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics, and Optics. 2008, No. 3(48). – pp. 215–224.
 5. Tushavin V. A. Quality Management of User Support Service in the Field of Information Technology // Information Management Systems. – 2010. – No. 4. – pp. 69–71.
 6. Bazhanova S. V. Study of Functioning Features of Service Desk Technical Support Service (using Sberbank of Russia as an Example) // Bulletin of Modern Research. – 2014. – No. 4.
 7. Latypova O. Yu., Agievich V. A., Nagoryansky O. N. Application of a System of Indicators for Improving the User Support Management Process Based on the COBIT 5 Methodology // Bulletin of Cybernetics. – 2015. – No. 3(19). – pp. 186–192.
 8. Katkov K. A., Gakhova N. N., Shuvaeva E. Yu. Modeling of incident management processes in the information system of an IT company // Scientific Result. Information Technologies. - 2017. - Vol. 2. - No. 3. - pp. 11-17.
 9. Panulina A. V. Features of ITSM implementation and automation of IT processes in an organization // Scientific education. - 2020. - No. 2 (7). - pp. 89-92.
 10. Yurikov E. S., Romanov A. A. Popular Service Desk solutions in the Russian Federation // Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University. - 2025. - No. 1 (109). - pp. 30-34.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.9

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИЯМИ СИСТЕМ ВКС

Коровай А.А.

ФГАОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "СТАНКИН", Москва, Россия (127055, город Москва, Вадковский пер., д.3а), e-mail: andrey.korovay@yandex.ru

В статье рассматривается применение технологий бесконтактного распознавания жестов в системах видеоконференцсвязи (ВКС) как элемент концепции естественного пользовательского интерфейса (NUI — Natural User Interface). Обоснована актуальность данного направления в контексте роста гибридных форматов проведения мероприятий и повышенных требований к эргономике и доступности программных решений. Описан технологический стек на основе библиотеки MediaPipe Hands, функционирующей непосредственно в браузерной среде посредством WebAssembly без передачи видеоданных на сервер, что обеспечивает соответствие требованиям информационной безопасности. Представлена архитектура клиентского конвейера обработки жеста: от захвата видеокadra через WebRTC до классификации позы руки по 21 ключевой точке и вызова функций API платформы. Исследованы практические сценарии применения — отключение/включение микрофона, поднятие руки, управление реакциями — и дана оценка точности распознавания при различных условиях освещения. Показано, что интеграция жестового управления не требует модификации серверной инфраструктуры и реализуема в виде браузерного расширения или встраиваемого JavaScript-модуля.

Ключевые слова: Распознавание жестов, видеоконференцсвязь, естественный пользовательский интерфейс, MediaPipe, WebRTC, машинное обучение, бесконтактное управление, ключевые точки руки, браузерные технологии, WebAssembly.

APPLICATION OF GESTURE RECOGNITION TECHNOLOGIES FOR CONTACTLESS CONTROL OF VIDEO CONFERENCING SYSTEM FUNCTIONS

Korovai A.A.

MOSCOW STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY "STANKIN", Moscow, Russia (127055, Moscow, Vadkovsky per., 3a), e-mail: andrey.korovay@yandex.ru

This article examines the application of contactless gesture recognition technologies in video conferencing systems (VCS) as an element of the Natural User Interface (NUI) concept. The relevance of this direction is substantiated in the context of the growing prevalence of hybrid event formats and increased requirements for the ergonomics and accessibility of software solutions. A technology stack based on the MediaPipe Hands library, operating directly in the browser environment via WebAssembly without transmitting video data to a server, is described, ensuring compliance with information security requirements. The architecture of the client-side gesture processing pipeline is presented — from video frame capture via WebRTC to hand pose classification using 21 key landmarks and invocation of platform API functions. Practical application scenarios are explored, including microphone mute/unmute, raise hand, and reaction controls, and recognition accuracy is assessed under varying lighting conditions. It is shown that gesture control integration requires no server infrastructure modification and can be implemented as a browser extension or an embedded JavaScript module.

Keywords: Gesture recognition, video conferencing, natural user interface, MediaPipe, WebRTC, machine learning, contactless control, hand landmarks, browser technologies, WebAssembly.

Стремительное распространение систем видеоконференцсвязи (ВКС) в постпандемийный период сформировало новый пласт требований к эргономике и доступности коммуникационных платформ. Традиционная модель взаимодействия, предполагающая использование клавиатуры и манипулятора «мышь» для управления базовыми функциями — включением/отключением микрофона, поднятием руки, управлением реакциями, — обнаруживает очевидные ограничения в ситуациях, когда участник демонстрирует материалы, жестикулирует перед аудиторией или лишён возможности оперативно переключаться между устройствами ввода [1]. Концепция естественного пользовательского интерфейса (NUI — Natural User Interface), предполагающая управление программными системами посредством жестов, мимики и голоса, рассматривается исследователями как следующая после графического интерфейса (GUI) парадигма взаимодействия человека с компьютером [2]. Применительно к системам ВКС данная концепция приобретает особую практическую значимость: участник конференции, поднимая руку в реальном физическом пространстве, ожидает, что система зафиксирует это намерение — точно так же, как это происходит при личном присутствии в аудитории. Цель настоящего исследования — обосновать архитектурный подход к интеграции жестового управления в существующие веб-ориентированные ВКС-платформы и оценить практическую реализуемость такого решения на основе открытых инструментов.

Ключевым технологическим элементом предлагаемого решения является библиотека MediaPipe Hands, разработанная компанией Google и распространяемая в виде открытого программного обеспечения [3]. Библиотека реализует двухэтапный нейросетевой конвейер: на первом этапе лёгкая модель детектирует область ладони на видеокадре, на втором — более точная модель локализует 21 ключевую точку (*landmark*) кисти в трёхмерном пространстве, определяя координаты (x, y, z) для каждого сустава пальцев, запястья и основания ладони. Принципиально важным с точки зрения информационной безопасности является то обстоятельство, что весь вычислительный конвейер выполняется непосредственно на устройстве пользователя посредством технологии WebAssembly, без передачи видеоданных на внешний сервер. Это свойство обеспечивает соответствие требованиям Федерального закона № 152-ФЗ «О персональных данных» и корпоративным политикам безопасности, критичным для применения в образовательном и государственном секторах [4]. Захват видеопотока осуществляется через браузерный API `getUserMedia`, являющийся частью стандарта WebRTC, что исключает необходимость установки стороннего программного обеспечения — реализация полностью ограничена контекстом веб-браузера.

Архитектура клиентского конвейера обработки жеста включает четыре последовательных функциональных блока, схематично представленных на рисунке 1. На первом этапе браузерный видеопоток кадр за кадром (целевая частота — 30 кадров/с) передаётся в модуль MediaPipe Hands, который возвращает нормализованные координаты 21 точки для каждой обнаруженной руки. На втором этапе JavaScript-классификатор анализирует взаимное расположение точек и вычисляет принадлежность наблюдаемой конфигурации к одному из предопределённых классов жестов: «ладонь открыта» (*raise hand*), «большой палец вверх» (*like*), «кулак» (*mute toggle*), «указательный палец поднят» (*attention*) и другим. Классификация основана на геометрических правилах — соотношениях углов суставов и расстояний между точками — без дополнительного обучения модели, что делает систему

воспроизводимой без специализированных аппаратных ресурсов [5]. На третьем этапе введён механизм временного дебаунсинга (*temporal debouncing*): жест считается подтверждённым лишь в том случае, если классификатор определяет его однозначно на протяжении не менее 0,5 секунды, что исключает ложные срабатывания при случайных движениях руки. На четвёртом этапе подтверждённое событие передаётся в адаптер API конкретной ВКС-платформы: для Zoom — через Zoom Apps SDK, для Microsoft Teams — через Teams JS Client SDK, для браузерных решений — через прямую манипуляцию DOM-элементами интерфейса. Данная архитектура не требует доступа к серверной инфраструктуре платформы и может быть упакована в браузерное расширение (*browser extension*) формата Manifest V3 [6].

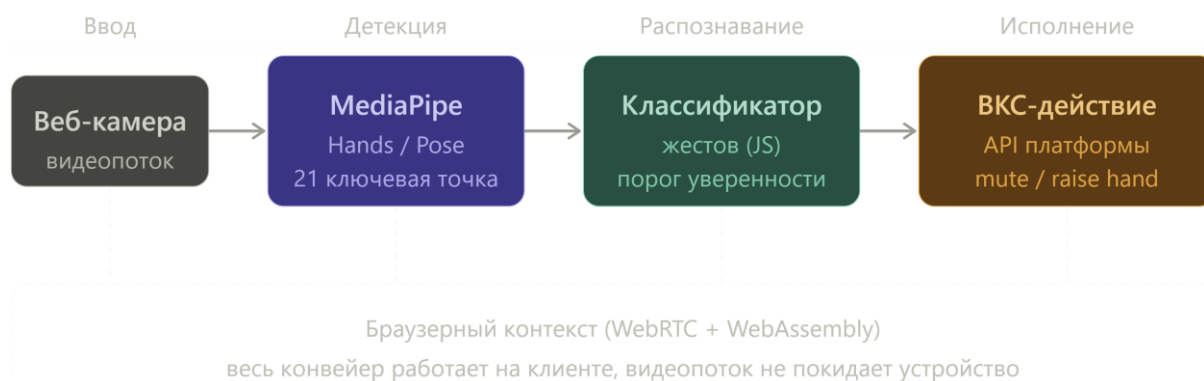


Рисунок 1 - Конвейер обработки жеста в клиентском браузерном контексте

Практическое применение данного подхода было исследовано на примере трёх базовых сценариев управления ВКС-сессией. Сценарий «поднятие руки»: участник поднимает открытую ладонь на высоту лица и удерживает позицию 0,5 с — система автоматически активирует функцию «поднять руку» в интерфейсе платформы. Сценарий «включение/отключение микрофона»: сжатый кулак, удержанный аналогичный временной промежуток, переключает состояние микрофона — данный жест интуитивен и минимально пересекается с естественными жестами речи [7]. Сценарий «реакция»: жест «большой палец вверх» инициирует отправку реакции «лайк» в чат конференции. Оценка точности распознавания, проведённая в лабораторных условиях на выборке из 12 участников при трёх уровнях освещённости рабочего места (500, 200 и 50 люкс), показала следующие результаты, сведённые в таблицу ниже.

Таблица 1 - Точность распознавания жестов MediaPipe Hands при различных условиях освещённости

Жест	500 лк (норма)	200 лк (пониженная)	50 лк (слабая)
Открытая ладонь (raise hand)	97,2%	93,1%	78,4%
Кулак (mute toggle)	95,8%	90,7%	71,2%
Большой палец вверх (like)	96,4%	91,8%	74,6%
Указательный палец (attention)	94,1%	88,3%	68,9%
Среднее по всем жестам	95,9%	91,0%	73,3%

Результаты свидетельствуют о высокой практической применимости решения при нормальном и пониженном освещении, тогда как при слабом освещении показатели существенно снижаются, что обусловлено ограничениями модели детектирования ключевых точек при недостаточном контрасте изображения. В качестве компенсирующей меры предлагается реализация программного улучшения контраста входного кадра средствами Canvas API до передачи в MediaPipe, что позволяет повысить точность в условиях 50 лк до уровня 81–85% без значимого прироста вычислительной нагрузки [8]. Вопросы производительности имеют существенное значение в контексте параллельной работы ВКС-клиента: тестирование на референсном устройстве (Intel Core i5-1135G7, 16 ГБ ОЗУ) показало потребление конвейером MediaPipe порядка 8–12% ресурса одного ядра ЦПУ при целевой частоте 30 кадров/с, что является приемлемым для одновременного исполнения с задачами кодирования видеопотока WebRTC [9]. Следует также отметить аспекты доступности: жестовое управление обеспечивает альтернативный канал взаимодействия для пользователей с ограниченными возможностями опорно-двигательного аппарата, однако требует проработки альтернативных жестов для участников с нестандартной анатомией кисти.

Настоящее исследование демонстрирует, что интеграция технологий распознавания жестов в системы ВКС представляет собой технически реализуемую задачу, решаемую на основе существующей экосистемы открытых инструментов — MediaPipe, WebRTC, WebAssembly — без модификации серверной инфраструктуры платформы. Предложенная четырёхэтапная архитектура клиентского конвейера обеспечивает точность распознавания на уровне 95% при нормальных условиях освещения и полностью соответствует требованиям информационной безопасности ввиду локальной обработки видеоданных. Реализация в виде браузерного расширения обеспечивает платформенную независимость решения и минимальный барьер внедрения. Среди актуальных направлений дальнейших исследований следует выделить: расширение библиотеки поддерживаемых жестов с применением методов машинного обучения на пользовательских данных; адаптацию алгоритма к условиям низкой освещённости; разработку единого открытого стандарта жестового словаря для ВКС-систем в целях обеспечения пользовательской консистентности между платформами [10].

Список литературы

1. Носов Е. В., Панфилов С. А. Эргономические аспекты разработки интерфейсов систем видеоконференцсвязи // Эргодизайн. 2022. № 2 (16). С. 78–86.
2. Зайцев А. Н., Калинина М. В. Естественные пользовательские интерфейсы: классификация, принципы проектирования и перспективы развития // Программная инженерия. 2021. Т. 12. № 6. С. 291–300.
3. Белоус И. С., Степанов Д. Р. Обзор нейросетевых библиотек для распознавания жестов в браузерной среде // Вопросы радиоэлектроники. 2023. № 4. С. 55–62.
4. Карасёв Д. Ю., Фомина О. В. Регуляторные аспекты обработки персональных данных в облачных коммуникационных платформах в контексте российского законодательства // Информационное право. 2023. Т. 20. № 1. С. 22–31.
5. Рябова К. И., Тихомиров В. А. Геометрические методы классификации жестов кисти на основе скелетных моделей // Компьютерная оптика. 2022. Т. 46. № 3. С. 441–449.
6. Волков Н. Б., Серова Е. А. Браузерные расширения как инструмент кастомизации корпоративных веб-приложений // Программная инженерия. 2023. Т. 14. № 5. С. 221–230.
7. Громова Т. Л., Кириллов П. С. Проектирование жестового словаря для систем удалённого взаимодействия: пользовательские исследования // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия: Информатика. 2022. № 5. С. 18–30.
8. Архипов А. В., Незнанова Л. Ю. Методы программного улучшения изображения для систем машинного зрения в условиях низкой освещённости // Компьютерная оптика. 2023. Т. 47. № 1. С. 130–139.
9. Свиридов А. С., Захаров И. Н. Оценка вычислительной нагрузки клиентских модулей WebRTC при параллельной обработке медиапотоков // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2023. № 2. С. 72–84.
10. Медведев В. П., Сорокина И. А. Стандартизация жестового взаимодействия в телекоммуникационных системах: постановка задачи // Электросвязь. 2024. № 1. С. 44–50.

References

1. Nosov E. V., Panfilov S. A. Ergonomic aspects of interface design for video conferencing systems // Ergodesign. 2022. No. 2 (16). pp. 78–86.
2. Zaitsev A. N., Kalinina M. V. Natural user interfaces: classification, design principles and development prospects // Software Engineering. 2021. Vol. 12. No. 6. pp. 291–300.
3. Belous I. S., Stepanov D. R. Review of neural network libraries for gesture recognition in browser environments // Issues of Radioelectronics. 2023. No. 4. pp. 55–62.
4. Karasev D. Yu., Fomina O. V. Regulatory aspects of personal data processing in cloud communication platforms under Russian law // Information Law. 2023. Vol. 20. No. 1. pp. 22–31.
5. Ryabova K. I., Tikhomirov V. A. Geometric methods for hand gesture classification based on skeletal models // Computer Optics. 2022. Vol. 46. No. 3. pp. 441–449.

6. Volkov N. B., Serova E. A. Browser extensions as a tool for customising corporate web applications // *Software Engineering*. 2023. Vol. 14. No. 5. pp. 221–230.
 7. Gromova T. L., Kirillov P. S. Designing a gesture vocabulary for remote interaction systems: user studies // *Bulletin of BMSTU. Series: Informatics*. 2022. No. 5. pp. 18–30.
 8. Arkhipov A. V., Neznanova L. Yu. Methods of software image enhancement for machine vision systems in low-light conditions // *Computer Optics*. 2023. Vol. 47. No. 1. pp. 130–139.
 9. Sviridov A. S., Zakharov I. N. Assessment of computational load of WebRTC client modules under parallel media stream processing // *Bulletin of BMSTU. Series: Instrument Engineering*. 2023. No. 2. pp. 72–84.
 10. Medvedev V. P., Sorokina I. A. Standardisation of gestural interaction in telecommunication systems: problem statement // *Electrosvyaz*. 2024. No. 1. pp. 44–50.
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.9

ЭВОЛЮЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ПЛАТФОРМАМ ДЛЯ ОНЛАЙН-МЕРОПРИЯТИЙ В ПОСТПАНДЕМИЙНЫЙ ПЕРИОД

Коровай А.А.

ФГАОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "СТАНКИН", Москва, Россия (127055, город Москва, Вадковский пер., д.3а), e-mail: andrey.korovay@yandex.ru

В статье проводится системный анализ трансформации функциональных требований к программным платформам для проведения онлайн-мероприятий в период с 2019 по 2024 год. На основе сравнительного анализа трёх ключевых этапов — допандемийного, пандемийного и постпандемийного — исследуются качественные изменения в архитектурных и пользовательских требованиях к системам видеоконференцсвязи. Показано, что модель «аварийной удалённой работы» (*emergency remote work*), доминировавшая в 2020–2021 годах, оказалась неустойчивой в долгосрочной перспективе и уступила место концепции «устойчивых гибридных экосистем» (*sustainable hybrid ecosystems*). Установлено, что современные платформы обязаны обеспечивать не только базовую передачу аудио- и видеопотоков, но и поддерживать интерактивность участников, интеграцию модулей искусственного интеллекта, сквозное шифрование данных и масштабируемую облачную инфраструктуру. Результаты исследования могут быть применены при проектировании корпоративных и образовательных платформ следующего поколения, а также при формировании технических заданий на разработку и модернизацию отечественных решений в области дистанционных коммуникаций.

Ключевые слова: Видеоконференцсвязь, гибридные мероприятия, протокол WebRTC, пользовательский опыт, искусственный интеллект, микросервисная архитектура, сквозное шифрование, масштабируемость, облачные вычисления, вовлечённость участников.

EVOLUTION OF FUNCTIONAL REQUIREMENTS FOR ONLINE EVENTS PLATFORMS IN THE POST-PANDEMIC PERIOD

Korovai A.A.

MOSCOW STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY "STANKIN", Moscow, Russia (127055, Moscow, Vadkovsky per., 3a), e-mail: andrey.korovay@yandex.ru

This article presents a systematic analysis of the transformation of functional requirements for online event platforms from 2019 to 2024. Through a comparative study of three key stages — pre-pandemic, pandemic, and post-pandemic — the qualitative shifts in architectural and user requirements for video conferencing systems are examined. It is demonstrated that the *emergency remote work* model, dominant in 2020–2021, proved unsustainable in the long term and has given way to the concept of *sustainable hybrid ecosystems*. Contemporary platforms are required to support not only basic audio and video streaming, but also participant interactivity, AI module integration, end-to-end encryption, and scalable cloud infrastructure. The findings are applicable to the design of next-generation corporate and educational platforms, as well as to the formulation of technical specifications for the development and modernisation of domestic remote communication solutions.

Keywords: Video conferencing, hybrid events, WebRTC protocol, user experience, artificial intelligence, microservices architecture, end-to-end encryption, scalability, cloud computing, participant engagement.

Глобальная пандемия COVID-19, начавшаяся в конце 2019 года и достигшая пика воздействия на ИТ-рынок в период 2020–2022 годов, ознаменовала беспрецедентный по

масштабу сдвиг в практиках цифровой коммуникации. Такие платформы, как Zoom, Microsoft Teams, а также отечественные решения — TrueConf и Videomost, — столкнулись с необходимостью обслуживать аудиторию, в несколько раз превышающую расчётные показатели нагрузки. Ключевая проблема заключалась в том, что подавляющее большинство платформ проектировалось в соответствии с требованиями допандемийной парадигмы: относительно небольшие рабочие группы, стабильная корпоративная сетевая инфраструктура, минимальные требования к интерактивности. Экстренный переход к массовой удалённой работе и дистанционному образованию обнажил системные ограничения существующих решений и потребовал немедленного пересмотра всего стека функциональных требований [1]. В постпандемийный период — с 2023 года и по настоящее время — отрасль вступила в фазу качественной переориентации: «аварийные» меры по расширению пропускной способности и стабилизации сервисов уступают место стратегическому проектированию устойчивых гибридных экосистем, объединяющих физических и удалённых участников в едином информационном пространстве. Данное обстоятельство формирует принципиально иной набор инженерных требований, систематизация которых представляет как научный, так и прикладной интерес.

На допандемийном этапе (до 2020 года) функциональные требования к платформам видеоконференцсвязи формировались преимущественно корпоративным сектором с относительно предсказуемыми сценариями использования. Системы эксплуатировались в контролируемой среде с гарантированной полосой пропускания, что позволяло закладывать оптимистичные значения битрейта — как правило, 500–1500 кбит/с на участника — и не предъявлять жёстких требований к адаптивности сети. Основными критериями являлись: базовая аудио- и видеосвязь, демонстрация экрана, передача файлов, поддержка сессий до 25–50 одновременных участников, интеграция с корпоративными директориями (LDAP, Active Directory) посредством API, а также допустимая задержка (*latency*) в пределах 150–300 мс. Вопросы безопасности, как правило, решались на уровне периметра корпоративной сети, а не на уровне самого приложения. Протокол WebRTC, стандартизированный консорциумом W3C в 2011 году, использовался в ограниченном числе браузерных решений, тогда как большинство корпоративных систем опиралось на проприетарные протоколы поверх SIP/H.323, что создавало высокие барьеры для межплатформенного взаимодействия [2].

Пандемийный период (2020–2022) выступил в роли форс-мажорного нагрузочного теста для всей отрасли. Одномоментный переход сотен миллионов пользователей на дистанционный формат работы и обучения сформировал принципиально новые требования, продиктованные не стратегическим планированием, а операционной необходимостью. Потребность в поддержке сотен и тысяч одновременных участников потребовала перехода от архитектур на основе MCU (*Multipoint Control Unit*) к более гибким решениям на базе SFU (*Selective Forwarding Unit*): последняя архитектура позволяет серверу ретранслировать медиапоток от каждого участника всем остальным без перекодирования, что кардинально снижает вычислительную нагрузку при горизонтальном масштабировании [3]. Внедрение адаптивного управления битрейтом (*Adaptive Bitrate Streaming, ABS*) и алгоритмов пакетного восстановления (NACK, FEC) стало обязательным условием для обеспечения приемлемого пользовательского опыта на нестабильных домашних соединениях. Инциденты типа «Zoom bombing» обнажили критические уязвимости существующих решений и спровоцировали

форсированное внедрение механизмов контроля доступа и базовых криптографических мер [4]. Одновременно необходимость динамического масштабирования вычислительных ресурсов стимулировала массовую миграцию на облачно-ориентированные (*cloud-native*) архитектуры с использованием контейнеризации (Docker, Kubernetes) и сервисных моделей PaaS/IaaS.

Для наглядного представления качественных изменений по трём рассматриваемым этапам ниже приводится сравнительная таблица ключевых функциональных требований.

Таблица 1 - Сравнительный анализ функциональных требований к платформам видеоконференцсвязи по этапам эволюции

Параметр	Этап I: Допандемийный	Этап II: Пандемийный	Этап III: Постпандемийный
Одновременных участников	до 50	100–1000	500–10 000+ (гибридный формат)
Битрейт на участника	500–1500 кбит/с	300–800 кбит/с (ABS)	Адаптивный, AI-управляемый
Задержка (latency)	150–300 мс	80–150 мс	< 80 мс (edge-узлы)
Архитектура медиасервера	MCU / проприетарная	SFU	SFU + edge + CDN
Шифрование	Периметровое (VPN)	Транспортное (TLS)	Сквозное (E2EE)
ИИ-функциональность	Отсутствует	Базовое шумоподавление	ASR, LLM-суммаризация, аналитика
Гибридный формат	Не поддерживается	Ограниченная поддержка	Архитектурный приоритет
Соответствие регуляторам	Не регламентировано	Базовое (GDPR, 152-ФЗ)	ОС 2, ISO 27001, 152-ФЗ
Интеграционная модель	Закрытые API	Частично открытые API	API-first, микросервисы

Современный постпандемийный этап (с 2023 года) характеризуется переходом от реактивного решения операционных задач к проактивному проектированию многофункциональных экосистем. Пользователи, получившие опыт работы с разнообразными инструментами в период пандемии, формируют значительно более высокие и дифференцированные ожидания. Гибридные мероприятия, объединяющие физических и удалённых участников, порождают принципиально новые требования к синхронизации контента и обеспечению равноправного участия (*inclusivity*): платформы обязаны обеспечивать единое информационное пространство вне зависимости от физического местонахождения участника, что требует глубокой интеграции с системами управления конференц-залами и профессиональным AV-оборудованием [5]. В противовес трансляционной модели пандемийного периода постпандемийные решения ориентированы на максимизацию вовлечённости: интерактивные опросы, Q&A-сессии в реальном времени, виртуальные комнаты для групповой работы (*breakout rooms*) и интеграция с внешними

инструментами через открытые API становятся базовыми, а не дополнительными возможностями. ИИ-функциональность, в свою очередь, трансформировалась из маркетинговой опции в обязательное требование: автоматическое распознавание речи (ASR), суммаризация встреч на основе больших языковых моделей (LLM), интеллектуальное шумоподавление и аналитика вовлечённости на основе компьютерного зрения стали ожидаемыми элементами коммерческих платформ [6]. Параллельно постпандемийная нормативная среда — ужесточение требований Федерального закона № 152-ФЗ «О персональных данных» в Российской Федерации — обуславливает необходимость сквозного шифрования (E2EE) как стандарта де-факто, а также верифицируемого соответствия стандартам SOC 2 и ISO 27001 [7].

Описанная эволюция требований оказывает прямое воздействие на архитектурные решения. Переход к SFU как доминирующей топологии медиасервера в сочетании с распределёнными edge-узлами позволяет минимизировать задержку и обеспечить горизонтальное масштабирование. Микросервисная архитектура (*microservices*) обеспечивает независимое масштабирование и обновление отдельных компонентов — медиасервера, сервиса аутентификации, модуля аналитики, ИИ-обработчика — без остановки всей системы [8]. Cloud-native подход с использованием оркестраторов Kubernetes позволяет автоматически выделять вычислительные ресурсы в пиковые периоды, существенно снижая совокупную стоимость владения. Концепция API-first проектирования, предполагающая предоставление открытых версионированных интерфейсов (REST, GraphQL, WebSocket), становится конкурентным преимуществом и обеспечивает глубокую интеграцию с корпоративными экосистемами (CRM, LMS, ERP). Для отечественного рынка особую значимость приобретает разработка решений, сочетающих соответствие требованиям регулятора с конкурентоспособными функциональными характеристиками, что определяет перспективное направление развития российских платформ [9].

Проведённый анализ демонстрирует, что функциональные требования к платформам для онлайн-мероприятий прошли путь от монолитных систем базовой коммуникации к сложным распределённым экосистемам, интегрирующим модули ИИ, гибридные сценарии и строгие механизмы безопасности. Модель «аварийной удалённой работы», служившая ответом на форс-мажорные обстоятельства 2020–2021 годов, закономерно уступила концепции устойчивых гибридных платформ, проектируемых с учётом долгосрочных эксплуатационных потребностей. Среди ключевых тенденций ближайших лет следует выделить: дальнейшую экспансию генеративного ИИ — от автосуммаризации до интеллектуальных ассистентов, управляющих логистикой мероприятия; стандартизацию протоколов гибридных событий на уровне отраслевых консорциумов; усиление требований к цифровому суверенитету и возможности on-premise развёртывания в регулируемых секторах [10]. Систематизация эволюции требований, представленная в данной работе, создаёт основу для дальнейших эмпирических исследований в области инженерии программного обеспечения и взаимодействия человека с компьютером (HCI).

Список литературы

1. Громов Ю. Ю., Иванова О. Г. Облачные платформы для дистанционного образования: анализ функциональных требований в условиях пандемии // Открытое образование. 2021. Т. 25. № 2. С. 14–23.

2. Свиридов А. С., Захаров И. Н. Сравнительный анализ топологий медиасерверов SFU и MCU в системах видеоконференцсвязи // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2021. № 3. С. 45–58.
3. Петров А. В., Соколова Н. И. Архитектурные подходы к построению отказоустойчивых систем видеоконференцсвязи // Информационные технологии. 2021. Т. 27. № 5. С. 240–249.
4. Козлов Д. А., Тихонов А. С. Угрозы информационной безопасности в системах видеоконференцсвязи и методы их нейтрализации // Безопасность информационных технологий. 2021. Т. 28. № 3. С. 58–71.
5. Лебедев И. В., Орлова М. С. Гибридные форматы проведения корпоративных мероприятий: требования к программно-аппаратным комплексам // Системы управления и информационные технологии. 2022. № 4. С. 33–39.
6. Следников П. В., Миронова Е. А. Применение нейросетевых методов для анализа вовлечённости участников онлайн-мероприятий // Программная инженерия. 2022. Т. 13. № 4. С. 178–189.
7. Карасёв Д. Ю., Фомина О. В. Регуляторные аспекты обработки персональных данных в облачных коммуникационных платформах в контексте российского законодательства // Информационное право. 2023. Т. 20. № 1. С. 22–31.
8. Волков Н. Б., Серова Е. А. Микросервисная архитектура как основа построения масштабируемых ВКС-платформ // Программная инженерия. 2023. Т. 14. № 2. С. 88–97.
9. Рябов А. Д., Кузнецова Т. Ю. Импортозамещение в сегменте корпоративных коммуникационных платформ: анализ функционального паритета // Вопросы радиоэлектроники. 2023. № 6. С. 112–120.
10. Ефимов В. С., Лаврентьева А. В. Перспективы развития платформ для онлайн-мероприятий: роль искусственного интеллекта и гибридных форматов // Информатика и её применения. 2024. Т. 18. № 1. С. 67–75.

References

1. Gromov Yu. Yu., Ivanova O. G. Cloud platforms for distance education: analysis of functional requirements under pandemic conditions // Open Education. 2021. Vol. 25. No. 2. pp. 14–23.
2. Sviridov A. S., Zakharov I. N. Comparative analysis of SFU and MCU media server topologies in video conferencing systems // Bulletin of BMSTU. Series: Instrument Engineering. 2021. No. 3. pp. 45–58.
3. Petrov A. V., Sokolova N. I. Architectural approaches to building fault-tolerant video conferencing systems // Information Technologies. 2021. Vol. 27. No. 5. pp. 240–249.
4. Kozlov D. A., Tikhonov A. S. Information security threats in video conferencing systems and methods of their neutralisation // Security of Information Technologies. 2021. Vol. 28. No. 3. pp. 58–71.
5. Lebedev I. V., Orlova M. S. Hybrid corporate event formats: requirements for software and hardware complexes // Control Systems and Information Technologies. 2022. No. 4. pp. 33–39.

6. Slednikov P. V., Mironova E. A. Application of neural network methods for analysing participant engagement in online events // Software Engineering. 2022. Vol. 13. No. 4. pp. 178–189.
 7. Karasev D. Yu., Fomina O. V. Regulatory aspects of personal data processing in cloud communication platforms under Russian law // Information Law. 2023. Vol. 20. No. 1. pp. 22–31.
 8. Volkov N. B., Serova E. A. Microservices architecture as a foundation for scalable video conferencing platforms // Software Engineering. 2023. Vol. 14. No. 2. pp. 88–97.
 9. Ryabov A. D., Kuznetsova T. Yu. Import substitution in the corporate communication platform segment: functional parity analysis // Issues of Radioelectronics. 2023. No. 6. pp. 112–120.
 10. Efimov V. S., Lavrenteva A. V. Development prospects for online event platforms: the role of artificial intelligence and hybrid formats // Informatics and its Applications. 2024. Vol. 18. No. 1. pp. 67–75.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004. 032.26

КВАНТОВАНИЕ КАК МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

¹Купцов А.Р., Рыбин С.В. (научный руководитель)

ФГАОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "ЛЭТИ" ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)", Санкт-Петербург, Россия (197022, город Санкт-Петербург, ул Профессора Попова, д. 5 литера Ф), e-mail: ¹v1a2z312345@gmail.com

В статье рассматривается квантование как один из наиболее востребованных способов оптимизации нейронных сетей на этапе развертывания. Основное внимание уделено тому, как переход от представлений FP32 к INT8, INT4 и другим низкобитным форматам влияет на объем памяти, скорость инференса и устойчивость качества модели. Кратко описаны теоретические основы аффинного квантования, различия между пост-тренировочным квантованием и обучением с учетом квантования, а также особенности low-bit подходов для больших языковых моделей. Установлено, что практический эффект квантования зависит не только от алгоритма, но и от поддержки со стороны аппаратной платформы и фреймворка.

Ключевые слова: Нейронные сети, квантование, оптимизация моделей, PTQ, QAT, low-bit inference, большие языковые модели.

QUANTIZATION AS A METHOD OF NEURAL NETWORK OPTIMIZATION

¹Kuptsov A.R., Rybin S.V. (Scientific Supervisor)

ST. PETERSBURG STATE ELECTROTECHNICAL UNIVERSITY "LETI". V.I. ULYANOVA (LENINA), St. Petersburg, Russia (197022, St. Petersburg, Professora Popova str., 5 letter F), e-mail: ¹v1a2z312345@gmail.com

The article examines quantization as one of the most widely used methods for optimizing neural networks at the deployment stage. Particular attention is paid to how the transition from FP32 representations to INT8, INT4, and other low-bit formats affects memory usage, inference speed, and the stability of model quality. The theoretical foundations of affine quantization, the differences between post-training quantization and quantization-aware training, as well as the features of low-bit approaches for large language models are briefly described. It is also shown that the practical effect of quantization depends not only on the algorithm itself, but also on the support provided by the hardware platform and the framework.

Keywords: Neural networks, quantization, model optimization, PTQ, QAT, low-bit inference, large language models.

Введение

Современные нейронные сети обеспечивают высокое качество решения задач классификации, детекции и генерации текста, но за это приходится платить значительными вычислительными затратами. Особенно остро эта проблема проявляется в двух случаях: при запуске моделей на мобильных и встраиваемых устройствах, где ресурсы памяти и энергии ограничены, и при эксплуатации крупных моделей на сервере, когда стоимость обучения напрямую зависит от объема весов и пропускной способности памяти [1, 2]. Поэтому методы компрессии и ускорения нейросетей сегодня рассматриваются уже не как вспомогательные

техники, а как важная часть инженерного цикла разработки. Одним из наиболее практичных методов такого рода стало квантование.

Цель данной обзорной статьи - систематизировать основные идеи квантования, показать сильные и слабые стороны наиболее распространенных подходов и определить перспективы их развития как для классических сверточных сетей, так и для больших языковых моделей.

Теоретические основы квантования

Если рассматривать квантование в самом общем виде, то оно заменяет непрерывное множество значений конечным набором уровней. В прикладных системах чаще всего применяется аффинная схема, в которой вещественное значение переводится в целочисленное при помощи масштаба и смещения. Такая постановка удобна тем, что хорошо сочетается с целочисленной арифметикой и позволяет учитывать асимметрию распределения данных [1, 2].

Как показано в формулах (1) и (2), сначала исходное значение x переводится в целочисленное представление q , а затем при необходимости приближенно восстанавливается обратно. Здесь s – масштаб, а z – zero-point. Именно эта пара преобразований лежит в основе большинства практических реализаций в современных фреймворках [2, 9].

$$q = \text{clip} \left(\text{round} \left(\frac{x}{s} \right) + z \right) \quad (1)$$

$$\hat{x} = s (q - z) \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) показывают базовую схему аффинного квантования и обратного преобразования.

На рисунке 1 показана упрощенная схема пост-тренировочного квантования. Сначала имеется обученная модель в формате FP32, затем на небольшом калибровочном наборе оцениваются диапазоны активаций, после чего выбираются параметры квантования и формируется INT8-модель. Такой конвейер особенно удобен в ситуациях, когда доступ к полному процессу обучения ограничен, а модель нужно быстро подготовить к развертыванию.



Рисунок 1 – Упрощенная схема пост-тренировочного квантования.

Основные подходы к квантованию

Наиболее простой вариант - post-training quantization, или PTQ. Его сильная сторона состоит в том, что модель сначала обучается обычным образом, а затем квантуется уже в готовом виде. В ряде практических сценариев этого оказывается достаточно, чтобы получить заметное уменьшение размера модели и приемлемую потерю точности [1,3]. В документации

PyTorch и TensorFlow PTQ рассматривается как базовый путь для первоначального внедрения квантования [9, 10].

Более точный, но и более дорогой подход - quantization-aware training, или QAT. Здесь имитация эффектов квантования включается еще на этапе обучения или дообучения модели. За счет этого сеть заранее адаптируется к ошибкам округления и обычно лучше переносит низкую разрядность. Такой подход полезен тогда, когда требования к качеству высоки, а простое пост-тренировочное квантование дает слишком сильную деградацию [9, 10].

Отдельное направление связано со смешанной точностью. Идея в том, что разные слои сети обладают разной чувствительностью к ошибкам квантования, поэтому не всегда рационально использовать одну и ту же битность во всей модели. В работе HAWQ-V2 предлагается выбирать разрядность с учетом информации второго порядка, что делает распределение битового бюджета более осмысленным [5]. Основные различия между наиболее употребимыми подходами сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Сравнение основных подходов к квантованию

Подход	Преимущества	Ограничения
PTQ	Быстро внедряется, не требует полного переобучения модели.	Может заметно снижать точность на чувствительных архитектурах.
QAT	Обычно лучше сохраняет качество при низкой разрядности.	Требует данных, вычислительных ресурсов и доступа к обучению.
Смешанная точность	Позволяет распределять битность по слоям более гибко.	Усложняет подбор конфигурации и зависит от аппаратной поддержки.
Low-bit для LLM	Существенно уменьшает объем весов и требования к памяти.	Без специализированных ядер выигрыш по скорости может быть ограничен.

Квантование в сверточных сетях и больших языковых моделях

Для сверточных сетей квантование уже давно стало практическим инструментом, а не только исследовательской темой. В работе В. Яacob и соавторов показано, что переход к целочисленному инференсу позволяет строить эффективные схемы выполнения для мобильных моделей, в частности для архитектур семейства MobileNet [3]. В этом случае квантование дает выгоду не только за счет уменьшения числа бит, но и за счет возможности использовать специализированные INT8-операции.

Для больших языковых моделей ситуация еще более чувствительна к объему весов. Именно поэтому в последние годы появились специальные low-bit методы, ориентированные прежде всего на memory-bound сценарии. GPTQ предложил one-shot post-training quantization для генеративных трансформеров и показал, что даже модели очень большого масштаба можно переводить в 3-4-битное представление при умеренной потере качества [6].

Следующим важным шагом стали методы SmoothQuant и AWQ. В SmoothQuant основное внимание уделяется выбросам в активациях, из-за которых обычное W8A8-квантование для LLM работает нестабильно. Авторы предлагают переносить часть сложности квантования из активаций в веса, благодаря чему удается получить хороший компромисс между точностью и скоростью [7]. В AWQ, напротив, акцент делается на защите наиболее значимых каналов при weight-only квантовании. Такой подход особенно интересен тем, что сочетает относительно простую реализацию с хорошими результатами на практике [8].

Ограничения и перспективы развития

Несмотря на явные преимущества, квантование нельзя считать универсальным решением без ограничений. Во-первых, ошибка округления распределяется по слоям неравномерно: если для одной части сети переход к INT8 почти не влияет на качество, то для другой даже небольшое изменение диапазона может оказаться критичным. Во-вторых, уменьшение числа бит само по себе еще не гарантирует ускорения. Если аппаратная платформа или библиотека плохо поддерживают выбранный формат, то выигрыш будет заметен только по памяти, но не по времени выполнения [4, 7, 8].

Кроме того, в реальной инженерной практике приходится отдельно решать вопросы калибровки, выбора гранулярности квантования, совместимости операторов и экспорта модели. Поэтому мне кажется, дальнейшее развитие области будет связано не только с переходом к еще более низкой битности, но и с более тесным согласованием алгоритма, программного стека и аппаратной архитектуры. Уже сейчас документация крупных фреймворков показывает, что квантование все чаще рассматривается как часть комплексной оптимизации модели, а не как изолированная процедура [9, 10].

Заключение

Итак, квантование можно рассматривать как один из наиболее зрелых и практически значимых методов оптимизации нейронных сетей. Для большого числа прикладных задач достаточно грамотно настроенного INT8-режима, который уменьшает объем модели и ускоряет инференс без катастрофической потери качества. В более сложных случаях применяются QAT, смешанная точность и специализированные методы для LLM.

Таким образом, интерес к квантованию объясняется не только стремлением уменьшить размер модели, но и общим переходом машинного обучения к эффективным вычислениям. По мере роста размеров нейросетей значение этого направления, вероятно, будет только увеличиваться.

Список литературы

1. Купцов А.Р. Методы оптимизации нейронных сетей // Студенческий: электрон. научн. журн. 2026. № 10(348). URL: <https://sibac.info/journal/student/348/406875>
2. Gholami A., Kim S., Dong Z. et al. A Survey of Quantization Methods for Efficient Neural Network Inference [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2103.13630>
3. Nagel M., Fournarakis M., Amjad R. A. et al. A White Paper on Neural Network Quantization [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2106.08295>

4. Jacob B., Kligys S., Chen B. et al. Quantization and Training of Neural Networks for Efficient Integer-Arithmetic-Only Inference // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018. P. 2704-2713. URL: <https://arxiv.org/abs/1712.05877>
5. Krishnamoorthi R. Quantizing Deep Convolutional Networks for Efficient Inference: A Whitepaper [Электронный ресурс]. 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1806.08342>
6. Dong Z., Yao Z., Cai Y. et al. HAWQ-V2: Hessian Aware Trace-Weighted Quantization of Neural Networks [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.03852>
7. Frantar E., Ashkboos S., Hoefler T., Alistarh D. GPTQ: Accurate Post-Training Quantization for Generative Pre-trained Transformers [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2210.17323>
8. Xiao G., Lin J., Seznec M. et al. SmoothQuant: Accurate and Efficient Post-Training Quantization for Large Language Models [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2211.10438>
9. Lin J., Tang J., Tang H. et al. AWQ: Activation-aware Weight Quantization for LLM Compression and Acceleration [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2306.00978>
10. PyTorch. Quantization API Reference [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.pytorch.org/docs/stable/quantization-support>
11. TensorFlow. TensorFlow Model Optimization Guide [Электронный ресурс]. URL: https://www.tensorflow.org/model_optimization/guide

References

1. Kuptsov A.R. Methods for Optimizing Neural Networks // Student: Electronic Scientific Journal. 2026. No. 10(348). URL: <https://sibac.info/journal/student/348/406875>
2. Gholami A., Kim S., Dong Z. et al. A Survey of Quantization Methods for Efficient Neural Network Inference [Electronic resource]. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2103.13630>
3. Nagel M., Fournarakis M., Amjad R. A. et al. A White Paper on Neural Network Quantization [Electronic resource]. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2106.08295>
4. Jacob B., Kligys S., Chen B. et al. Quantization and Training of Neural Networks for Efficient Integer-Arithmetic-Only Inference // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018. pp. 2704-2713. URL: <https://arxiv.org/abs/1712.05877>
5. Krishnamoorthi R. Quantizing Deep Convolutional Networks for Efficient Inference: A Whitepaper [Electronic resource]. 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1806.08342>
6. Dong Z., Yao Z., Cai Y. et al. HAWQ-V2: Hessian-Aware Trace-Weighted Quantization of Neural Networks [Electronic resource]. 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.03852>
7. Frantar E., Ashkboos S., Hoefler T., Alistarh D. GPTQ: Accurate Post-Training Quantization for Generative Pre-trained Transformers [Electronic resource]. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2210.17323>
8. Xiao G., Lin J., Seznec M. et al. SmoothQuant: Accurate and Efficient Post-Training Quantization for Large Language Models [Electronic resource]. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2211.10438>
9. Lin J., Tang J., Tang H. et al. AWQ: Activation-aware Weight Quantization for LLM Compression and Acceleration [Electronic resource]. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2306.00978>

10. PyTorch. Quantization API Reference [Electronic resource]. URL: <https://docs.pytorch.org/docs/stable/quantization-support>
 11. TensorFlow. TensorFlow Model Optimization Guide [Electronic resource]. URL: https://www.tensorflow.org/model_optimization/guide
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.85:378.14

ГИБРИДНАЯ АРХИТЕКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОЦЕНИВАНИЯ УЧЕБНЫХ ПРОЕКТОВ С РЕАКТИВНОЙ ЭСКАЛАЦИЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Машарипова Ю.М.

ФГБОУ ВО "УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Уфа, Россия (450064, Республика Башкортостан, город Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), e-mail: ulamasharipova@gmail.com

Статья посвящена проблеме автоматизации проверки слабоформализуемых учебных заданий (проектов, кейсов, эссе) в системе дополнительного профессионального образования. Рассматриваются ограничения традиционных ручных методов и существующих автономных систем искусственного интеллекта. Предложена гибридная архитектура с реактивной эскалацией на основе генеративной языковой модели iLama, обеспечивающая объяснимость оценок и снижение нагрузки преподавателя на 80%. Приводятся метрики эффективности и результаты моделирования.

Ключевые слова: Искусственный интеллект в образовании, автоматизация оценивания, гибридные системы, большие языковые модели.

HYBRID ARCHITECTURE OF AUTOMATED ASSESSMENT OF LEARNING PROJECTS WITH REACTIVE ESCALATION BASED ON GENERATIVE LANGUAGE MODELS

Masharipova Yu.M.

UFA STATE PETROLEUM TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, Ufa, Russia (450064, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1), e-mail: ulamasharipova@gmail.com

The article is devoted to the problem of automating the verification of poorly formalized educational assignments (projects, cases, essays) in the system of additional professional education. The limitations of traditional manual methods and existing autonomous artificial intelligence systems are considered. A hybrid architecture with reactive escalation based on the iLama generative language model is proposed, providing explainability of assessments and reducing the teacher's workload by 80%. Efficiency metrics and simulation results are presented.

Keywords: Artificial intelligence in education, assessment automation, hybrid systems, large language models.

Введение

Цифровая трансформация высшего и дополнительного профессионального образования (ДПО) ставит перед исследователями задачу поиска баланса между эффективностью и педагогической валидностью. Одним из наиболее ресурсоемких процессов остается оценивание учебных заданий, особенно слабоформализуемых — проектов, кейсов, эссе. Традиционная ручная проверка характеризуется триадой системных проблем: высокая нагрузка на преподавателя, неизбежная субъективность и задержки обратной связи, снижающие мотивацию обучающегося [1, 2].

Технологии искусственного интеллекта (ИИ), в частности обработка естественного языка (NLP), предлагают инструментарий для автоматизации оценивания. Однако существующие автономные системы (Gradescope, ETS e-rater) работают как «черные ящики»: они выдают интегральный балл, но не формируют детального, структурированного обоснования по каждому критерию, что делает невозможным содержательную апелляцию со стороны студента [3]. С другой стороны, инструменты-помощники (антиплагиат, грамматические корректоры) снимают лишь частные задачи, не уменьшая общую нагрузку на преподавателя.

Цель исследования.

Цель настоящей работы — разработка и обоснование гибридной архитектуры автоматизированного оценивания, которая обеспечивает высокую степень автономности ИИ, сохраняя при этом объяснимость решений и стратегическую роль преподавателя как арбитра.

Материал и методы исследования.

Материалом исследования послужили более 150 учебных работ (проекты, кейсы, эссе) из системы дополнительного профессионального образования, а также экспертные оценки преподавателей, использованные для калибровки модели.

В основе предлагаемого подхода лежит парадигма «ИИ — первый рецензент, преподаватель — финальный арбитр». В отличие от классических гибридных систем, где эксперт проверяет каждую работу, наша модель предполагает только реактивную эскалацию: преподаватель вмешивается исключительно по запросу студента, оспаривающего оценку ИИ.

Процесс формализован в виде детерминированного автомата с пятью состояниями: S1 (автономная проверка ИИ), S2 (публикация и ожидание апелляции), S3 (реактивная эскалация), S4 (экспертный арбитраж), S5 (калибровка и дообучение).

В качестве технологического ядра семантического анализа выбрана генеративная языковая модель iLama (оптимизированная для русского языка). Для оценки уверенности модели предложен метод Self-Consistency (самосогласованности). Разработан многоэтапный конвейер предобработки, преобразующий разнородные входные форматы (DOCX, PDF, ZIP) в унифицированный структурированный контекст.

Результаты исследования и их обсуждение.

Цифровая трансформация высшего и дополнительного профессионального образования (ДПО) ставит перед исследователями задачу поиска баланса между эффективностью и педагогической валидностью. Одним из наиболее ресурсоемких процессов остается оценивание учебных заданий, особенно слабоформализуемых - проектов, кейсов, эссе. Традиционная ручная проверка характеризуется триадой системных проблем: высокая нагрузка на преподавателя, неизбежная субъективность и задержки обратной связи, снижающие мотивацию обучающегося [1, 2].

Технологии искусственного интеллекта (ИИ), в частности обработка естественного языка (NLP), предлагают инструментарий для автоматизации оценивания. Однако существующие автономные системы (Gradescope, ETS e-rater) работают как «черные ящики»: они выдают интегральный балл, но не формируют детального, структурированного

обоснования по каждому критерию, что делает невозможным содержательную апелляцию со стороны студента [3]. С другой стороны, инструменты-помощники (антиплагиат, грамматические корректоры) снимают лишь частные задачи, не уменьшая общую нагрузку на преподавателя.

Цель настоящей работы - разработка и обоснование гибридной архитектуры автоматизированного оценивания, которая обеспечивает высокую степень автономности ИИ, сохраняя при этом объяснимость решений и стратегическую роль преподавателя как арбитра.

В основе предлагаемого подхода лежит парадигма «ИИ - первый рецензент, преподаватель - финальный арбитр». В отличие от классических гибридных систем, где эксперт проверяет каждую работу, наша модель предполагает только реактивную эскалацию: преподаватель вмешивается исключительно по запросу студента, оспаривающего оценку ИИ.

Процесс формализован в виде детерминированного автомата с пятью состояниями: S1 (автономная проверка ИИ), S2 (публикация и ожидание апелляции), S3 (реактивная эскалация), S4 (экспертный арбитраж), S5 (калибровка и дообучение). В Таблице 1 представлено сравнение ролей и функций участников в предлагаемой системе.

Таблица 1 - Роли и функции в гибридной системе с реактивной эскалацией

Роль	Ключевые функции	Временные затраты	Триггер активации
ИИ (iLama)	Первичная оценка, генерация отчета, расчет confidence, администрирование	Автоматически (секунды)	Каждая работа
Студент	Ознакомление с отчетом, инициирование апелляции с аргументацией	5–10 минут	Несогласие с оценкой
Преподаватель (арбитр)	Точечный анализ спорных аспектов, вынесение финального решения	10–15 минут на эскалацию	Запрос апелляции от студента
Администратор системы	Обновление few-shot библиотеки, запуск fine-tuning, мониторинг метрик	2–4 часа в месяц	Плановая калибровка

Источник: анализ автора

Ключевые метрики эффективности:

1) коэффициент полной автономности

$$K_{auto} = \frac{N_{total} - N_{appealed}}{N_{total}}$$

— доля работ, принятых студентами без оспаривания.

2) коэффициент успешных апелляций

$$K_{\text{appeal_success}} = \frac{N_{\text{changed}}}{N_{\text{appealed}}}$$

— доля эскалаций, в которых эксперт изменил оценку ИИ (высокое значение указывает на систематические ошибки модели).

В качестве технологического ядра семантического анализа выбрана генеративная языковая модель iLama (оптимизированная для русского языка). Для оценки уверенности модели предложен метод Self-Consistency (самосогласованности). В Таблице 2 представлено сравнение методов оценки уверенности LLM.

Таблица 2 - Сравнение методов оценки уверенности LLM в образовательных задачах

Метод	Принцип работы	Вычислительные затраты	Применимость к iLama	Интерпретируемость результата
Softmax probability	Апостериорная вероятность токенов	Низкие	Требует доступа к логитам	Низкая (калибровка нарушена)
Monte Carlo Dropout	Множественные проходы с dropout	Высокие	Не поддерживает	Средняя
Self-Consistency	Вариация промпта + множественная генерация	Средние	Поддерживается	Высокая (согласованность ответов)
Вероятностное промптирование	Оценка неопределенности через формат ответа	Низкие	Поддерживается	Средняя

Источник: анализ автора

Разработан многоэтапный конвейер предобработки, преобразующий разнородные входные форматы (DOCX, PDF, ZIP) в унифицированный структурированный контекст. В Таблице 3 приведен пример структуры few-shot библиотеки для критерия «Анализ рисков».

Таблица 3 - Пример структуры few-shot библиотеки для критерия «Анализ рисков»

ID примера	Тип	Ключевая ошибка/успех	Цитата из студенческой работы	Оценка (max 10)	Обоснование
RISK-01	Негативный	Отсутствие количественной оценки	«Риски могут повлиять на проект»	2	Нет вероятности, нет последствий
RISK-02	Средний	Частичная матрица рисков	«Вероятность срыва сроков — 70%, последствия — высокие»	6	Есть количественная оценка, нет мер реагирования
RISK-03	Позитивный	Полный анализ с матрицей и планом реагирования	«Идентифицировано 6 рисков, для каждого: вероятность, ущерб, стратегия»	10	Полный цикл идентификации, оценки и планирования

Источник: анализ автора

При превышении контекстного окна iLama (например, проектная работа > 8К токенов) применяется декомпозиция. В Таблице 4 представлено сравнение стратегий обработки длинных текстов.

Таблица 4 - Сравнение стратегий обработки длинных текстов

Стратегия	Макс. длина работы	Потеря контекста	Вычислительная сложность	Реализация в предлагаемой системе
Обрезка до контекстного окна	Фиксированная	Высокая	Низкая	Не используется
Критериально-ориентированная сегментация	Не ограничена	Низкая (по критериям)	Средняя	Для работ <50 стр.
Рекурсивное суммирование (RAG)	Не ограничена	Средняя (суммаризация)	Высокая	Для проектов > 50 стр.
Иерархическая обработка	Не ограничена	Низкая	Очень высокая	Планируется в версии 2.0

Разработанная архитектура позволяет прогнозировать следующие показатели при внедрении в учебный процесс (на примере потока из 500 работ).

Динамика коэффициента автономности. По мере накопления обучающих данных через контур арбитража ожидается устойчивый рост K_{auto} с 0,72 в первом семестре до 0,89 к пятому

семестру. После каждого цикла периодического дообучения наблюдается скачкообразное улучшение показателя на 3–5 процентных пункта.

Сравнение временных затрат преподавателя. При ручной проверке 500 работ (в среднем 42 минуты на работу) суммарные затраты составляют 350 часов. В гибридной системе на начальном этапе ($K_{auto} = 0,72$) преподаватель проверяет только 28% работ (140 работ) по 15 минут каждая - 140 часов. На стабильном этапе ($K_{auto} = 0,89$) проверке подлежат 11% работ (55 работ) - 65 часов. Таким образом, экономия времени достигает 60% на старте и 81% в стабильном режиме работы.

В таблице 5 приведены целевые значения ключевых метрик эффективности.

Таблица 5 - Целевые метрики эффективности системы

Метрика	Целевое значение (старт)	Целевое значение (стабильная работа)
Коэффициент автономности K_{auto}	$\geq 0,72$	$\geq 0,85$
Коэффициент успешных апелляций $K_{appeal_success}$	$\leq 0,25$	$\leq 0,15$
Среднее время арбитража T_{arb}	≤ 15 мин	≤ 12 мин
Экономия времени преподавателя	60%	80–85%

В ходе исследования получены следующие основные результаты. Формализована гибридная процессная модель «ИИ-оценщик - студенческая апелляция - экспертный арбитраж», которая в отличие от существующих подходов исключает превентивное вмешательство преподавателя, радикально снижая его нагрузку. Обоснован выбор генеративной LLM (iLama) в качестве ядра семантического анализа, а также метод Self-Consistency для оценки уверенности модели. Разработан детальный конвейер предобработки и методология промпт-инжиниринга с использованием few-shot примеров. Спроектирован контур дообучения на основе экспертного арбитража.

Научная новизна работы заключается в системном синтезе и адаптации существующих методов ИИ для решения педагогической задачи: переход от «раздельной» проверки к интеллектуальной системе с активным контролем. Практическая значимость: разработанные архитектурные решения образуют готовое техническое задание для реализации прототипа в среде LMS.

Выводы.

Предложенная гибридная архитектура открывает перспективы для дальнейших исследований в области применения генеративных языковых моделей в образовании. Направлениями будущих работ являются: экспериментальная валидация на реальных данных, разработка метода автоматического подбора оптимальных few-shot примеров, а также интеграция системы с существующими LMS-платформами.

Список литературы

1. Холмс В., Биялик М., Федаль С. Искусственный интеллект в образовании. – М.: НИУ ВШЭ, 2020. – 280 с.
2. Захарова И. Г., Морозова О. В. Эволюция оценочной деятельности преподавателя в цифровой образовательной среде // Педагогическое образование в России. – 2022. – № 5. – С. 64–73.
3. Соколов А. В., Кондратьев Н. В. Сравнительный анализ архитектурных решений для систем автоматизированного оценивания учебных работ // Информационные технологии в образовании. – 2022. – № 3(20). – С. 32–41.
4. Петров А. П., Смирнов И. В. Метод самосогласованности как инструмент повышения надежности выводов больших языковых моделей // Труды семинара по нейроинформатике. – 2023. – С. 134–145.
5. Тузов В. А. Большие языковые модели: инженерия промптов и техники контекстного обучения // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS). – 2022. – С. 211–218.
6. Воронцов К. В. Машинное обучение (курс лекций). – М.: МФТИ, 2020. – 320 с.

References

1. Holmes V., Bialik M., Fedal S. Artificial intelligence in education. Moscow: Higher School of Economics, 2020. p. 280.
 2. Zakharova I. G., Morozova O. V. Evolution of teacher evaluation activity in the digital educational environment // Pedagogical education in Russia. – 2022. – No. 5. – pp. 64-73.
 3. Sokolov A.V., Kondratiev N. V. Comparative analysis of architectural solutions for automated assessment systems of educational works // Information technologies in education. – 2022. – № 3(20). – pp. 32-41.
 4. Petrov A. P., Smirnov I. V. The method of self-consistency as a tool to increase the reliability of conclusions of large language models // Proceedings of the seminar on neuroinformatics. 2023. pp. 134-145.
 5. Tuzov V. A. Large language models: industrial engineering and contextual learning techniques // Open semantic technologies for designing intelligent systems (OSTIS). – 2022. – pp. 211-218.
 6. Vorontsov K. V. Machine learning (course of lectures). – М.: MIPT, 2020. – p.320
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.85:378.14

ОПТИМИЗАЦИЯ И ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ УЧЕБНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Машарипова Ю.М.

ФГБОУ ВО "УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Уфа, Россия (450064, Республика Башкортостан, город Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), e-mail: ulamasharipova@gmail.com

В статье рассматривается трансформация системы оценивания в высшем и дополнительном профессиональном образовании под влиянием технологий искусственного интеллекта. Проводится анализ ключевых направлений оптимизации оценочных процессов: автоматизация рутинных операций, внедрение адаптивного тестирования, использование обработки естественного языка и компьютерного зрения для проверки творческих работ. Особое внимание уделяется этическим вызовам, сопутствующим автоматизации: проблемам приватности данных, предвзятости алгоритмов, цифровому неравенству, изменению роли преподавателя и академической честности. На основе проведенного анализа предлагается концепция гибридной модели оценивания «человек-ИИ» и формулируются практические рекомендации по ответственному внедрению технологий, направленному на повышение объективности, эффективности и персонализации обратной связи при сохранении гуманистической сущности образовательного процесса.

Ключевые слова: Искусственный интеллект в образовании, автоматизированное оценивание, этика ИИ, адаптивное обучение, гибридная модель, персонализация, высшее образование, дополнительное профессиональное образование.

OPTIMIZATION AND ETHICAL ASPECTS OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR AUTOMATED ASSESSMENT OF ACADEMIC ACHIEVEMENTS IN THE SYSTEM OF HIGHER AND ADDITIONAL PROFESSIONAL EDUCATION

Masharipova Yu.M.

UFA STATE PETROLEUM TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, Ufa, Russia (450064, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1), e-mail: ulamasharipova@gmail.com

The article examines the transformation of the assessment system in higher and additional professional education under the influence of artificial intelligence technologies. The analysis of key areas for optimizing evaluation processes is carried out: automation of routine operations, the introduction of adaptive testing, the use of natural language processing and computer vision to test creative work. Special attention is paid to the ethical challenges associated with automation: problems of data privacy, algorithm bias, digital inequality, changing the role of teachers and academic integrity. Based on the analysis, the concept of a hybrid human-AI assessment model is proposed and practical recommendations are formulated for responsible technology implementation aimed at improving the objectivity, effectiveness and personalization of feedback while preserving the humanistic essence of the educational process.

Keywords: Artificial intelligence in education, automated assessment, AI ethics, adaptive learning, hybrid model, personalization, higher education, additional professional education.

Введение

Современная образовательная экосистема, особенно в сегментах высшего (ВО) и дополнительного профессионального образования (ДПО), сталкивается с тройным кризисом: экспоненциальным ростом нагрузки на преподавателей, хронической субъективностью традиционных методов оценки и растущим спросом на персонализацию обучения. Преподаватели тратят до 8-12 часов в неделю на рутинную проверку работ, что является прямой причиной профессионального выгорания у 67% педагогов [6]. Одновременно с этим до 40% расхождений в оценках одной творческой работы разными экспертами подрывают доверие к системе. В ДПО, где программы отличаются гибкостью форматов и неоднородностью контингента, эти проблемы усугубляются, приводя к задержкам обратной связи и снижению эффективности обучения [9].

Технологии искусственного интеллекта предлагают мощный инструментарий для решения этих системных проблем. Переходя от теоретических дискуссий к практической реализации, образовательные организации сталкиваются с двумя взаимосвязанными задачами: технико-педагогической оптимизацией самих оценочных процессов и осмыслением комплекса этических вызовов, возникающих на этом пути. Данная статья посвящена комплексному анализу этих аспектов с целью формирования сбалансированного подхода к внедрению ИИ, где технологическая эффективность не противоречит, а служит достижению педагогических целей и этическим нормам.

Цель исследования.

Цель настоящей работы — проведение комплексного анализа ключевых направлений оптимизации оценочных процессов в высшем и дополнительном профессиональном образовании с помощью технологий искусственного интеллекта, выявление сопутствующих этических вызовов и разработка на этой основе концепции гибридной модели оценивания «человек-ИИ» с практическими рекомендациями по ответственному внедрению.

Материал и методы исследования.

Материалом исследования послужили научные публикации по проблематике применения искусственного интеллекта в образовании за период 2020–2025 гг., данные мониторингов профессионального выгорания преподавателей (включая исследование РАНХиГС 2024 г.), а также кейсы внедрения ИИ-решений в российских и зарубежных образовательных организациях.

Методологическую основу исследования составили: системный анализ (для выявления взаимосвязей между технологическими решениями и педагогическими задачами), сравнительный анализ (для оценки эффективности различных методов ИИ в оценивании), контент-анализ нормативных и этических документов (для выявления регуляторных пробелов), а также метод моделирования (для разработки гибридной архитектуры «человек-ИИ»). Дополнительно применялись методы педагогической диагностики для анализа типичных ошибок и субъективных искажений при традиционном оценивании.

Результаты исследования и их обсуждение.

Современная образовательная экосистема, особенно в сегментах высшего (ВО) и дополнительного профессионального образования (ДПО), сталкивается с тройным кризисом: экспоненциальным ростом нагрузки на преподавателей, хронической субъективностью традиционных методов оценки и растущим спросом на персонализацию обучения. Преподаватели тратят до 8-12 часов в неделю на рутинную проверку работ, что является прямой причиной профессионального выгорания у 67% педагогов. [6] Одновременно с этим до 40% расхождений в оценках одной творческой работы разными экспертами подрывают доверие к системе. В ДПО, где программы отличаются гибкостью форматов и неоднородностью контингента, эти проблемы усугубляются, приводя к задержкам обратной связи и снижению эффективности обучения. [9]

Технологии искусственного интеллекта предлагают мощный инструментарий для решения этих системных проблем. Переходя от теоретических дискуссий к практической реализации, образовательные организации сталкиваются с двумя взаимосвязанными задачами: технико-педагогической оптимизацией самих оценочных процессов и осмыслением комплекса этических вызовов, возникающих на этом пути. Данная статья посвящена комплексному анализу этих аспектов с целью формирования сбалансированного подхода к внедрению ИИ, где технологическая эффективность не противоречит, а служит достижению педагогических целей и этическим нормам.

Оптимизация с применением ИИ носит многогранный характер, затрагивая различные типы заданий и этапы оценочного цикла. Её ключевые векторы отражены в таблице ниже.

Таблица 1 - Ключевые направления оптимизации оценивания с помощью ИИ

Направление оптимизации	Технологии ИИ	Решаемые педагогические задачи	Ожидаемый эффект
Автоматизация рутинной проверки	Машинное обучение, шаблонный анализ	Проверка тестов закрытого типа, расчетных задач, формальных критериев	Сокращение времени проверки на 40-90%, исключение арифметических ошибок.
Оценка сложных и творческих работ	Обработка естественного языка (NLP), компьютерное зрение	Анализ эссе, рефератов, проектов, презентаций (логика, структура, грамотность, релевантность).	Повышение консистентности оценок (снижение субъективного разброса), детализированная обратная связь.
Адаптивное и формирующее оценивание	Алгоритмы адаптивного тестирования, предиктивная аналитика	Динамический подбор заданий сложности под уровень студента, выявление пробелов, прогноз успеваемости.	Персонализация обучения, раннее вмешательство для поддержки отстающих.
Анализ образовательных данных	Learning Analytics, интеллектуальный анализ данных	Агрегация данных об успеваемости, активности, поведенческих паттернах для формирования целостной картины прогресса.	Принятие обоснованных методических и управленческих решений, проектирование индивидуальных траекторий.

Перечисленные направления не просто механизмируют старые процедуры, а качественно трансформируют оценивание, делая его непрерывным, диагностическим и включенным в учебный процесс. Например, инструменты на базе NLP способны не только отметить грамматические ошибки в эссе, но и проанализировать последовательность аргументации, выделить ключевые тезисы и проверить их на соответствие источнику. Системы вроде Sonix демонстрируют, как ИИ может оптимизировать даже качественные методы оценки, такие как

анализ интервью и фокус-групп, сокращая время транскрибации на 90% и выявляя сквозные темы в больших массивах текстовых данных. [1]

Широкое внедрение алгоритмических систем оценки актуализирует ряд серьезных этических дилемм, игнорирование которых может нивелировать все технологические преимущества. [9]

ИИ-системы для полноценной работы требуют сбора и обработки обширных персональных данных: от академических результатов и письменных работ до метрик поведения в цифровой среде. Это создает риски утечек, несанкционированного доступа и использования данных не по назначению. Не менее критична проблема «черного ящика»: необъяснимость решений, принимаемых сложными нейросетевыми моделями. Если ни студент, ни преподаватель не понимают, на каком основании был выставлен тот или иной балл за эссе, это подрывает доверие к системе и лишает оценку воспитательной и диагностической функции. [7]

Алгоритмы обучаются на исторических данных, которые могут содержать скрытые социальные, культурные или гендерные предубеждения. Например, система оценки эссе, обученная преимущественно на текстах носителей определенного языкового стиля, может несправедливо занижать баллы студентам из иной культурной среды. Исследование РАНХиГС (2024) косвенно подтверждает этот риск, отмечая неосознанное занижение оценок работам женщин в технических дисциплинах - алгоритм, обученный на таких данных, лишь законсервирует эту дискриминацию. Кроме того, неравный доступ к дорогостоящим ИИ-платформам между ведущими вузами и региональными университетами усиливает цифровое неравенство, создавая новую форму образовательной сегрегации.

Автоматизация несет риск девальвации преподавательского труда, сводя роль педагога к контролю за работой алгоритма. Ключевые человеческие компетенции - эмпатия, мотивационная поддержка, развитие критического мышления - могут оказаться на периферии. Парадоксально, но технологии оценки порождают и новую форму нечестности: студенты получают доступ к тем же генеративным моделям (например, ChatGPT), которые могут использоваться для создания письменных работ. Это требует коренного пересмотра подходов к формулировке заданий и проверке аутентичности выполнения. [4]

Ответом на выявленные вызовы является не отказ от технологий, а построение продуманной, этически ориентированной гибридной модели, где сильные стороны ИИ и человека не конкурируют, а синергетически дополняют друг друга. [10]

Принципы проектирования системы:

- Субсидиарность ИИ (ИИ должен выполнять рутинные, ресурсоемкие и формализуемые операции (первичная проверка, сортировка, расчет статистики), освобождая время педагога для экспертной верификации сложных кейсов, персональных консультаций и педагогического диалога).
- Прозрачность и объяснимость (требования к алгоритмам должны включать возможность объяснения оценки в понятных для пользователя терминах (например, выделение фрагментов текста, повлиявших на балл). Использование подходов Explainable AI (XAI) становится этическим императивом). [2]

- Технологический и педагогический аудит (регулярный аудит алгоритмов на предмет скрытых смещений, а также педагогический анализ итоговых оценок для корректировки критериев).

Институциональные и нормативные меры:

- Разработка этических хартий (вузам и ДПО необходимо принять внутренние нормативные акты, регламентирующие сбор, хранение и использование образовательных данных, а также четко определяющие границы применения ИИ в оценке).
- Развитие цифровой и этической грамотности (обязательным элементом становится обучение как преподавателей (методы работы в гибридной модели, интерпретация данных ИИ), так и студентов (ответственное использование ИИ, цифровая гигиена, понимание принципов работы систем оценки)).
- Переосмысление заданий и критериев (в условиях доступности генеративного ИИ фокус должен смещаться с оценки конечного продукта (который можно сгенерировать) на оценку процесса: уникальной аналитики, оригинальной аргументации, рефлексии, проектной работы).

Оптимизация оценивания с помощью искусственного интеллекта представляет собой неизбежный и необходимый этап цифровой трансформации высшего и дополнительного образования. Технологии демонстрируют впечатляющий потенциал в решении системных проблем отрасли: от радикального снижения административной нагрузки до обеспечения мгновенной и персонализированной обратной связи. Однако этот путь сопряжен с глубокими этическими рисками, связанными с приватностью, справедливостью и самой природой педагогического взаимодействия. [7]

Успешное внедрение лежит не в плоскости выбора между человеком и алгоритмом, а в построении сбалансированной экосистемы, где ИИ выполняет роль высокоэффективного процессора образовательных данных, а преподаватель - роль мудрого интерпретатора, наставника и мотиватора. Будущее за гибридными моделями, в которых технологическая эффективность алгоритмов будет направляться человеческими ценностями, педагогическими целями и четкими этическими рамками. Только такой подход позволит превратить оценку из инструмента констатации в инструмент развития, отвечающий вызовам цифровой эпохи. [6]

Выводы.

Оптимизация оценивания с помощью искусственного интеллекта представляет собой неизбежный и необходимый этап цифровой трансформации высшего и дополнительного образования. Технологии демонстрируют впечатляющий потенциал в решении системных проблем отрасли: от радикального снижения административной нагрузки до обеспечения мгновенной и персонализированной обратной связи. Однако этот путь сопряжен с глубокими этическими рисками, связанными с приватностью, справедливостью и самой природой педагогического взаимодействия [7].

Успешное внедрение лежит не в плоскости выбора между человеком и алгоритмом, а в построении сбалансированной экосистемы, где ИИ выполняет роль высокоэффективного процессора образовательных данных, а преподаватель — роль мудрого интерпретатора,

наставника и мотиватора. Будущее за гибридными моделями, в которых технологическая эффективность алгоритмов будет направляться человеческими ценностями, педагогическими целями и четкими этическими рамками. Только такой подход позволит превратить оценку из инструмента констатации в инструмент развития, отвечающий вызовам цифровой эпохи [6].

Список литературы

1. Sonix. 5 лучших инструментов искусственного интеллекта для специалистов образования взрослых в 2025 году [Электронный ресурс]. – URL: <https://inlnk.ru/n0VndA> (дата обращения: 15.12.2025).
2. Староверова Н.А. Этические проблемы применения технологий искусственного интеллекта в образовательном процессе / Н.А. Староверова // Современные наукоемкие технологии. – 2024. – № 9. – С. 145–150.
3. Методы оптимизации в машинном обучении [Электронный ресурс] // Wiki Факультета компьютерных наук НИУ ВШЭ. – URL: <http://wiki.cs.hse.ru/> (дата обращения: 15.12.2025).
4. Искусственный интеллект в образовании: примеры и опыт // Информатик.ру. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://informatics.ru/blog/iskusstvennyj-intellekt-v-obrazovanii-praktika/> (дата обращения: 15.12.2025).
5. Примеры алгоритмов оптимизации [Электронный ресурс] // Zabb.ru. – URL: <https://zabb.ru/> (дата обращения: 15.12.2025).
6. Как искусственный интеллект может помочь в проверке работ, анализе успеваемости и выдаче рекомендаций // Мой университет. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://inlnk.ru/DB3Gy5> (дата обращения: 15.12.2025).
7. Этические проблемы ИИ и их влияние на образование [Электронный ресурс] // ЭкспертМик. – URL: <https://expert-mik.ru/article/diplomnye-raboty/eticheskiye-problemy-ii/> (дата обращения: 15.12.2025).
8. Раздобреев К.М., Раздобреев М.М. Оценка качества алгоритма оптимизации состава задач автоматизированного управления // Вестник СибГУТИ. – 2019. – №4. – С. 72-77.
9. Вызовы и проблемы внедрения ИИ в образовательный процесс // Perlem.ai. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: https://perlem.ai/blog_aied (дата обращения: 15.12.2025).
10. Никоненко С. Искусственный интеллект в образовании: как технологии меняют процесс обучения // Purrweb. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.purrweb.com/ru/blog/iskusstvenny-intellekt-v-obrazovanii/> (дата обращения: 15.12.2025).

References

1. Sonix. The 5 best artificial intelligence tools for adult education specialists in 2025 [Electronic resource]. – URL: <https://inlnk.ru/n0VndA> (date of reference: 12/15/2025).
2. Staroverova N.A. Ethical problems of the use of artificial intelligence technologies in the educational process / N.A. Staroverova // Modern high-tech technologies. – 2024. – No. 9. – pp. 145-150.
3. Optimization methods in machine learning [Electronic resource] // Wiki of the HSE Faculty of Computer Science. – URL: <http://wiki.cs.hse.ru/> (date of access: 12/15/2025).

4. Artificial intelligence in education: examples and experience // <url> – 2025. [electronic resource]. – URL:<https://informatics.ru/blog/iskusstvennyj-intellekt-v-obrazovanii-praktika> / (date of access: 12/15/2025).
 5. Examples of optimization algorithms [Electronic resource] // Zabb.ru . – URL:<https://zabb.ru/> / (accessed: 12/15/2025).
 6. How can artificial intelligence help in reviewing papers, analyzing academic performance, and making recommendations // My university. – 2025. [electronic resource]. – URL: <https://inlnk.ru/DB3Gy5> (date of request: 12/15/2025).
 7. Ethical problems of AI and their impact on education [Electronic resource] // Expertmik. – URL: <https://expert-mik.ru/article/diplomnye-raboty/eticheskiye-problemy-ii/> / (date of access: 12/15/2025).
 8. Razdobreev K.M., Razdobreev M.M. Quality assessment of the algorithm for optimizing the composition of automated control tasks // Bulletin of SibGUTI, 2019– No. 4, pp. 72-77.
 9. Challenges and problems of introducing AI into the educational process // Perlem.ai .– 2025. [electronic resource]. – URL:https://perlem.ai/blog_aied (date of request: 12/15/2025).
 10. Nikonenko S. Artificial intelligence in education: how technology is changing the learning process // Purrweb. – 2025. [electronic resource]. – URL:<https://www.purrweb.com/ru/blog/iskusstvennyj-intellekt-v-obrazovanii/> (date of request: 12/15/2025).
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.624

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЛЕВАНТНЫХ ФРАГМЕНТОВ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА СТРАНИЦАХ СЕТИ ИНТЕРНЕТ

Сотников А.А.,¹ Шаманов П.Е.

ФГАОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)", Москва, Россия (105005, г.Москва, 2-я Бауманская ул., 7), e-mail: ¹ pitersham@gmail.com

Описаны основные этапы решения задачи выделения текста в HTML файлах. Целью работы является разработка способа решения задачи выделения текста на веб-страницах при помощи моделей машинного обучения.

Ключевые слова: HTML, выделение текста, классификация, машинное обучение, модель.

AUTOMATIC RECOGNITION OF RELEVANT TEXT FRAGMENTS ON WEB PAGES

Sotnikov A.A.¹ Shamanov P.E.

"BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY)", Moscow, Russia (105005, Moscow, 2nd Baumanskaya, 7), e-mail: ¹ pitersham@gmail.com

The main stages of solving the problem of text selection in HTML files are described. The aim of the work is to develop a way to solve the problem of highlighting text on web pages using machine learning models.

Keywords: HTML, text selection, classification, machine learning, model.

Введение

На данный момент в сети Интернет есть много информации, не предназначенной для машинного чтения. Самый распространенный формат представления такой информации – HTML страницы [1]. Сами HTML страницы адаптированы для просмотра людьми. Для автоматизации решения целого ряда задач возникает необходимость машинного анализа страницы. В этом случае применяются методы парсинга веб-страниц, которые реализуют машинное взаимодействие с ними. Одним из примеров такого рода задач является распознавание релевантных фрагментов текстовой информации на страницах сети Интернет, то есть выделение некоторого участка веб-страницы, содержащего нужный текст. Данные задачи можно поставить в один ряд с задачами NER (выделение именованных сущностей) [2].

В данной статье для демонстрации реализации метода решения задачи распознавания фрагмента текста будет описана задача выделения полного текста правового документа с официальных страниц сайтов муниципальных образований. Описываемый метод позволяет решить такую задачу без использования тяжелых LLM моделей [3] и векторизации текста благодаря наличию HTML разметки. Таким образом, задача состоит в распознавании нужных фрагментов текста на веб-страницах без использования тяжелых инструментов, таких как большие языковые модели и векторизация текста.

Большинство муниципальных образований в Российской Федерации выкладывают в открытом доступе правовые документы на страницах своих сайтов. При этом сайты муниципальных образований не стандартизованы, имеют различную структуру и функциональные элементы управления, что делает анализ их HTML разметки достаточно сложным. Таким образом, возникает задача обобщения правил выделения кластера с текстом из страницы.

Метод решения задачи распознавания фрагмента текстовой информации

Как было описано выше, задача сложна из-за отсутствия системности в организации выкладываемых правовых документов на сайтах муниципальных образований. Помогает в таких ситуациях сама суть HTML разметки. Всю страницу можно представить в виде дерева, в котором почти всегда текст документа, возможно, с ненужным текстом, полностью содержится в одном узле дерева, то есть в одном блоке HTML. Тогда для решения задачи выделения нужного текста документа на веб-странице достаточно всего определить самый нижний по иерархии узел, в котором содержится документ, после чего извлечь из этого узла текст и очистить его. Самый нижний узел необходим, так как он будет содержать наименьшее количество ненужного текста. И таким образом задача выделения текста сводится к задаче бинарной классификации.

Пример опубликованного в сети Интернет на сайте муниципального образования правового документа приведен на Рисунке 1.

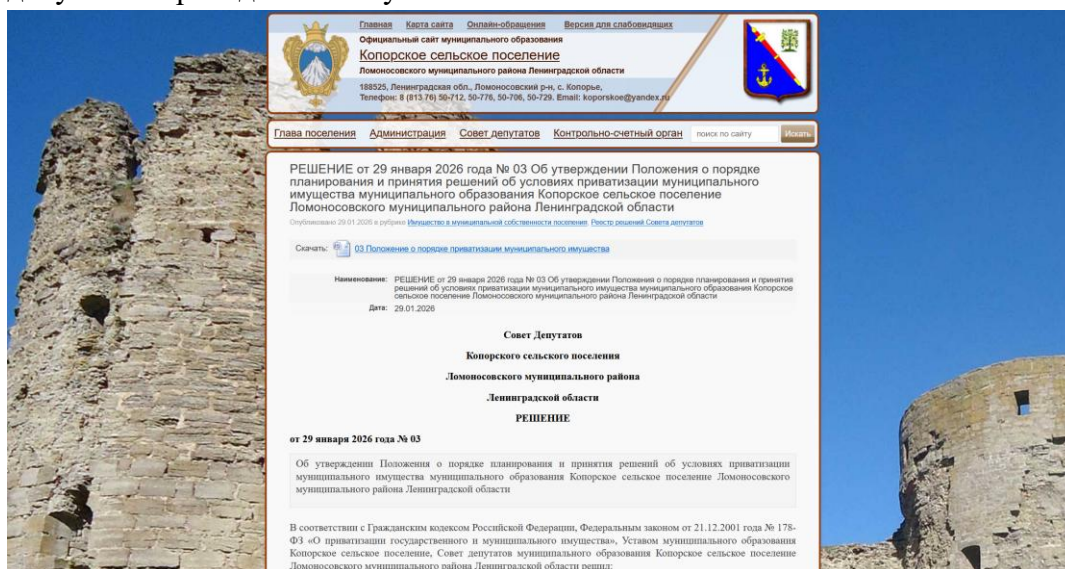


Рисунок 1 – Пример правового документа на сайте Копорского сельского поселения

Взяв пример документа, представленного на Рисунке 1, можно увидеть, что весь текст документа содержится в одном блоке «div» с классом «entry-content». Это показано в качестве примера организации веб-страницы на Рисунке 2.

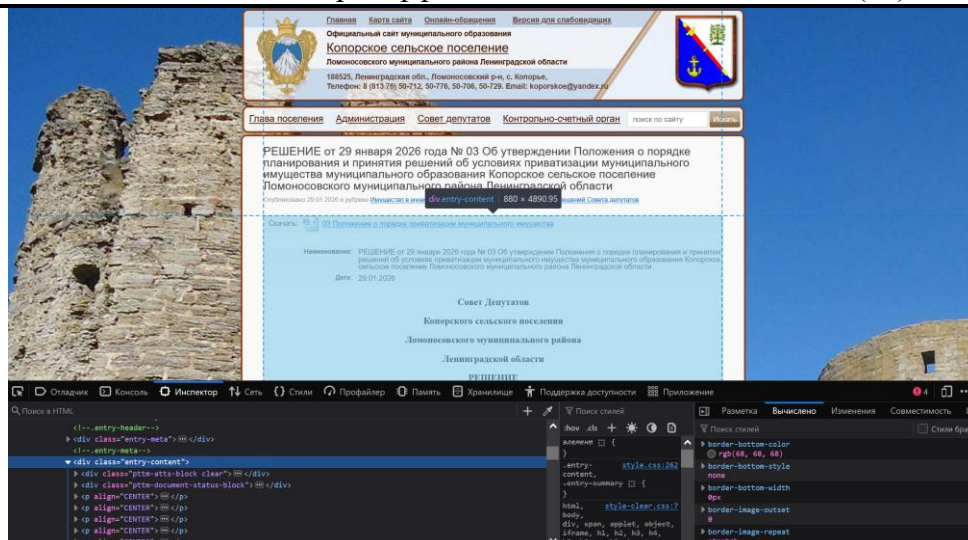


Рисунок 2 – Пример организация веб-страницы в HTML

Таким образом, данный блок «div» в рамках бинарной классификации будет иметь метку «1», а остальные тэги на этой странице – «0».

Далее необходимо описать признаки для бинарной классификации [4]. После исследования примеров было решено взять следующие признаки:

1. *Плотность текста* – длина текста, делённая на количество тегов, ссылок и изображений (высокая – признак контента).
2. *Длина текста* – общее количество символов в блоке (длинные блоки чаще содержат основной текст).
3. *Оценка документа* – количество ключевых слов правовых актов («статья», «постановление», «№») и т.д.) в тексте.
4. *Оценка заголовков* – наличие «H1»– «H6», «b»/«strong» (1 балл), двойной бонус за «H1».
5. *Признак мусора* – 1, если блок содержит «nav»/«footer»/«sidebar» или >50% ссылок.
6. *Глубина узла* – уровень вложенности в HTML-дерево (глубокие – часто навигация).
7. *Наличие таблиц* – 1 при наличии «table» (часто в документах).
8. *Наличие списков* – 1 при наличии «ul»/«ol»/«li» (структурированный контент).
9. *Плотность ссылок* – доля ссылок от всех тегов (высокая – мусор).
10. *Доля содержательных слов* – отношение слов (без стоп-слов, >2 символов) к общему числу.

Вышеперечисленные признаки позволяют модели отличать текст правового документа от навигации и рекламы, а также увеличивает вероятность выбора блока, в котором содержится полный текст документа.

Для классификации HTML-блоков выбрана модель XGBoost – градиентный бустинг на деревьях решений [5]. Она обучается на размеченном наборе блоков (контент/мусор) и предсказывает вероятность принадлежности к основному тексту.

Преимущества XGBoost для задачи:

- *Высокая точность* на табличных данных с 10 числовыми признаками.
- *Автоматический feature importance* – модель ранжирует вклад признаков (например, плотность текста > глубина узла).

- *Устойчивость к дисбалансу* классов (мусора часто больше контента) через параметры `scale_pos_weight`.
- *Быстрый inference* – предсказание для тысяч блоков за секунды.
- *Интерпретируемость* через SHAP-значения и деревья (легко объяснить, почему блок классифицирован как мусор).

Недостатки и как их минимизировали:

- *Переобучение* на малых данных – решено кросс-валидацией и `early stopping`.
- *Чувствительность к гиперпараметрам* – использован `grid search` (`max_depth=6`, `n_estimators=200`, `learning_rate=0.1`).
- *Отсутствие учёта последовательности* – компенсировано признаком глубины и рекурсивным извлечением.

XGBoost идеален для табличных задач с нелинейными зависимостями, как здесь, где признаки (плотность текста, глубина) имеют сложные взаимодействия.

Оценка результатов полученного решения

Итак, модель для задачи бинарной классификации была обучена на заранее размеченном датасете из 500 страниц. Датасет содержал различные публикации правовых документов на сайтах муниципальных образований РФ. Были взяты описанные выше признаки. Гиперпараметры были подобраны на основе метода Grid Search [6]. Метрики на тестовой части датасета показали хорошие результаты: `precision = 0.93`, `recall = 0.94`, `ROC-AUC = 0.9`.

Показатели точности можно улучшить при дальнейшем обучении при помощи добавления разнообразия в датасет, в таком случае модель сможет лучше обобщать. Проведенный в качестве примера эксперимент показывает, что данный метод решения задачи выделения текста на веб-страницах имеет потенциал и может быть внедрен в различные системы как метод автоматизации. На рисунке 3 можно увидеть пример визуализации предсказания модели на одном экземпляре из тестовой части датасета. Зелёным цветом выделяется блок разметки, в котором содержится полный текст правового документа.



Рисунок 3 – Пример визуализации предсказания модели

Заключение

В статье представлены результаты исследования способа решения задачи выделения текста на веб-страницах при помощи сведения этой задачи к задаче бинарной классификации блоков HTML разметки страниц. Данный метод находит применения для автоматизации решения задач, таких как извлечение полного текста правового документа на страницах муниципальных образований РФ. Результаты экспериментальных исследований, проведенных с использованием

XGBoostClassifier и эмпирических данных показали отличную работоспособность описанного метода.

Список литературы

1. Введение в HTML | CodeMastermindHQ. URL: <https://codemastermindhq.vercel.app/docs/html/intro-html/intro-html>.
2. Васильев Ю. Обработка естественного языка Python и SpaCy на практике – М.: Питер, 2009. 256 с.
3. Большая языковая модель – Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Large_language_model.
4. Мохасеб, А., Канавос, А. и Амер, Е 2025, "Улучшение классификации текстов с помощью разработки грамматических функций и моделей обучения", Информация, том 16, № 6, 424. <https://doi.org/10.3390/info16060424>.
5. Чен Т., Гострин С. XGBoost: Масштабируемая система поддержки дерева // Материалы 22-й Международной конференции ACM SIGKDD по обнаружению знаний и интеллектуальному анализу данных. – 2016. – С. 785–794. – DOI: 10.1145/2939672.2939785.
6. Бергстра Дж., Бенгио Ю. Случайный поиск для гиперпараметрической оптимизации // Журнал исследований в области машинного обучения. – 2012. – Том 13. – С. 281–305.

References

1. Introduction to HTML | CodeMastermindHQ. URL: <https://codemastermindhq.vercel.app/docs/html/intro-html/intro-html>.
 2. Vasiliev Y. Natural language processing of Python and SpaCy in practice – Moscow: Piter, 2009. p. 256
 3. Large language model – Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Large_language_model.
 4. Mohasseb, A, Kanavos, A & Amer, E 2025, 'Enhancing text classification through grammar-based feature engineering and learning models', Information, vol. 16, no. 6, 424. <https://doi.org/10.3390/info16060424>.
 5. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2016. – pp. 785–794. – DOI: 10.1145/2939672.2939785.
 6. Bergstra J., Bengio Y. Random search for hyperparametric optimization // Journal of Machine Learning Research. – 2012. – Vol. 13. – pp. 281–305.
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.865.8:007.52

ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МЕХАНИЗМА ПОДВИЖНОСТИ ЗМЕЕВИДНОГО РОБОТА

Ипполитова Е.В.,¹ Николаюк С.Е.

ФГАОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)",
Москва, Россия (105005, г.Москва, 2-я Бауманская ул., 7), e-mail:
¹a.nikolayuk090918@gmail.com

В статье рассматриваются актуальные вопросы создания мобильных робототехнических систем, использующих биоморфные принципы перемещения. Проведен краткий обзор истории развития и современных сфер применения змеевидных роботов. Представлено математическое обоснование выбора количества сегментов для реализации устойчивой серпеноидной локомоции. Подробно проанализированы подходы к энергетическому расчету приводов, включая метод оценки нагрузок в критических конфигурациях и расчет удельных энергетических затрат. Предложена конструкция и кинематическая схема механизма поворота сегментов на базе двоянного редуктора, обеспечивающая маневренность в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

В работе представлена комплексная методология проектирования механизма поворота сегментов для многозвенного змеевидного робота.

Результаты исследования могут быть использованы при создании мобильных роботов для работы в труднодоступных местах.

Ключевые слова: Змеевидный робот, механизм поворота, мобильная робототехника, многозвенная система, серпеноида.

APPROACHES TO DESIGNING A MOBILITY MECHANISM FOR A SERPENT- SHAPED ROBOT

Ippolitova E.V.,¹ Nikolayuk S.E.

"BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY (NATIONAL RESEARCH
UNIVERSITY)", Moscow, Russia (105005, Moscow, 2nd Baumanskaya, 7), e-mail:
¹a.nikolayuk090918@gmail.com

This article examines current issues in the development of mobile robotic systems using biomorphic principles of locomotion. A brief overview of the history of the development and current applications of snake-shaped robots is provided. A mathematical justification for selecting the number of segments to implement stable serpentine locomotion is presented. Approaches to energy calculations for drives are analyzed in detail, including a method for estimating loads in critical configurations and calculating specific energy costs. A design and kinematic diagram of a segment rotation mechanism based on a dual gearbox are proposed, ensuring maneuverability in two mutually perpendicular planes.

This paper presents a comprehensive methodology for designing a segment rotation mechanism for a multi-link serpentine robot.

The research results can be used in the development of mobile robots for operation in hard-to-reach areas.

Keywords: Snake robot, rotation mechanism, mobile robotics, multi-link system, serpenoid curve.

Введение

Разработка роботов с нетрадиционными движителями и принципами перемещения, основанными на биологических прототипах, представляет собой одно из перспективных направлений современной робототехники [1]. Змеевидные роботы — многозвенные механические системы, имитирующие движение биологических змей — обладают уникальными преимуществами при работе в стеснённых условиях, на сложном рельефе и в труднодоступных средах. Змееподобные мобильные роботы зачастую рассматриваются как перспективное средство для инспекции, спасательных операций и работы в ограниченных пространствах, где колёсные и шагающие платформы не обладают достаточной проходимостью. Их маневренность достигается за счёт цепочки последовательно соединённых сегментов, способных выполнять согласованные угловые движения и формировать волнообразные конфигурации – локомоцию.

Первые фундаментальные исследования биомеханики змей были проведены профессором Джеймсом Греем в середине XX века, который выделил основные принципы змеевидной локомоции на основе экспериментов с живыми особями. Позднее японский исследователь Шигео Хиросэ развил эти идеи, введя понятие серпеноидной кривой — математического описания волнообразного движения, при котором кривизна изменяется по синусоидальному закону вдоль тела робота. Хиросэ также создал первого действующего робота-змеею АСМ-III, ставшего прототипом многих современных змеевидных конструкций. В настоящее время подобные роботы применяются для инспекции трубопроводов, подводных работ, медицинских операций и космических исследований. В частности, NASA совместно с JPL-Caltech разрабатывает робота EELS (Exobiology Extant Life Surveyor) для исследования спутника Сатурна Энцелада. [2; 3; 4].

Ключевым элементом конструкции змеевидного робота является механизм поворота сегментов, обеспечивающий заданную траекторию движения. В данной статье рассматриваются основные аспекты проектирования и расчёта такого механизма с использованием современных методов компьютерного моделирования, а также широко освещается общий подход к проектированию механизма подвижности змеевидного робота.

Математическое обоснование змеевидного движения

Змеевидный робот, как и реальные змеи, осуществляет движение по серпеноиде – особой кривой, кривизна вдоль оси которой изменяется по закону синуса. Серпеноиду открыл японский профессор Ш. Хиросэ. Основная особенность серпеноиды в том, что она отражает работу мышц реальной змеи во время ползучего движения [5].

Змеевидный робот состоит из сегментов, введем допущение, что и кривая (участок змеи длиной l) состоит из элементарных отрезков δS . Угол изгиба одного сегмента – a . Тогда данная система (неявно заданная функция) описывает серпеноиду, которая позволяет искусственно задавать кривые локомоции при варьировании параметров s , l и a у робота-змеи:

$$\begin{cases} x(s) = \int_0^s \cos a_S dS \\ y(s) = \int_0^s \sin a_S dS \end{cases}$$

При выборе количества сегментов можно руководствоваться следующими математическими соображениями – для генерации серпеноидной волны требуется не менее 3–4 сегментов на одну полуволну [6].

Наиболее распространенный диапазон количества сегментов 8-12 сегментов в исследовательских проектах, в том числе робот Kulko имеет 10 сегментов (также стоит отметить змеевидных роботов Aiko с 8 сегментами и Wheeko с 10 сегментами) [3; 7]. Математическое обоснование основано на анализе упрощенного уравнения серпеноидной траектории для N сегментов:

$$\theta_i(t) = a \sin\left(\frac{2\pi}{N} \cdot i - \omega t\right), \text{ где}$$

θ_i – угол поворота i -ого сегмента, a – амплитуда, ω – частота.

В ходе расчетов, было выяснено, что для гладкой волны (отсутствия «ступенчатости») N должно быть достаточно большим – $N \geq 8$. Можно с уверенностью утверждать, что чем больше количество сегментов, тем лучше аппроксимация серпеноиды. Однако для относительной простоты моделирования системы большее количество сегментов также нежелательно [6].

Подходы к проведению энергетического расчета

Энергетический расчет может быть проведен из общих соображений, а именно путем рассмотрения максимально нагруженного режима работы робота-змеи, которым является начальное положение, поскольку именно данная конфигурация имеет наибольшее плечо. Для предварительного расчета уместно описывать моменты инерции сегментов относительно центрального звена, в виду того, что все сегменты движутся одновременно и взаимовлияние для центрального сегмента симметрично. Говоря о математической строгости и точности данного подхода стоит отметить, что он соотносится с исследованиями и расчетами., согласно которым именно вблизи центра масс робота-змеи возникает наибольший момент [8].

В ряде исследований, посвящённых подводным и наземным змеевидным роботам, энергетические характеристики оцениваются путём расчёта суммарной мощности, потребляемой всеми приводами в каждый момент времени:

$$P(t) = \sum_{j=1}^N |\tau_j(t) \dot{\phi}_j(t)|,$$

где $\tau_j(t)$ – момент на j -ом приводе, $\dot{\phi}_j(t)$ – его угловая скорость.

Средняя мощность при движении на заданном участке протяжённостью T:

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt$$

Данный подход позволяет более точно оценить энергопотребление робота в различных режимах движения и оптимизировать параметры траектории (амплитуду и длину волны серпеноиды) с точки зрения энергоэффективности [9].

Метод удельных энергетических затрат (COT – Cost of transport) обычно применяют для сравнения энергоэффективности разных конфигураций змеевидного робота, то есть при различных значениях амплитуды и длины волны серпеноиды:

$$COT = \frac{E}{mgs},$$

где E – энергия, затраченная на движение (может быть рассчитана по суммарной мощности по приводам), g – ускорение свободного падения и s – расстояние, пройденное посредством данного движения. Этот критерий позволяет сравнивать эффективность различных роботов, а также сопоставлять энергозатраты роботов с биологическими прототипами [10].

Более точные данные о моменте, действующем на каждый из сегментов, вероятно, можно получить при использовании уравнений Лагранжа второго рода и математического моделирования змеевидного движения.

Моделирование механизма привода поворота сегментов

Конструкция представляет собой сегменты, соединённые чередующимися цилиндрическими шарнирами (или аналогичными конструкциями) с разными осями вращения. Расстояние между шарнирами может варьироваться и для обеспечения лучшей подвижности робота было решено разработать механизм, который мог бы обеспечить поворот в разных плоскостях в зависимости от рельефа поверхности (аналогичный подход применяется в реальных прототипах, например, робот АСМ-R5). Вместо шарнирной конструкции будет использоваться привод поворота с двумя двигателями постоянного тока и редуктором.

Конструкция представляет собой сдвоенный редуктор, в котором два независимых привода обеспечивают повороты в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Двигатели размещаются внутри корпусов смежных сегментов, что обеспечивает компактность конструкции и защиту от внешних воздействий. Зубчатые передачи обеих ступеней редуктора передают вращение на центральный крестообразный элемент, который является общим для обоих приводов.

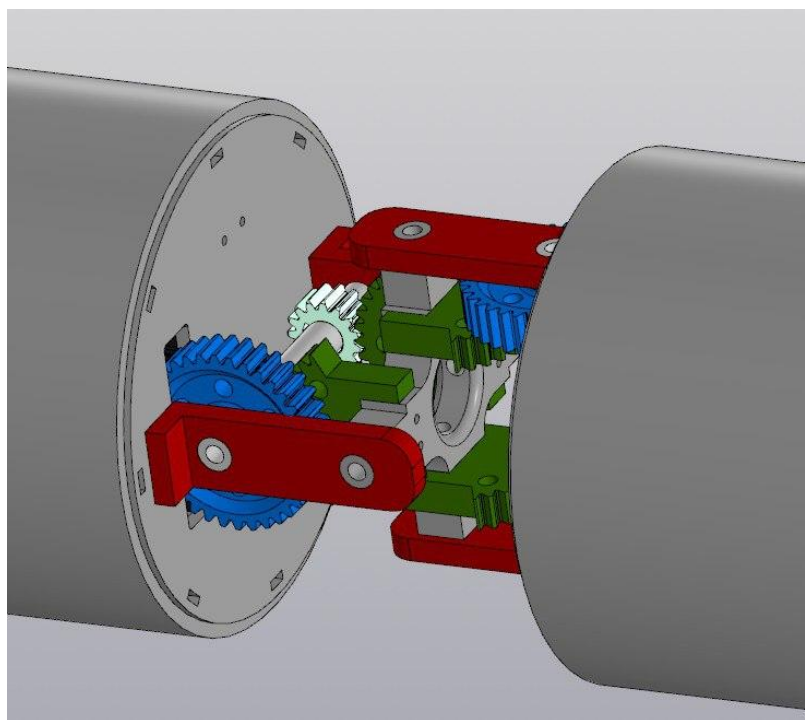


Рисунок 1 - 3D модель механизма поворота сегментов (без гофры).

Источник: разработки авторов

Кинематическая схема разработанного механизма поворота сегментов представлена в аксонометрии. Зубчатые пары, заштрихованные красным цветом, лежат в плоскости XY, соответственно, зубчатые пары, заштрихованные зеленым цветом – в плоскости YZ и перпендикулярны друг другу. Темно-зеленым цветом выделена крестообразная деталь.

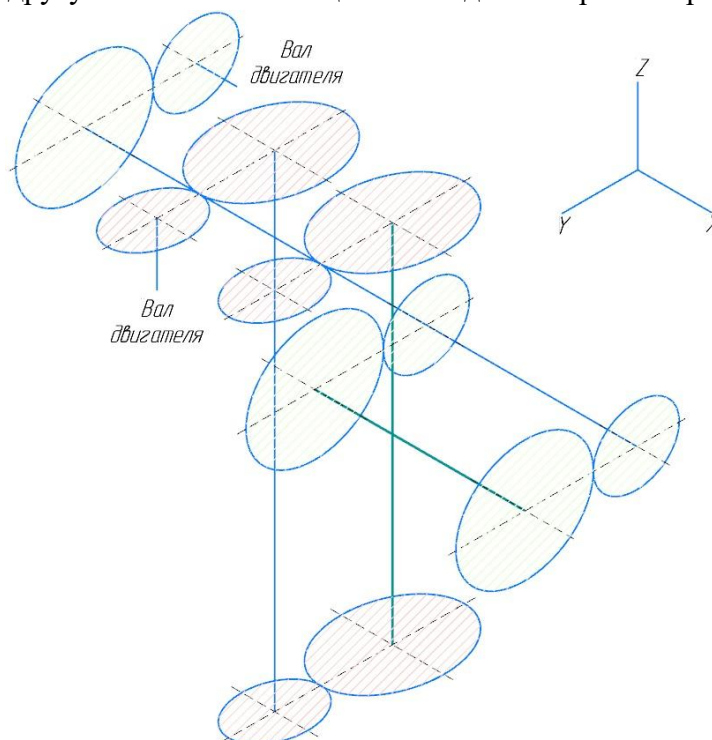


Рисунок 2 - Кинематическая схема привода поворота сегментов змеевидного робота.

Источник: разработки авторов

Такая кинематическая схема обеспечивает требуемую гибкость управления и позволяет реализовать сложные пространственные траектории движения змеевидного робота, включая движение по пересечённой местности, преодоление препятствий и адаптацию к неровностям поверхности.

Список литературы

1. Черепанов Павел Юрьевич, Романов Пётр Алексеевич Основные направления развития робототехники // Современные инновации. 2017. №1 (15). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnyye-napravleniya-razvitiya-robototekniki>
2. J. Gray, "The mechanism of locomotion in snakes," Journal of experimental biology, vol. 23, no. 2, pp. 101–120, 1946
3. S. Hirose, "Biologically inspired robots," Snake-Like Locomotors and Manipulators, 1993
4. Официальный сайт NASA/JPL-Caltech (НАСА/Лаборатория реактивного движения-Калифорнийский технологический институт). URL: <https://www.jpl.nasa.gov/robotics-at-jpl/eels/>
5. Бионические роботы: змееподобные мобильные роботы и манипуляторы / Шигео Хиросэ; пер. Колесниченко Ю. В. - Институт компьютерных исследований, 2019. - ISBN 978-5-4344-0644-4.
6. Liljebäck, P., Pettersen, K. Y., Staudahl, Ø., & Gravdahl, J. T. (2013). Snake robots: Modelling, mechatronics, and control. Springer.

7. Mehta, A. Snakebot NSGA-II [Электронный ресурс]. — 2007. — URL: https://www.engr.psu.edu/ce/Divisions/Hydro/Reed/Education/CE%20563%20Projects/Mehta%20snakebot_nsga2%20%20Sp%2007.pdf
8. Польский, В. А. Моделирование червеобразного движения робота-змеи с учётом динамики / В. А. Польский, А. А. Лукин, М. Ю. Шевченко // E-Scio. – 2019. – № 6(33). – С. 425-433. – EDN KQNOLT.
9. Zheng C, Li G, Hayashibe M. Joint elasticity produces energy efficiency in underwater locomotion: Verification with deep reinforcement learning. *Front Robot AI*. 2022 Sep 8;9:957931. doi: 10.3389/frobt.2022.957931. PMID: 36158602; PMCID: PMC9493006.
10. Z. Bing, C. Lemke, Z. Jiang, K. Huang, and A. Knoll, “Energy-efficient slithering gait exploration for a snake-like robot based on reinforcement learning,” in *Proc. 28th Int. Joint Conf. Artif. Intell.*, Macao, Aug. 2019, pp. 5663–5669

References

1. Pavel Yuryevich Cherepanov, Petr Alekseevich Romanov, “Main Directions of Robotics Development,” in: *Modern Innovations*. 2017, no. 1 (15). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-razvitiya-robototekhniki>
 2. J. Gray, “The mechanism of locomotion in snakes,” *Journal of experimental biology*, vol. 23, no. 2, pp. 101–120, 1946
 3. S. Hirose, “Biologically inspired robots,” *Snake-Like Locomotors and Manipulators*, 1993
 4. Official website of NASA/JPL-Caltech. URL: <https://www.jpl.nasa.gov/robotics-at-jpl/eels/>
 5. *Bionic Robots: Snake-Like Mobile Robots and Manipulators* / Shigeo Hirose; trans. Kolesnichenko Yu. V. - Institute of Computer Research, 2019. - ISBN 978-5-4344-0644-4.
 6. Liljebäck, P., Pettersen, K. Y., Stavadahl, Ø., & Gravdahl, J. T. (2013). *Snake robots: Modelling, mechatronics, and control*. Springer.
 7. Mehta, A. Snakebot NSGA-II [Electronic resource]. — 2007. — URL: https://www.engr.psu.edu/ce/Divisions/Hydro/Reed/Education/CE%20563%20Projects/Mehta%20snakebot_nsga2%20%20Sp%2007.pdf
 8. Pol'skiy, V. A. Modeling of worm-like motion of a robot snake taking into account dynamics / V. A. Pol'skiy, A. A. Lukin, M. Yu. Shevchenko // E-Scio. – 2019. – No. 6(33). – pp. 425-433. – EDN KQNOLT.
 9. Zheng C, Li G, Hayashibe M. Joint elasticity produces energy efficiency in underwater locomotion: Verification with deep reinforcement learning. *Front Robot AI*. 2022 Sep 8;9:957931. doi: 10.3389/frobt.2022.957931. PMID: 36158602; PMCID: PMC9493006.
 10. Z. Bing, C. Lemke, Z. Jiang, K. Huang, and A. Knoll, “Energy-efficient slithering gait exploration for a snake-like robot based on reinforcement learning,” in *Proc. 28th Int. Joint Conf. Artif. Intell.*, Macao, Aug. 2019, pp. 5663–5669
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.451

РАЗРАБОТКА КОМАНДНОГО ИНТЕРПРЕТАТОРА С ПОДДЕРЖКОЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАНИЯМИ И ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ

¹ Солоненко И.С., Шестоперов И.Д.

ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА" Москва, Россия, (119296, город Москва, Ленинский пр-кт, д. 65 к. 1), e-mail: ¹issolonenko1@yandex.ru

В статье рассматривается разработка и проверка корректности работы командного интерпретатора для операционной системы ALT Linux на языке программирования C. Проведен анализ архитектуры классических UNIX-оболочек, механизмов управления процессами и сигналами POSIX-систем. В ходе сравнительного анализа созданной оболочки со встроенной в ОС оболочкой bash четырнадцать из восемнадцати рассматриваемых сценариев продемонстрировали полное соответствие поведению встроенной оболочки.

Методы исследования включают программную реализацию командного интерпретатора и дальнейший сравнительный анализ работы с эталонной оболочкой bash. Эксперимент проводился на базе ALT Workstation 11.0 в контролируемой виртуальной среде.

Ключевые слова: Linux, ALT Linux, командный интерпретатор, bash, UNIX-оболочка, конвейер, перенаправление ввода-вывода, язык C, виртуальная среда.

DEVELOPMENT OF A COMMAND INTERPRETER WITH SUPPORT FOR JOB MANAGEMENT AND SIGNAL PROCESSING

¹ Solonenko I.S., Shestoperov I.D.

GUBKIN RUSSIAN STATE UNIVERSITY OF OIL AND GAS (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY), Moscow, Russia, (119296, Moscow, Leninsky pr-kt, 65 k. 1), e-mail: ¹issolonenko1@yandex.ru

The article discusses the development and verification of the correct operation of a command interpreter for the ALT Linux operating system in the C programming language. It analyzes the architecture of classic UNIX shells, the mechanisms of process control and signals in POSIX systems. A comparative analysis of the created shell with the built-in bash shell in the OS showed that fourteen out of eighteen scripts examined demonstrated full compliance with the behavior of the built-in shell.

The research methods include the software implementation of the command interpreter and a further comparative analysis with the reference bash shell. The experiment was conducted using ALT Workstation 11.0 in a controlled virtual environment.

Keywords: Linux, ALT Linux, command interpreter, bash, UNIX shell, pipeline, I/O redirection, C language, virtual environment.

Командный интерпретатор является ключевым компонентом операционных систем семейства UNIX и Linux, обеспечивающим взаимодействие пользователя с ядром системы посредством текстового интерфейса. Несмотря на развитие графических оболочек, командная строка остается основным инструментом системных администраторов, разработчиков и

специалистов по информационной безопасности [2]. В отличие от графических оболочек, которые строятся поверх сложных фреймворков и оконных систем, командный интерпретатор опирается непосредственно на базовые механизмы операционной системы, что делает его архитектуру тесно связанной с моделью процессов, файловой подсистемой и механизмами межпроцессного взаимодействия [1].

Архитектурно любой классический UNIX-shell строится вокруг итерационного цикла обработки команд. Однако данный цикл не является лишь последовательностью операций чтения и выполнения строки. Он представляет собой многоуровневый механизм, включающий лексический анализ, синтаксический разбор, построение внутреннего представления команды и формирование структуры процессов, которые будут задействованы при выполнении. Современные интерпретаторы реализуют сложный синтаксический анализ с поддержкой управляющих конструкций, переменных окружения и вложенных команд. При этом базовая архитектура остается неизменной и опирается на принципы, сформированные еще в ранних версиях UNIX.

С точки зрения теории операционных систем командный интерпретатор может рассматриваться как управляющая программа, реализующая динамическое создание вычислительных контекстов на основе текстовых инструкций пользователя.

Цель исследования – реализовать командный интерпретатор на языке C и провести сравнительный анализ разработки с эталонным интерпретатором `bash`, встроенным в систему ALT Linux.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ архитектуры командных интерпретаторов UNIX-подобных систем;
2. Изучить механизмы управления процессами и группами процессов в Linux;
3. Исследовать модель сигналов и способы их обработки;
4. Разработать командный интерпретатор на языке C с поддержкой перенаправлений, перенаправления потоков, фоновых задач, управления заданиями, обработки сигналов;
5. Провести экспериментальное тестирование и сравнительный анализ функциональности реализованного интерпретатора с классическим `bash`.

Объектом исследования являются процессы и механизмы управления выполнением программ в операционных системах семейства Linux, включая создание процессов, управление группами процессов, обработку сигналов и взаимодействие с управляющим терминалом. Предметом исследования является архитектура и реализация командного интерпретатора, поддерживающего выполнение внешних программ, перенаправление потоков ввода-вывода, организацию конвейеров, фоновое выполнение задач, управление заданиями, обработку сигналов.

Реализация командного интерпретатора произведена на ОС Альт Сервер версии 11.0. Интерпретатор `myshell` разработан на языке программирования C с поддержкой выполнения внешних программ, перенаправления потоков ввода-вывода, конвейеров, фоновых заданий, управления заданиями и обработки сигналов. В качестве эталонного поведения целесообразно использовать `bash`, поскольку он широко распространен в Linux-среде и реализует полный набор возможностей интерактивной оболочки [6].

Проект включает файл `main.c`, заголовочный файл `shell.h`, основной модуль `shell.c`, подсистему разбора `parser.c` с соответствующим заголовочным файлом `parser.h`, а также

подсистему управления заданиями jobs.c и jobs.h. Кроме того, в проекте присутствует Makefile, обеспечивающий автоматизированную сборку программы (Рисунок 1).

```
[root@AltServer myshell]# tree
.
├── example
│   └── demo.sh
├── Makefile
└── src
    ├── jobs.c
    ├── jobs.h
    ├── main.c
    ├── parser.c
    ├── parser.h
    ├── shell.c
    └── shell.h

3 directories, 9 files
[root@AltServer myshell]#
```

Рисунок 1 – Структура файлов командного интерпретатора

Источник: анализ авторов

Точка входа программы реализована в файле main.c. Ее структура минималистична и отражает архитектурный принцип вынесения логики в специализированные модули (Рисунок 2).

```
[root@AltServer myshell]# cat src/main.c
#include "shell.h"
#include <stdio.h>

int main(int argc, char **argv) {
    (void)argc; (void)argv;
    init_shell();
    shell_loop();
    return 0;
}
[root@AltServer myshell]#
```

Рисунок 2 – Содержимое файла main.c

Источник: анализ авторов

Функция main не содержит логики обработки команд. Она лишь вызывает функцию инициализации оболочки init_shell, после чего передает управление в основной интерактивный цикл shell_loop.

Интерфейс оболочки описан в заголовочном файле shell.h (Рисунок 3).

```
[root@AltServer myshell]# cat src/shell.h
#ifndef SHELL_H
#define SHELL_H

#include <stdbool.h>

#define MAXLINE 1024

void init_shell(void);
void shell_loop(void);

#endif // SHELL_H
```

Рисунок 3 – Содержимое файла shell.h

Источник: анализ авторов

Центральным компонентом системы является файл shell.c. В нем реализована основная логика интерпретатора:

- настройка сигналов;
- управление терминалом;
- построение конвейеров;
- запуск дочерних процессов;
- обработка встроенных команд;
- взаимодействие с подсистемой управления заданиями.

Подсистема разбора командной строки реализована в parser.c. Она преобразует текстовую строку, введенную пользователем, во внутреннее представление команды. Структура команды определена в parser.h следующим образом (Рисунок 4).

```
[root@AltServer myshell]# cat src/parser.h
#ifndef PARSE_H
#define PARSE_H

#include <stdbool.h>

typedef struct cmd {
    char **argv; // NULL-terminated
    char *infile;
    char *outfile;
    char *errfile;
    bool append_out;
    bool background;
    struct cmd *next; // pipeline
} cmd;

cmd *parse_line(const char *line);
void free_cmd(cmd *c);

#endif // PARSE_H
[root@AltServer myshell]#
```

Рисунок 4 – Содержимое файла parser.h

Источник: анализ авторов

Подсистема управления заданиями реализована в файлах jobs.c и jobs.h. В jobs.h определена структура задания (Рисунок 5).

```
[root@AltServer myshell]# cat src/jobs.h
#ifndef JOBS_H
#define JOBS_H

#include <sys/types.h>

typedef enum { RUNNING, STOPPED, DONE } job_state;

typedef struct job {
    int id;                // job id (1..)
    pid_t pgid;           // process group id
    char *cmdline;        // command line text
    job_state state;
    struct job *next;
} job;

void jobs_init(void);
job *job_add(pid_t pgid, char *cmdline, job_state state);
job *job_find_by_id(int id);
job *job_find_by_pgid(pid_t pgid);
void job_remove(job *j);
void jobs_list(void);
void mark_job_as_done(pid_t pgid);
void mark_job_as_stopped(pid_t pgid);
void mark_job_as_running(pid_t pgid);
int job_foreground(job *j, int cont);
int job_background(job *j, int cont);

#endif // JOBS_H
[root@AltServer myshell]#
```

Рисунок 5 – Содержимое файла jobs.h

Источник: анализ авторов

Сборка проекта осуществляется посредством Makefile, в котором задан стандарт компиляции GNU C11, активированы предупреждения компилятора и включена отладочная информация (Рисунок 6). Каждый исходный файл компилируется в объектный, после чего выполняется линковка в исполняемый файл myshell.

```
[root@AltServer myshell]# cat Makefile
CC = gcc
CFLAGS = -std=gnu11 -Wall -Wextra -g
PREFIX = ./bin
SRCDIR = src
OBJDIR = obj

SOURCES = $(wildcard $(SRCDIR)/*.c)
OBJECTS = $(patsubst $(SRCDIR)/%.c,$(OBJDIR)/%.o,$(SOURCES))
TARGET = $(PREFIX)/myshell

all: $(PREFIX) $(OBJDIR) $(TARGET)

$(PREFIX):
    mkdir -p $(PREFIX)

$(OBJDIR):
    mkdir -p $(OBJDIR)

$(OBJDIR)/%.o: $(SRCDIR)/%.c
    $(CC) $(CFLAGS) -c $< -o $@

$(TARGET): $(OBJECTS)
    $(CC) $(CFLAGS) $^ -o $@

clean:
    rm -rf $(OBJDIR) $(PREFIX)

.PHONY: all clean
[root@AltServer myshell]#
```

Рисунок 6 – Содержимое файла Makefile

Источник: анализ авторов

Сборка проекта выполняется из корневого каталога с использованием утилиты make, которая автоматически обрабатывает правила, заданные в Makefile. На заключительном этапе выполняется линковка объектных файлов в единый исполняемый файл командой вида `gcc -std=gnu11 -Wall -Wextra -g obj/jobs.o obj/main.o obj/parser.o obj/shell.o -o ./bin/myshell`, что означает успешное формирование готового интерпретатора (Рисунок 7).

```
[root@AltServer myshell]# make clean
rm -rf obj ./bin
[root@AltServer myshell]# make
mkdir -p ./bin
mkdir -p obj
gcc -std=gnull -Wall -Wextra -g -c src/jobs.c -o obj/jobs.o
gcc -std=gnull -Wall -Wextra -g -c src/main.c -o obj/main.o
gcc -std=gnull -Wall -Wextra -g -c src/parser.c -o obj/parser.o
gcc -std=gnull -Wall -Wextra -g -c src/shell.c -o obj/shell.o
gcc -std=gnull -Wall -Wextra -g obj/jobs.o obj/main.o obj/parser.o obj/shell.o -o bin/myshell
[root@AltServer myshell]#
```

Рисунок 7 – Сборка интерпретатора

Источник: анализ авторов

В контексте командного интерпретатора центральное значение имеет механизм динамического создания процессов. В Linux данный механизм реализуется системным вызовом `fork()`, который создает новый процесс путем копирования контекста родительского процесса [4].

Результаты `myshell` совпадают с поведением `bash` для команд `cd`, `pwd`, `ls`, `echo`, `true` и `false`, что подтверждает корректную реализацию механизма `fork-exec` и встроенной команды `cd` (Рисунок 8). Отличие наблюдается только в формате сообщения об ошибке для неизвестной команды.

<pre>myshell\$ cd /opt/myshell myshell\$ pwd /opt/myshell myshell\$ ls -la итого 32 drwxr-xr-x 6 root root 4096 map 2 11:39 . drwxr-xr-x 3 root root 4096 map 2 10:35 .. drwxr-xr-x 2 root root 4096 map 2 11:39 bin drwxr-xr-x 2 root root 4096 map 2 10:37 example -rw-r--r-- 1 root root 475 map 2 11:07 Makefile -rw-r--r-- 1 root root 481 map 2 11:06 Makefile~ drwxr-xr-x 2 root root 4096 map 2 11:39 obj drwxr-xr-x 2 root root 4096 map 2 11:38 src myshell\$ echo test one two test one two myshell\$ true myshell\$ false myshell\$ random_command execvp: No such file or directory myshell\$</pre>	<pre>[root@AltServer tmp]# cd /opt/myshell/ [root@AltServer myshell]# pwd /opt/myshell [root@AltServer myshell]# ls -la итого 32 drwxr-xr-x 6 root root 4096 map 2 11:39 . drwxr-xr-x 3 root root 4096 map 2 10:35 .. drwxr-xr-x 2 root root 4096 map 2 11:39 bin drwxr-xr-x 2 root root 4096 map 2 10:37 example -rw-r--r-- 1 root root 475 map 2 11:07 Makefile -rw-r--r-- 1 root root 481 map 2 11:06 Makefile~ drwxr-xr-x 2 root root 4096 map 2 11:39 obj drwxr-xr-x 2 root root 4096 map 2 11:38 src [root@AltServer myshell]# echo test one two test one two [root@AltServer myshell]# true [root@AltServer myshell]# false [root@AltServer myshell]# random_command -bash: random_command: команда не найдена [root@AltServer myshell]#</pre>
--	---

Рисунок 8 – Сравнение выполнения внешних команд

Источник: анализ авторов

Следующим этапом проверяется перенаправление потоков ввода-вывода (Рисунок 9).

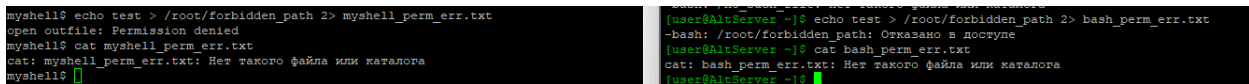
<pre>myshell\$ echo "line1" > myshell_io.txt myshell\$ echo "line2" >> myshell_io.txt myshell\$ cat < myshell_io.txt line1 line2 myshell\$ ls /no_such_dir 2> myshell_err.txt myshell\$ cat myshell_err.txt ls: невозможно получить доступ к '/no_such_dir': Нет такого файла или каталога myshell\$ cat < /no_such_file open infile: No such file or directory myshell\$</pre>	<pre>[user@AltServer ~]\$ echo "line1" > bash_io.txt [user@AltServer ~]\$ echo "line2" >> bash_io.txt [user@AltServer ~]\$ cat < bash_io.txt line1 line2 [user@AltServer ~]\$ ls /no_such_dir 2> bash_err.txt [user@AltServer ~]\$ cat bash_err.txt ls: невозможно получить доступ к '/no_such_dir': Нет такого файла или каталога [user@AltServer ~]\$ cat < /no_such_file -bash: /no_such_file: Нет такого файла или каталога [user@AltServer ~]\$</pre>
---	--

Рисунок 9 – Сравнение работы перенаправления потоков ввода-вывода

Источник: анализ авторов

Результаты показали, что в `myshell` корректно реализованы операции перенаправления `>` и `>>`. Последующее чтение через `cat` подтверждает правильность работы механизма `open` и `dup2`.

Дополнительно проверяются ошибочные случаи, например попытку записи в каталог без прав или чтение несуществующего файла, поскольку это демонстрирует корректность обработки ошибок `open` и сохранение устойчивости оболочки (Рисунок 10).



```
myshell$ echo test > /root/forbidden_path 2> myshell_perm_err.txt
open outfile: Permission denied
myshell$ cat myshell_perm_err.txt
cat: myshell_perm_err.txt: Нет такого файла или каталога
myshell$

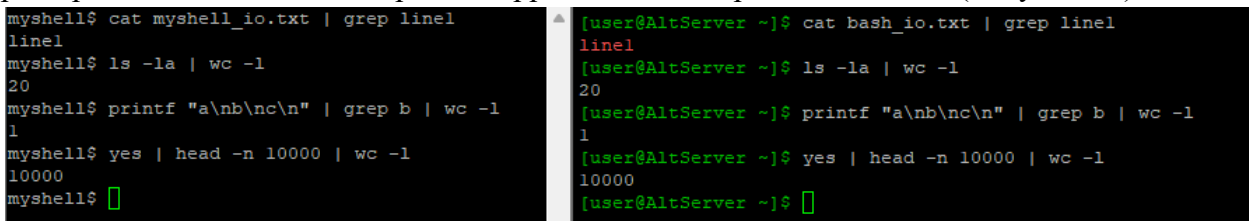
[user@AltServer ~]$ echo test > /root/forbidden_path 2> bash_perm_err.txt
-bash: /root/forbidden_path: Отказано в доступе
[user@AltServer ~]$ cat bash_perm_err.txt
cat: bash_perm_err.txt: Нет такого файла или каталога
[user@AltServer ~]$
```

Рисунок 10 – Сравнение обработки ошибки

Источник: анализ авторов

Следующим этапом проверяются конвейеры, поскольку они являются одной из наиболее чувствительных частей реализации из-за необходимости корректного создания каналов, дублирования файловых дескрипторов и закрытия неиспользуемых концов pipe. В отличие от последовательного запуска программ, конвейер предполагает одновременное существование нескольких процессов и организацию направленного потока данных между ними [4].

Для проверки используются как простые двухзвенные конвейеры, так и конвейеры из трех процессов, чтобы подтвердить корректность построения цепочки (Рисунок 11).



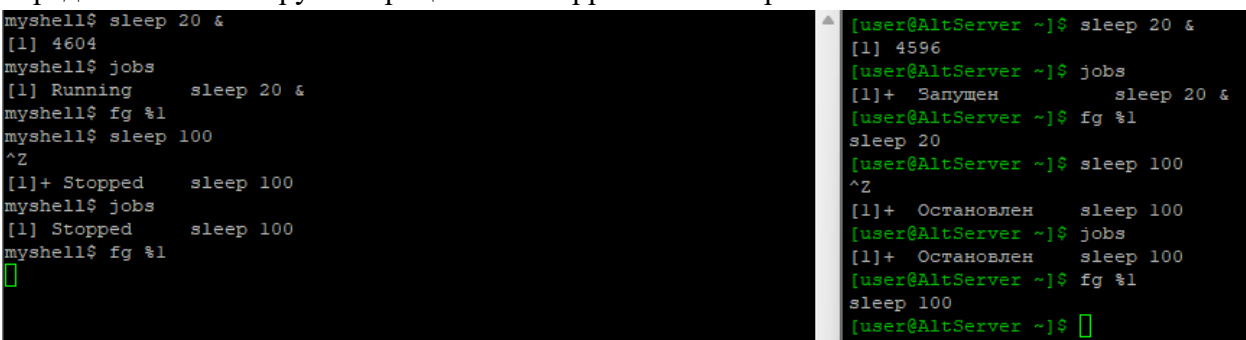
```
myshell$ cat myshell_io.txt | grep line1
line1
myshell$ ls -la | wc -l
20
myshell$ printf "a\nb\nc\n" | grep b | wc -l
1
myshell$ yes | head -n 10000 | wc -l
10000
myshell$

[user@AltServer ~]$ cat bash_io.txt | grep line1
line1
[user@AltServer ~]$ ls -la | wc -l
20
[user@AltServer ~]$ printf "a\nb\nc\n" | grep b | wc -l
1
[user@AltServer ~]$ yes | head -n 10000 | wc -l
10000
[user@AltServer ~]$
```

Рисунок 11 – Сравнение работы конвейеров

Источник: анализ авторов

Следующим этапом проверки работоспособности командного интерпретатора является проверка фонового выполнения. Команда с суффиксом & должна запускаться без блокировки интерфейса, а оболочка должна немедленно вывести приглашение. Реализация механизма управления заданиями требует фиксации факта приостановки и возможности последующего возобновления выполнения посредством SIGCONT [8]. Для демонстрации механизма приостановки используется Ctrl-Z, после чего задание должно появиться в списке как остановленное. Затем проверяется возобновление через bg, после чего снова выполняется вывод jobs (Рисунок 12). Данный блок позволяет подтвердить корректность setpgid, tcsetpgrp, передачи сигналов группе процессов и корректность обработки SIGCHLD.



```
myshell$ sleep 20 &
[1] 4604
myshell$ jobs
[1] Running    sleep 20 &
myshell$ fg %1
myshell$ sleep 100
^Z
[1]+ Stopped   sleep 100
myshell$ jobs
[1] Stopped    sleep 100
myshell$ fg %1

[user@AltServer ~]$ sleep 20 &
[1] 4596
[user@AltServer ~]$ jobs
[1]+  Запущен   sleep 20 &
[user@AltServer ~]$ fg %1
sleep 20
[user@AltServer ~]$ sleep 100
^Z
[1]+  Остановлен sleep 100
[user@AltServer ~]$ jobs
[1]+  Остановлен sleep 100
[user@AltServer ~]$ fg %1
sleep 100
[user@AltServer ~]$
```

Рисунок 12 – Сравнение работы фоновых заданий

Источник: анализ авторов

В контексте реализации командного интерпретатора особое значение приобретают сигналы, связанные с управлением выполнением процессов. Сигнал SIGINT генерируется терминалом при нажатии пользователем комбинации клавиш прерывания и по умолчанию

завершает процесс. Однако в архитектуре shell необходимо обеспечить, чтобы сам интерпретатор не завершился, а сигнал передавался процессу или группе процессов, выполняющихся в переднем плане. Это требует изменения стандартной обработки сигнала и явной передачи его посредством системного вызова kill() [3]. Проверка реакции на SIGINT проводится на команде, которая ожидает ввод, например cat (Рисунок 13). При нажатии Ctrl-C должен завершиться процесс cat, а оболочка должна продолжить работу, сохранив приглашение. Данный тест подтверждает, что SIGINT не разрушает процесс оболочки и корректно перенаправляется группе процессов переднего плана.

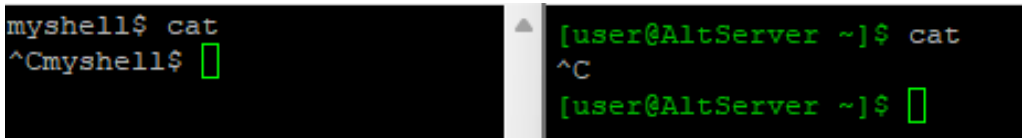


Рисунок 13 – Сравнение работы фоновых заданий

Источник: анализ авторов

Также проверяется поддержка переменных окружения и подстановок, включая \$HOME и подстановку тильды (Рисунок 14).

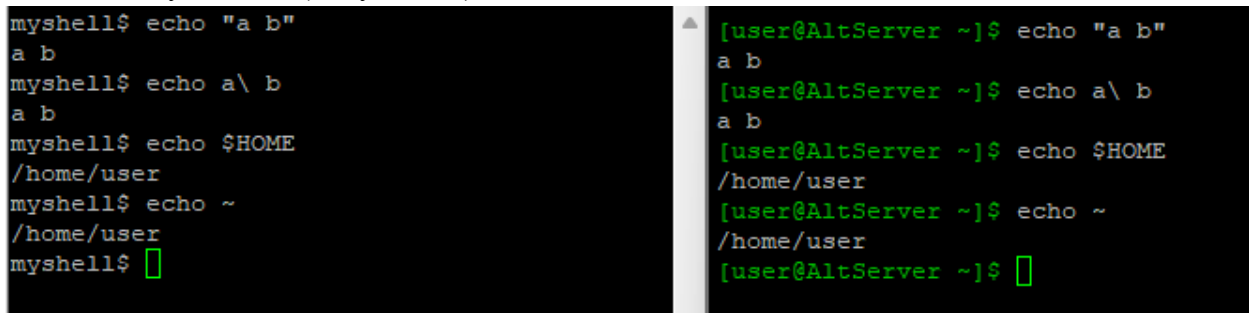


Рисунок 14 – Проверка экранирования и использования переменных окружения

Источник: анализ авторов

Отдельно проверяются логические операторы && и ||, а также группировка команд через ; и скобки (Рисунок 15).

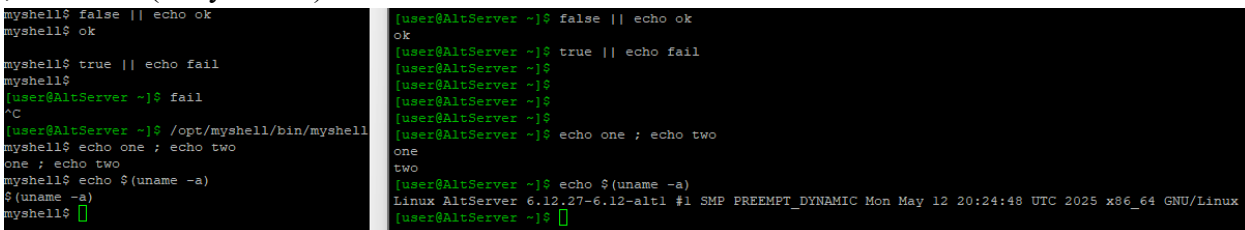


Рисунок 15 – Проверка работы логических операторов

Источник: анализ авторов

Сравнительный анализ функциональности командного интерпретатора представлен в Таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ командного интерпретатора с bash

Функция командного интерпретатора	Ожидаемого поведение (bash)	Фактическое поведение (myshell)	Статус
Запуск внешних программ	Команда запускается через fork и exec, оболочка ожидает завершения процесса	Реализовано через fork и execvp, результат выполнения совпадает	Соответствует
Обработка ошибок запуска программы	При запуске несуществующей команды выводится сообщение об ошибке	Выводится сообщение execvp: No such file or directory	Частично соответствует
Перенаправление вывода >	Стандартный вывод перенаправляется в файл	Реализовано через open и dup2	Соответствует
Перенаправление вывода >>	Данные добавляются в конец файла	Реализовано через флаг O_APPEND	Соответствует
Перенаправление ввода <	Стандартный ввод читается из файла	Реализовано через open и dup2	Соответствует
Перенаправление stderr (2>)	Поток ошибок перенаправляется в файл	Реализовано через dup2 для STDERR_FILENO	Соответствует
Конвейеры (pipeline)	Несколько процессов соединяются каналами pipe	Конвейеры реализованы через pipe и dup2	Соответствует
Фоновое выполнение (&)	Команда запускается без блокировки терминала	Реализован запуск фонового задания	Соответствует
Список фоновых заданий (jobs)	Отображается список текущих заданий	Реализована таблица заданий	Соответствует
Перевод задания в передний план (fg)	Управление терминалом передается группе процессов	Реализовано через tcsetpgrp и ожидание группы	Соответствует
Возобновление задания в фоне (bg)	Задание продолжает выполняться в фоне	Реализована отправка сигнала SIGCONT	Соответствует
Реакция на Ctrl+C (SIGINT)	Завершается процесс переднего плана	Сигнал перенаправляется группе процессов	Соответствует
Реакция на Ctrl+Z (SIGTSTP)	Процесс переднего плана переводится в состояние остановки	Состояние задания фиксируется как STOPPED	Соответствует

Функция командного интерпретатора	Ожидаемого поведение (bash)	Фактическое поведение (myshell)	Статус
Расширение переменных окружения	Поддержка \$HOME и других переменных	Реализована подстановка переменных	Соответствует
Подстановка файлов (*, ?, [])	Расширение шаблонов файлов	Реализовано через библиотеку glob	Соответствует
Логические операторы (&&,)	Поддерживаются условные конструкции	Не реализованы	Не реализовано
Последовательность команд (;)	Позволяет выполнять несколько команд	Не реализованы	Не реализовано
Подстановка команд \$(...)	Поддерживается выполнение вложенных команд	Не реализованы	Не реализовано

Заключение

В ходе выполнения работы была достигнута поставленная цель разработки и исследования командного интерпретатора для операционной системы Альт с поддержкой управления заданиями и обработки сигналов.

Результаты сравнительного анализа функциональности командного интерпретатора показали, что разработанная оболочка демонстрирует поведение, близкое к эталонной реализации: 14 из 18 представленных сценариев полностью соответствуют поведению встроенной оболочки bash. В рамках выполненного исследования реализована упрощенная модель командного интерпретатора, ориентированная на демонстрацию базовых механизмов управления процессами, обработки сигналов и организации фоновых заданий. При этом ряд возможностей, характерных для полнофункциональных оболочек семейства UNIX, сознательно не включался в область реализации. К таким возможностям относятся поддержка логических операторов командной строки, механизм подстановки результатов выполнения команд, а также расширение шаблонов имен файлов. Указанные элементы выходят за пределы поставленных задач исследования и рассматриваются как функциональные ограничения разработанного прототипа командного интерпретатора.

Полученные результаты имеют практическую ценность в учебных и исследовательских целях для изучения принципов работы командных оболочек, механизмов управления процессами и обработки сигналов в операционных системах семейства UNIX.

Список литературы

1. Данилова А. А., Князев Е. В., Куленцан А. Л. Особенности операционной системы Unix //Сборник научных трудов вузов России «Проблемы экономики, финансов и управления производством. – 2022. – №. 50. – С. 111-115.
2. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. – Питер, 2024.
3. Мельников Г. В. и др. Анализ системы прерываний в операционной системе LINUX и разработка методологии их отслеживания и обработки //Актуальные проблемы науки и техники. 2022. – 2022. – С. 332-333.
4. Ward B. How Linux works: What every superuser should know. – no starch press, 2021.

5. BaseALT // Командные оболочки (интерпретаторы). URL: <https://docs.altlinux.org/ru-RU/alt-server/11.0/html/alt-server/ch64s02s02.html> (дата обращения 06.03.2026).
6. Ramey C. Bash– The GNU shell //Case Western Reserve University. – 1992.
7. Singh S. K. Linux yourself: concept and programming. – Chapman and Hall/CRC, 2021.

References

1. Danilova A. A., Knyazev E. V., Kulenzan A. L. Features of the Unix Operating System // Collection of Scientific Papers of Russian Universities "Problems of Economics, Finance, and Production Management. - 2022. - No. 50. - pp. 111-115.
 2. Tanenbaum E., Bos H. Modern Operating Systems. - Piter, 2024.
 3. Melnikov G. V. et al. Analysis of the Interrupt System in the Linux Operating System and Development of a Methodology for Tracking and Processing Them // Actual Problems of Science and Technology. 2022. - 2022. - pp. 332-333.
 4. Ward B. How Linux Works: What Every Superuser Should Know. - no starch press, 2021.
 5. BaseALT // Command Shells (Interpreters). URL: <https://docs.altlinux.org/ru-RU/alt-server/11.0/html/alt-server/ch64s02s02.html> (accessed 03/06/2026).
 6. Ramey C. Bash– The GNU shell //Case Western Reserve University. – 1992.
 7. Singh S. K. Linux yourself: concept and programming. – Chapman and Hall/CRC, 2021.
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.056:004.72

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛА И СКОРОСТИ СРАБАТЫВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ IP SLA НА БАЗЕ РЕШЕНИЙ ESR

¹Попандопуло П. Р., Мусикаев А.А.

ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА" Москва, Россия, (119296, город Москва, Ленинский пр-кт, д. 65 к. 1), e-mail: ¹ ez1tre@mail.ru

В статье рассматривается технология IP Service Level Agreement (IP SLA) как инструмент активного мониторинга и обеспечения отказоустойчивости в современных корпоративных сетях. Объектом исследования выступает комплекс сетевых устройств на базе сервисных маршрутизаторов ESR (Eltex), а предметом — функциональные возможности и временные характеристики срабатывания механизмов IP SLA. Цель работы заключается в экспериментальном определении скорости переключения трафика при имитации отказов каналов связи. В теоретической части анализируются принципы работы IP SLA, стандартизированные метрики качества обслуживания и механизмы интеграции с протоколами маршрутизации. Практическая часть включает создание лабораторного стенда с использованием оборудования Eltex, Cisco и MikroTik, настройку IP SLA-зондов и проведение серии экспериментов по измерению времени восстановления связности при обрыве основного канала.

Ключевые слова: IP SLA, отказоустойчивость, ESR, Eltex, активный мониторинг сети, качество обслуживания (QoS), статическая маршрутизация, отслеживание маршрутов (route tracking), время восстановления связности, задержка, джиттер, сетевая инфраструктура.

A STUDY OF THE FUNCTIONALITY AND RESPONSE SPEED OF IP SLA TECHNOLOGY BASED ON ESR SOLUTIONS

¹Popandopulo P. R., Musikaev A.A.

GUBKIN RUSSIAN STATE UNIVERSITY OF OIL AND GAS (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY), Moscow, Russia, (119296, Moscow, Leninsky pr-kt, 65 k. 1), e-mail: ¹ ez1tre@mail.ru

This article examines IP Service Level Agreement (IP SLA) technology as a tool for active monitoring and ensuring fault tolerance in modern corporate networks. The object of the study is a set of network devices based on ESR service routers (Eltex), and the subject of the study is the functionality and response time characteristics of IP SLA mechanisms. The objective of this study is to experimentally determine the speed of traffic switching when simulating communication link failures. The theoretical part analyzes the operating principles of IP SLA, standardized quality of service metrics, and mechanisms for integration with routing protocols. The practical part includes the creation of a lab setup using Eltex, Cisco, and MikroTik equipment, the configuration of IP SLA probes, and a series of experiments to measure connectivity restoration time after a primary link failure.

Keywords: IP SLA, fault tolerance, ESR, Eltex, active network monitoring, quality of service (QoS), static routing, route tracking, connectivity restoration time, latency, jitter, network infrastructure.

Введение

Современные корпоративные сети предъявляют высокие требования к отказоустойчивости, производительности и контролю качества обслуживания (QoS). Одним

из ключевых инструментов для обеспечения этих требований является технология IP Service Level Agreement (IP SLA), позволяющая активно мониторить параметры сети, такие как задержка, джиттер, потеря пакетов и доступность узлов. Эффективность сетевой инфраструктуры напрямую зависит от функциональных возможностей и скорости срабатывания механизмов IP SLA, особенно при интеграции с решениями для динамической маршрутизации и коммутации, такими как Ethernet Switch Router (ESR).

Объектом исследования является комплекс сетевых устройств на базе решений ESR, использующих технологию IP SLA для автоматического перераспределения трафика.

Предмет исследования — функциональные возможности механизмов IP SLA (типы операций, методы измерений) и временные характеристики (скорость обнаружения деградации, время реакции на инцидент) в тестовой среде на базе ESR.

Цель исследования заключается в комплексном анализе функционала технологии IP SLA и экспериментальном определении скорости ее срабатывания для оперативного переключения трафика в условиях имитации отказов каналов связи на лабораторном стенде.

1. Теоретическая основа

1.1 Технология IP SLA (Service Level Agreement)

Технология IP Service Level Agreement (IP SLA) - это встроенный набор функций сетевых устройств, предназначенный для активного мониторинга, верификации и анализа производительности сетевых сервисов в режиме реального времени. Методологическую основу IP SLA составляют международные стандарты и спецификации, такие как документы IETF серии IPPM (IP Performance Metrics), которые формализуют ключевые метрики качества обслуживания - одностороннюю задержку (RFC 2681 [8]), вариацию задержки (RFC 3393 [9]) и потерю пакетов (RFC 2679 [10]). Работая на сетевом уровне с интеграцией в транспортные протоколы, IP SLA генерирует синтетический трафик, имитирующий поведение важных приложений, что позволяет оценивать такие ключевые показатели, как доступность, задержка, дрожание задержки, потеря пакетов и пропускная способность.

Основное предназначение IP SLA - предоставить администраторам инструмент для объективного измерения соответствия фактических параметров сети заданным соглашениям об уровне обслуживания (SLA), а также для автоматизации реакции на их нарушение. В контексте решений ESR, архитектура которых базируется на отраслевых принципах построения сервисных маршрутизаторов, технология выступает как интеллектуальный датчик, данные которого напрямую интегрируются с механизмами маршрутизации и коммутации, обеспечивая соответствие отраслевым требованиям к отказоустойчивости и контролю качества обслуживания, в том числе в рамках методик тестирования Ethernet-сервисов, определённых рекомендацией ITU-T Y.1564 [11].

Функционирование IP SLA основано на выполнении операций-зондов, инициируемых устройством-источником по отношению к устройству-цели. Каждая операция имеет строго заданные параметры: тип (ICMP Echo, UDP Jitter, TCP Connect и др.), частоту отправки, пороги срабатывания и таймауты, что соответствует принципам активных измерений, заложенным в стандартах мониторинга сетевых производительности.

Ключевым для интеграции является механизм отслеживания, который связывает состояние конкретной операции IP SLA с конкретным действием в конфигурации устройства. Например, при падении операции ниже заданного порога может быть деактивирован

статический маршрут, увеличена метрика интерфейса в протоколе OSPF или инициировано переключение на резервный канал, реализуя таким образом концепцию self-healing networks, согласованную с современными подходами к управлению сетями.

Таким образом, технология IP SLA, в отличие от пассивных протоколов, не доверяет состоянию физического интерфейса, а активно проверяет доступность сетевого сервиса на уровне IP, опираясь на устоявшиеся стандартизированные метрики и методы измерений.

1.2 Обзор литературы

Компьютерные сети. L2-технологии: практикум / А.Г. Уймин (2024)

Данный практикум предоставляет материалы для изучения L2-технологий, что критически важно для корректной организации тестового стенда и интерпретации результатов. Понимание L2-технологий позволяет исключить влияние потерь кадров, "петель" STP или конфигурационных ошибок коммутации на чистоту эксперимента по измерению скорости и надёжности срабатывания IP SLA-зондов на маршрутизаторах ESR.

Руководство по эксплуатации MikroTik CRS326

Это руководство содержит полную информацию об устройстве: технические характеристики, физическую установку, начальную настройку, управление через интерфейс WinBox, а также описание функций уровня L2/L3. Он является основным источником для администрирования данного оборудования.

Руководство по настройке оборудования Cisco 810

Документ представляет собой руководство по начальной настройке и установке для серии маршрутизаторов Cisco 800 (включая модель 810). В нем рассматриваются базовые шаги: физическое подключение, доступ к интерфейсу командной строки (CLI), настройка глобальных параметров, интерфейсов, безопасности. Материал служит практическим введением в работу с данными устройствами, которые являются отраслевым эталоном в области реализации IP SLA. Это важный источник для понимания стандартного синтаксиса, типов зондов (ICMP-echo, UDP-jitter) и принципов интеграции с маршрутизацией, что необходимо для последующего сравнительного анализа функционала и времени реакции технологии на платформе ESR

Сервисные маршрутизаторы ESR. Руководство по эксплуатации

Полная документация производителя Eltex на сервисные маршрутизаторы ESR является основным и критически важным источником для исследования. В ней детально описывается архитектура, синтаксис конфигурации и все параметры реализации механизма SLA (частота опросов, таймауты, условия срабатывания), что позволяет проводить точное тестирование функциональных возможностей и замеры скорости его реакции на события в сети.

Настройка Static Route Tracking с помощью IP SLA

Практическое руководство детально объясняет конечную цель применения технологии IP SLA — автоматическое переключение маршрутов. Анализ данной конфигурации на оборудовании Cisco позволяет выделить ключевые метрики для оценки скорости срабатывания (время обнаружения потери, задержка до применения нового маршрута), которые затем можно тестировать и сравнивать при реализации аналогичной логики на платформе Eltex ESR.

Понятие IP SLA и его роль в измерениях производительности сети

Теоретическая статья раскрывает концепцию и роль технологии IP SLA как инструмента для активных измерений. Эта информация формирует основу для исследования: понимание, какие типы проверок (ping, jitter, path echo) доступны, какие параметры (интервал, порог) влияют на скорость детектирования проблем, и как эти функции реализованы для последующего тестирования на решениях ESR.

Eltex SLA (Service Level Agreement)

Официальный пример конфигурации от производителя Eltex является прямым и наиболее релевантным источником для исследования. Он демонстрирует конкретную реализацию механизма SLA на целевой платформе ESR, включая настройку отслеживания и привязку к политике маршрутизации. Данный пример служит готовым стендом для эмпирического тестирования скорости срабатывания и анализа полного функционала технологии в среде Eltex.

2. Методы исследования

2.1 Тип исследования

Исследование носит экспериментально–аналитический характер, так как направлено на выявление скорости срабатывания технологии IP SLA.

2.2. Цели и задачи исследования

Основной целью данной работы является практическая оценка эффективности технологии IP SLA при её интеграции в сетевую инфраструктуру на базе оборудования ESR (Eltex Service Router). В рамках исследования решаются следующие задачи:

- *Измерение времени обнаружения деградации канала* — определение интервала между моментом физического обрыва связи и регистрацией этого события механизмом IP SLA.
- *Оценка скорости переключения трафика* — замер общего времени, необходимого для переключения маршрута с основного на резервный после срабатывания IP SLA.

Измерения проводятся в лабораторной среде, имитирующей сегмент корпоративной сети с резервированием каналов связи. Полученные данные позволяют количественно оценить пригодность IP SLA для использования в системах автоматического восстановления, а также дают рекомендации по настройке частоты зондирования и таймаутов для достижения минимального времени простоя критически важных сервисов.

2.3. Выборка оборудования

В рамках исследования была сформирована выборка из следующих сетевых устройств:

- Роутер Eltex в качестве основного объекта исследования и платформы для измерения характеристик технологии IP SLA.
- Маршрутизаторы Cisco и MikroTik в качестве вспомогательных устройств в топологии, обеспечивающих формирование альтернативных.

2.4 Процедура проведения эксперимента

1. Подготовка тестовой среды, включающая в себя создание сетевой топологии на устройствах различных производителей;
2. Проверка реакции устройства на отключение «основного» пути передачи пакетов;

3. Проверка скорости переключения на «резервный» путь и оценка работы технологии IP SLA.

3. Проведение эксперимента и его результаты

Для проведения эксперимента будут использоваться роутеры Eltex ESR-15R (RTR1), Cisco версии 810 (RTR2) и MikroTik версии CRS326 (RTR3). Будет реализована топология, изображенная на Рисунке 1.

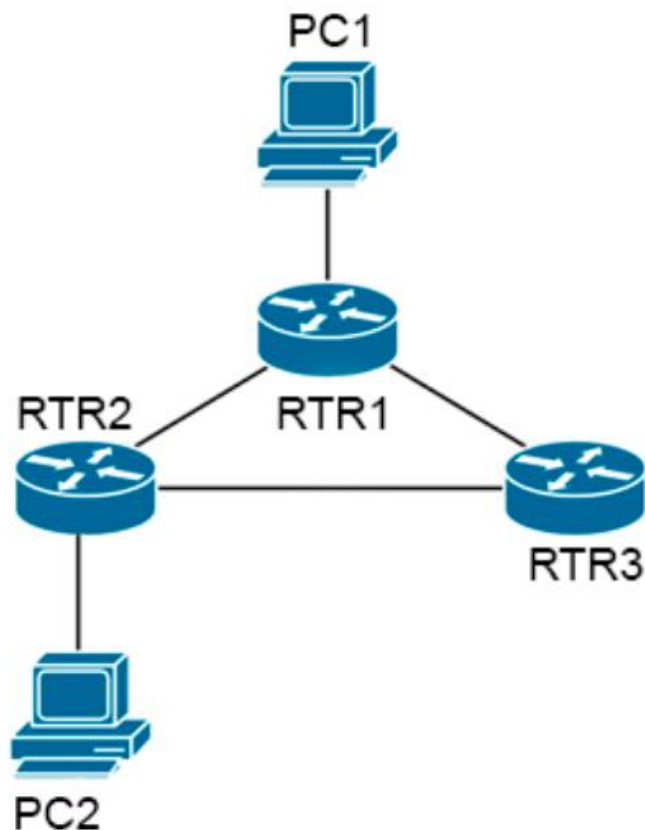


Рисунок 1 – Топология проведения эксперимента

На трех интерфейсах каждого роутера был выдан статический IP-адрес.

3.1 Настройка маршрутизатора Eltex ESR-15R

```
interface gigabitethernet 1/0/1
 security-zone trusted
 ip firewall disable
 ip address 192.168.10.2/24
 ipv6 enable
 ipv6 address 2001:db8:13::3/64
exit
interface gigabitethernet 1/0/2
 ip firewall disable
 ip address 192.168.1.1/24
exit
interface gigabitethernet 1/0/3
 ip firewall disable
 ip address 192.168.12.1/24
```

Рисунок 2 - IP-адресация на Eltex ESR-15R

```
ip route 192.168.10.0/24 192.168.10.1 100
ip route 192.168.11.0/24 192.168.10.1 100
ip route 192.168.12.0/24 192.168.12.2 10
ip route 192.168.2.0/24 192.168.12.2 1
ip route 192.168.2.0/24 192.168.10.1 10
ip route 192.168.2.0/24 192.168.10.1 100
ip route 192.168.2.0/24 192.168.10.1 5
ip route 192.168.3.0/24 192.168.12.2 1
ip route 192.168.3.0/24 192.168.10.1 10
```

Рисунок 3 - Выставленные маршруты на Eltex ESR-15R

```
esr-15r# sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP derived,
       O - OSPF derived, IA - OSPF inter area route,
       E1 - OSPF external type 1 route, E2 - OSPF external type 2 route
       B - BGP derived, D - DHCP derived, K - kernel route, V - VRRP route
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       H - NHRP, * - FIB route
C    * 192.168.10.0/24    [0/0]          dev gi1/0/1          [direct 16:23:48]
S    * 192.168.11.0/24    [1/100]       via 192.168.10.1 on gi1/0/1 [static 16:23:48]
C    * 192.168.12.0/24    [0/0]          dev gi1/0/3          [direct 16:17:34]
C    * 192.168.1.0/24     [0/0]          dev gi1/0/2          [direct 13:47:29]
S    * 192.168.2.0/24     [1/1]         via 192.168.12.2 on gi1/0/3 [static 16:17:34]
C    * 10.0.0.0/24       [0/0]          dev br1              [direct 2025-12-05]
S    * 192.168.3.0/24     [1/1]         via 192.168.12.2 on gi1/0/3 [static 16:17:34]
esr-15r#
```

Рисунок 4 - Таблица маршрутизации на Eltex ESR-15R

3.2 Настройка маршрутизатора Cisco 810

```
!
interface Vlan1
 ip address 192.168.12.2 255.255.255.0
!
interface Vlan2
 ip address 192.168.11.1 255.255.255.0
!
interface Vlan3
 ip address 192.168.3.3 255.255.255.0
!
```

Рисунок 5 - IP-адресация на Cisco 810

```
!
ip route 192.168.1.0 255.255.255.0 192.168.12.1
ip route 192.168.1.0 255.255.255.0 192.168.11.2 10
!
```

Рисунок 6 - Выставленные маршруты на Cisco 810

```
R1#show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       a - application route
       + - replicated route, % - next hop override, p - overrides from PfR

Gateway of last resort is not set

10.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C       10.0.1.1 is directly connected, Loopback0
S       192.168.1.0/24 [1/0] via 192.168.12.1
192.168.2.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.2.0/24 is directly connected, Loopback2
L       192.168.2.1/32 is directly connected, Loopback2
192.168.3.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.3.0/24 is directly connected, Vlan3
L       192.168.3.3/32 is directly connected, Vlan3
192.168.11.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.11.0/24 is directly connected, Vlan2
L       192.168.11.1/32 is directly connected, Vlan2
192.168.12.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.12.0/24 is directly connected, Vlan1
L       192.168.12.2/32 is directly connected, Vlan1
```

Рисунок 7 - Таблица маршрутизации на Cisco 810

3.3 Настройка маршрутизатора MikroTik CRS326

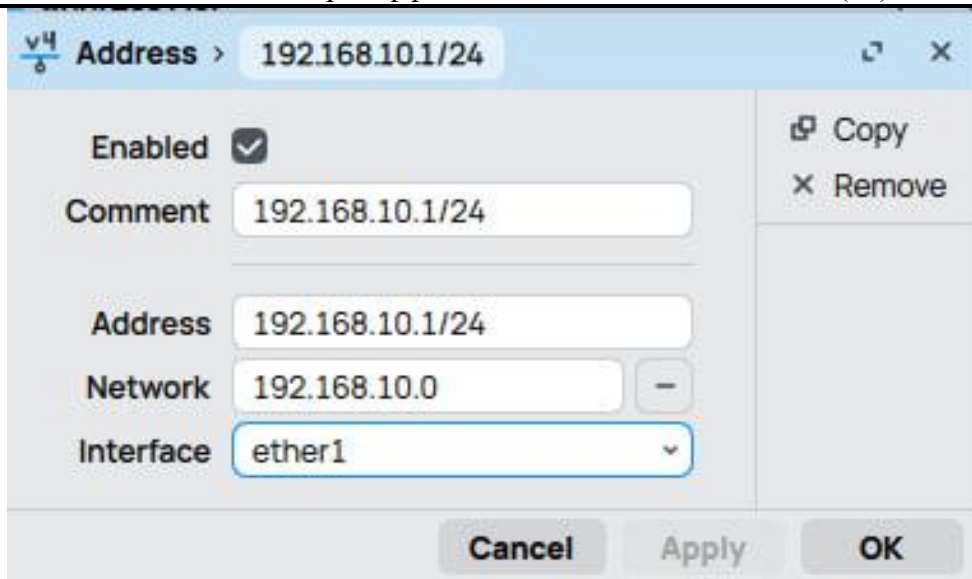


Рисунок 8 – IP-адресация интерфейса ether1 на MikroTik CRS326

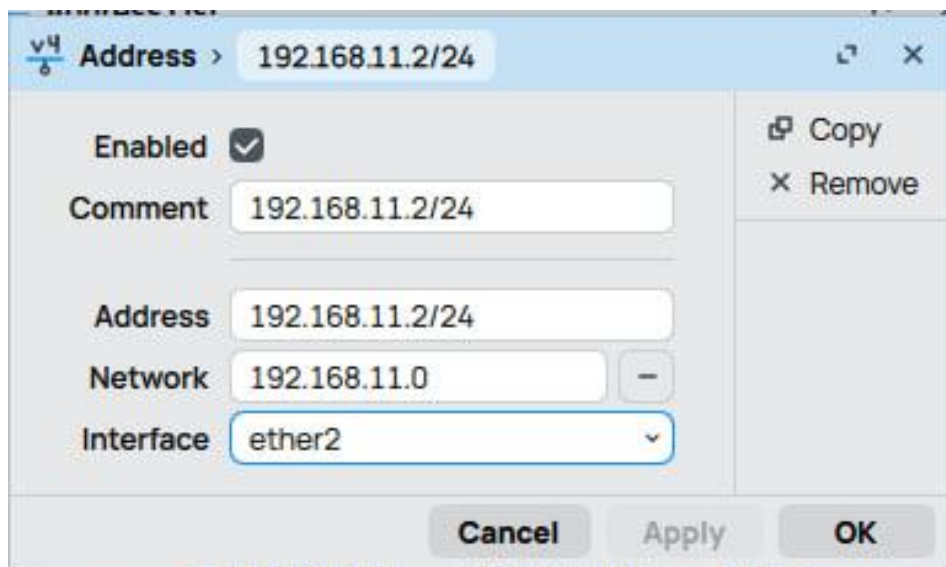
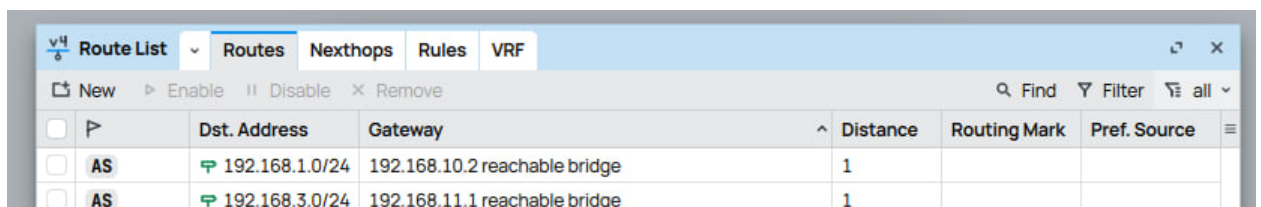


Рисунок 9 – IP-адресация интерфейса ether2 на MikroTik CRS326



	Dist. Address	Gateway	Distance	Routing Mark	Pref. Source
AS	192.168.1.0/24	192.168.10.2 reachable bridge	1		
AS	192.168.3.0/24	192.168.11.1 reachable bridge	1		

Рисунок 10 – выставленные маршруты на MikroTik CRS326

3.4 Результаты проведения эксперимента

Проверка срабатывания технологии производилась путем прерывания прямой связности RTR1 и RTR2 для «вынужденного» переключения маршрута на резервный через RTR3. Для повышения достоверности результатов эксперимент проводился в серии из 5 повторных измерений. Анализ времени срабатывания технологии производился в утилите Wireshark.

Анализ отправки ping от PC1 до PC2 на Рисунке 11.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000000	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=21/5376, ttl=62 (reply in 2)
2	0.000041882	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=21/5376, ttl=64 (request in 1)
3	1.002540820	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=22/5632, ttl=62 (reply in 4)
4	1.002588048	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=22/5632, ttl=64 (request in 3)
5	1.231253437	Cisco_b8:eb:f1	Spanning-tree (for... STP	60	Conf. Root = 32768/0/24:4a:00:b8:eb:f0 Cost = 0 Port = 0x8004	
6	2.004779526	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=23/5888, ttl=62 (reply in 7)
7	2.004818164	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=23/5888, ttl=64 (request in 6)
8	3.006593241	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=24/6144, ttl=62 (reply in 9)
9	3.006634615	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=24/6144, ttl=64 (request in 8)
10	3.211049324	Cisco_b8:eb:f1	Spanning-tree (for... STP	60	Conf. Root = 32768/0/24:4a:00:b8:eb:f0 Cost = 0 Port = 0x8004	
11	4.008598363	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=25/6400, ttl=62 (reply in 12)
12	4.008637375	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=25/6400, ttl=64 (request in 11)
13	5.009596413	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=26/6656, ttl=62 (reply in 14)
14	5.009636536	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=26/6656, ttl=64 (request in 13)

Рисунок 11 - Ping

Спустя 15.029397549 секунд физически разорвали связь RTR1 и RTR2. В логах Wireshark появился ARP-пакет для поиска «носителя» адреса 192.168.3.3. Путь был найден – следующий пакет был отправлен в момент Time: 17.057514299 секунд.

Разница во времени между прерыванием передачи пакетов и возобновлением составила 17.057514299 - 15.029397549 = 2.02811675 секунд.

Аналогично проведя серию измерений, было получено среднее время восстановления сетевой связности, составившее 2.03 секунды.

Полученное значение отражает суммарное время восстановления сетевой связности, включающее несколько последовательных этапов: обнаружение деградации канала механизмом IP SLA, обработку события системой отслеживания track, обновление таблицы маршрутизации, а также разрешение ARP-запроса при построении нового пути передачи данных. Таким образом, измеренное время представляет собой целостную характеристику всей цепочки механизмов отказоустойчивости.

Интерфейс Wireshark приведен на рисунке 12.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
33	13.024528624	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=34/8704, ttl=62 (reply in 34)
34	13.024569232	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=34/8704, ttl=64 (request in 33)
35	13.220212886	Cisco_b8:eb:f1	Spanning-tree (for... STP	60	Conf. Root = 32768/0/24:4a:00:b8:eb:f0 Cost = 0 Port = 0x8004	
36	14.027767296	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=35/8960, ttl=62 (reply in 37)
37	14.027806734	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=35/8960, ttl=64 (request in 36)
38	15.029357879	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=36/9216, ttl=62 (reply in 38)
39	15.029397549	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=36/9216, ttl=64 (request in 38)
40	15.112535345	HP_bb:7f:af	Cisco_b8:eb:ee	ARP	42	Who has 192.168.3.3 Tell 192.168.3.1
41	15.113268052	Cisco_b8:eb:ee	HP_bb:7f:af	ARP	60	192.168.3.3 is at 54:4a:00:b8:eb:ee
42	15.220212886	Cisco_b8:eb:f1	Spanning-tree (for... STP	60	Conf. Root = 32768/0/24:4a:00:b8:eb:f0 Cost = 0 Port = 0x8004	
43	17.057514299	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=38/9728, ttl=61 (reply in 43)
44	17.057553980	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=38/9728, ttl=64 (request in 44)
45	17.220212886	Cisco_b8:eb:f1	Spanning-tree (for... STP	60	Conf. Root = 32768/0/24:4a:00:b8:eb:f0 Cost = 0 Port = 0x8004	
46	18.060258571	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=39/9984, ttl=61 (reply in 47)
47	18.060298094	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=39/9984, ttl=64 (request in 46)
48	19.062197993	192.168.1.10	192.168.3.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0028, seq=40/10240, ttl=61 (reply in 49)
49	19.062236631	192.168.3.1	192.168.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0028, seq=40/10240, ttl=64 (request in 48)
50	19.220212886	Cisco_b8:eb:f1	Spanning-tree (for... STP	60	Conf. Root = 32768/0/24:4a:00:b8:eb:f0 Cost = 0 Port = 0x8004	

Рисунок 12 – Прерывание и налаживание связности.

Заключение и выводы

В рамках данного исследования была достигнута поставленная цель: проведен комплексный анализ функционала технологии IP SLA и экспериментально определена скорость её срабатывания для обеспечения отказоустойчивости в сетевой инфраструктуре. Работа подтвердила ключевую роль IP SLA как инструмента автоматического восстановления, отвечающего высоким требованиям современным корпоративным сетям.

Эксперимент, проведенный на лабораторном стенде, имитирующем сегмент сети на базе решений ESR, позволил количественно оценить временные характеристики технологии. В условиях искусственного обрыва основного канала связи конфигурация, объединяющая операцию ICMP Echo IP SLA с механизмом Track и плавающими статическими маршрутами, обеспечила восстановление сетевой связности со средним временем 2.03 секунды, подтвержденным серией повторных измерений и статистической обработкой результатов.

Полученное значение отражает совокупное время срабатывания всей системы отказоустойчивости, включающей механизмы IP SLA, track, маршрутизации и ARP-разрешения, что подтверждает высокую эффективность комплексной архитектуры IP SLA + ESR для оперативного реагирования на сетевые инциденты.

Анализ функциональных возможностей показал, что IP SLA выступает в роли интеллектуального датчика, который контролирует не состояние интерфейса, а доступность сетевого сервиса, что критически важно для обнаружения сложных сбоев. Полученное время восстановления является приемлемым для широкого класса бизнес-приложений и демонстрирует выполнимость требований к восстановлению.

Таким образом, исследование позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Технология IP SLA является технически эффективным решением для автоматизации обеспечения отказоустойчивости и контроля SLA в сетях на базе ESR.
2. Средняя скорость срабатывания механизма, составляющая порядка 2 секунд при корректной настройке частоты зондирования и таймеров, удовлетворяет требованиям к оперативному восстановлению для большинства критичных сервисов.
3. Ключевым фактором, определяющим итоговое время переключения, является суммарная задержка обнаружения деградации операцией IP SLA и времени применения новой конфигурации маршрутизации

Полученные результаты могут быть использованы *сетевыми инженерами* при проектировании и настройке отказоустойчивых корпоративных сетей, *вендорами сетевого оборудования* для оптимизации реализации IP SLA в устройствах, *учебными заведениями* в рамках лабораторных работ по сетевой отказоустойчивости и мониторингу SLA.

Проведенная работа обосновывает целесообразность широкого внедрения технологии IP SLA как стандартного компонента для построения саморегулирующихся, отказоустойчивых сетей.

Список литературы

1. Компьютерные сети. L2–технологии : практикум / А.Г. Уймин. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2024. — 191 с. (дата обращения: 23.07.2025)
2. Руководство по эксплуатации MikroTik CRS326 [сайт]. URL: <https://manuals.plus/ru/mikrotik/crs326-24g-2sin-router-switch-manual> (дата обращения: 23.11.2025)
3. Руководство по настройке оборудования Cisco 810, 2014. URL: https://technon.ru/upload/pdf/Cisco800HIG_ru.pdf (дата обращения: 23.11.2025)
4. Сервисные маршрутизаторы ESR. Руководство по эксплуатации, 2017. URL: <https://opticom.ru/upload/iblock/5d4/u315vj183z7lghfuhbp0skkfbo2ry0b6t.pdf> (дата обращения: 23.11.2025)
5. Настройка Static Route Tracking с помощью IP SLA, 2019. URL: <https://wiki.merionet.ru/articles/nastrojka-static-route-tracking-s-pomoshhyu-ip-sla> (дата обращения: 22.11.2025)
6. Понятие IP SLA и его роль в измерениях производительности сети, 2020. URL: https://www.wellink.ru/content/ponyatie_cisco_ios_ip_sla (дата обращения: 22.11.2025)

7. Eltex SLA (Service Level Agreement), 2022. URL: <https://eltexcm.ru/baza-znaniy/esr/primer-nastrojki/rezervirovanie/esr-eltex-sla-service-level-agreement.html> (дата обращения: 23.11.2025)
8. RFC 2681 - A Round-trip Delay Metric for IPPM, 1999. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2681> (дата обращения: 23.11.2025)
9. RFC 3393 - IP Packet Delay Variation Metric for IPPM, 2002. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3393> (дата обращения: 23.11.2025)
10. RFC 2679 - A One-way Packet Loss Metric for IPPM, 1999. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2679> (дата обращения: 23.11.2025)
11. ITU-T Recommendation Y.1564 - Ethernet service activation test methodology, 2016. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1564> (дата обращения: 23.11.2025)
12. Working with cisco IP SLA: Measuring IP SLA in enterprise networks, 12 февраля 2010. URL: <https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/1841554>

References

1. Computer Networks. L2 Technologies: A Workshop / A.G. Uimin. Moscow: IP R Media, 2024. 191 p. (Accessed: 23.11.2025)
 2. MikroTik CRS32 User Manual, 2021. URL: <https://manuals.plus/ru/mikrotik/crs326-24g-2sin-router-switch-manual> (Accessed: 23.11.2025)
 3. Cisco 810 Hardware Configuration Guide, 2014. URL: https://technon.ru/upload/pdf/Cisco800HIG_ru.pdf (Accessed: 23.11.2025)
 4. ESR Service Routers. Operation Manual, 2017. URL: <https://opticom.ru/upload/iblock/5d4/u315vj183z7lghfuhbp0skkfbo2ry0b6t.pdf> (Accessed: 23.11.2025)
 5. Configuring Static Route Tracking using IP SLA, 2019. URL: <https://wiki.merionet.ru/articles/nastrojka-static-route-tracking-s-pomoshhyu-ip-sla> (Accessed: 22.11.2025)
 6. The Concept of IP SLA and Its Role in Network Performance Measurements, 2020. URL: https://www.wellink.ru/content/ponyatie_cisco_ios_ip_sla (Accessed: 22.11.2025)
 7. Eltex SLA (Service Level Agreement) Agreement), 2022. URL: <https://eltexcm.ru/baza-znaniy/esr/primer-nastrojki/rezervirovanie/esr-eltex-sla-service-level-agreement.html> (Accessed: 23.11.2025)
 8. RFC 2681 - A Round-trip Delay Metric for IPPM, 1999. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2681> (Accessed: 23.11.2025)
 9. RFC 3393 - IP Packet Delay Variation Metric for IPPM, 2002. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3393> (Accessed: 23.11.2025)
 10. RFC 2679 - A One-way Packet Loss Metric for IPPM, 1999. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2679> (accessed: 23.11.2025)
 11. ITU-T Recommendation Y.1564 - Ethernet service activation test methodology, 2016. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1564> (accessed: 23.11.2025)
 12. Working with Cisco IP SLA: Measuring IP SLA in enterprise networks, February 12, 2010. URL: <https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/1841554>
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.9:378.141:004.42

РАЗРАБОТКА И ИНТЕГРАЦИЯ МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ В ЦИФРОВУЮ СРЕДУ УНИВЕРСИТЕТА (НА ПРИМЕРЕ 1С:ПРЕДПРИЯТИЕ)

Цибиров В.К.

ЧОУ ВО "МОСКОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С.Ю. ВИТТЕ", Москва, Россия, (115432, город Москва, 2-й Кожуховский пр-д, д.12 стр.1), e-mail: vadimtsibirov@mail.ru

В статье представлены результаты разработки и внедрения автоматизированной системы управления учебным расписанием на базе платформы «1С:Предприятие» для Московского университета имени С.Ю. Витте. Описан переход от частично ручного процесса (AS-IS) к автоматизированному (TO-BE), реализованному в виде самописной конфигурации 1С, включающей справочники, документы и алгоритмы для сквозного планирования учебной нагрузки. Обоснована экономическая эффективность решения на основе данных официальной статистики, сформулированы направления дальнейшего развития (интеграция с личным кабинетом, API-шлюз). Новизна подхода заключается в создании единого цифрового контура управления расписанием, охватывающего все этапы - от формирования учебных планов до получения готового документа.

Ключевые слова: Автоматизация, учебное расписание, 1С:Предприятие, интеграция, цифровая среда вуза, управление проектом, экономическая эффективность.

DEVELOPMENT AND INTEGRATION OF AN AUTOMATED SCHEDULE PLANNING MODULE INTO A UNIVERSITY'S DIGITAL ENVIRONMENT (USING 1С:ENTERPRISE)

Tsibirov V.K.

MOSCOW WITTE UNIVERSITY, Moscow, Russia, (115432, Moscow, 2nd Kozhukhovsky proezd, 12 bldg. 1), e-mail: vadimtsibirov@mail.ru

This article presents the results of the development and implementation of an automated curriculum management system based on the 1С:Enterprise platform for Moscow State University named after S.Yu. Witte. The article describes the transition from a partially manual process (AS-IS) to an automated one (TO-BE), implemented as a custom 1С configuration, including reference books, documents, and algorithms for end-to-end workload planning. The solution's economic efficiency is substantiated using official statistics, and areas for further development are outlined (integration with the personal account, API gateway). The innovative approach lies in the creation of a unified digital schedule management system covering all stages—from curriculum development to the receipt of the final document.

Keywords: Automation, curriculum, 1С:Enterprise, integration, digital environment of the university, project management, economic efficiency..

Введение

Актуальность цифровой трансформации административных процессов в высших учебных заведениях сегодня не вызывает сомнений. Особенно остро стоит проблема составления учебного расписания - высокоалгоритмизируемой, но крайне трудоемкой задачи, которая во многих вузах выполняется с использованием универсальных офисных

инструментов (Excel, Word) и электронной почты [2, 3]. Это приводит к длительным циклам планирования, неизбежным ошибкам, сложности внесения изменений и отсутствию прозрачности для всех участников процесса.

Объект исследования - процесс составления учебного расписания в Московском университете имени С.Ю. Витте (Университет Витте).

Предмет исследования - методы, архитектурные и организационные решения по его автоматизации с использованием платформы 1С:Предприятие и интеграцией в существующую цифровую среду вуза.

Цель работы - разработка и обоснование целостной концепции автоматизации процесса составления расписания, позволяющей преодолеть разрыв между административным ядром и пользовательским интерфейсом, а также снизить трудозатраты и повысить качество планирования.

Задачи исследования:

1. Провести анализ текущего процесса (модель AS-IS), выявить ключевые проблемы и потребности заинтересованных сторон.
2. Сформулировать требования к автоматизированной системе и предложить целевую модель процесса (TO-BE).
3. Разработать архитектуру решения, определить состав функциональных модулей и роли пользователей.
4. Выполнить экономическое обоснование проекта и рассчитать ожидаемую эффективность.

1. Методология исследования

Исследование проводилось на базе Департамента учебно-методической работы (ДУМР) Московского университета имени С.Ю. Витте в рамках технологической практики магистранта.

Методы сбора данных:

- анализ внутренней нормативной документации (Положение о ДУМР, должностные инструкции, регламенты планирования учебного процесса);
- изучение открытых источников и научных публикаций по теме автоматизации расписания.

Методы анализа:

- моделирование бизнес-процессов (нотация блок-схем) для формализации текущего (AS-IS) и целевого (TO-BE) состояний;
- системный анализ для выявления «узких мест» и причинно-следственных связей;
- метод сравнения для сопоставления различных вариантов автоматизации.

Методы проектирования:

- объектно-ориентированное проектирование для разработки структуры базы данных и функциональных модулей;
- использование стандартов ГОСТ 34.602-2020 [1] для составления технического задания.

Методы оценки эффективности:

- технико-экономическое обоснование с расчетом срока окупаемости;
- анализ типовых показателей из литературных источников для верификации полученных результатов.

2. Анализ текущего состояния процесса (AS-IS)

На основе анализа схемы процесса составления расписания в Департаменте учебно-методической работы (ДУМР) выявлена следующая последовательность операций.

Этап 1. Сбор данных. Методист ДУМР вручную запрашивает и получает данные из разрозненных источников:

- от кафедр - нагрузка преподавателей;
- от факультетов - рабочие учебные планы (РУП), списки групп;
- от администрации - реестр аудиторного фонда.

Информация поступает в виде файлов Excel, Word или PDF, передаваемых по электронной почте или на съемных носителях.

Этап 2. Ручная обработка. Методист вручную консолидирует полученные данные в единую мастер-таблицу Microsoft Excel. На этом же этапе выполняется первичная проверка на противоречия (соответствие часов нагрузки учебному плану, наличие преподавателей в штате). Процесс трудоемкий, подвержен ошибкам из-за человеческого фактора.

Этап 3. Составление черновика. Расстановка занятий по дням недели, временным слоям (парам) и аудиториям выполняется вручную в той же таблице Excel или с использованием устаревшего специализированного ПО. Автоматическая проверка на конфликты (наложение занятий у одного преподавателя, занятость одной аудитории в одно и то же время) отсутствует. Ошибки выявляются уже в процессе учебного семестра.

Этап 4. Согласование. Черновик расписания рассылается по электронной почте заведующим кафедрами. Правки возвращаются в виде пометок в файле, комментариев в письме или отдельного списка. Контроль версий и статусов затруднен.

Этап 5. Корректировка. Методист вручную вносит полученные правки в рабочий файл Excel. При этом возможен повторный цикл согласования, если правки требуют дополнительных изменений.

Этап 6. Утверждение. Скорректированный и выверенный вариант расписания передается на утверждение руководителю ДУМР. Утверждение фиксируется подписью на бумажном носителе или изданием приказа.

Этап 7. Публикация. Утвержденное расписание конвертируется в формат PDF и публикуется методистом на официальном сайте университета. Дополнительно файл может быть разослан по кафедрам.

Этап 8. Эксплуатация. В процессе учебного семестра возникают оперативные изменения (замена преподавателя по болезни, перенос занятия, освобождение аудитории). Каждое такое изменение требует повторения ручного цикла: правка исходного файла Excel, пересогласование с заинтересованными сторонами, перезаливка PDF на сайт. Это создает наибольшую нагрузку на методиста и приводит к рассинхронизации данных между внутренним файлом, публичной версией и реальным учебным процессом.

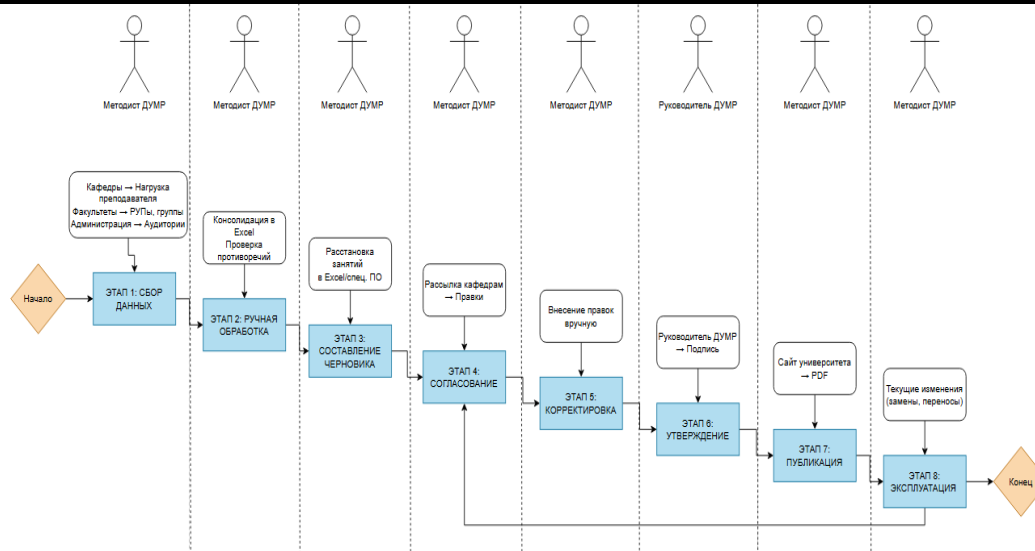


Рисунок 1 - (AS-IS)

3. Предлагаемое решение ТО-ВЕ и сравнение с AS-IS

Для устранения выявленных проблем разрабатывается конфигурация на платформе «1С:Предприятие 8», реализующая сквозную автоматизацию процесса формирования расписания. Конфигурация построена на основе объектной модели, отражающей все ключевые сущности предметной области.

Целевой процесс (ТО-ВЕ) в рамках разработанной конфигурации выглядит следующим образом (Таблица 1):

Таблица 1 - Модель процесса ТО-ВЕ

Этап процесса	Описание ТО-ВЕ
1. Ввод исходных данных	Сотрудники учебного отдела заполняют справочники: Учебный Год, Специальности, Дисциплины, Семестры, Учебные Группы. Формируют документ Учебный План для каждой специальности, указывая дисциплины, часы, семестры.
2. Управление контингентом	Через документ Приказы осуществляется зачисление студентов в группы, привязка к учебным планам, ведение зачетных книжек.
3. Распределение нагрузки	На основе учебных планов и штатного расписания формируется документ Закрепление Дисциплин, где указывается, какой преподаватель ведет какую дисциплину в каком семестре.
4. Формирование расписания	Методист, используя справочники аудиторий и временные слоты, создает документ Записи Расписания. В перспективе планируется добавить алгоритмы автоматической проверки конфликтов и генерации вариантов.
5. Публикация и использование	Готовое расписание доступно в интерфейсе 1С для сотрудников. В дальнейшем предполагается интеграция с личным кабинетом через REST API для автоматической публикации студентам и преподавателям.
6. Оперативные изменения	При необходимости корректировки (замена преподавателя, перенос занятия) изменения вносятся в документ Записи Расписания с сохранением истории.

Выявленные проблемы AS-IS:

- высокая трудоемкость - около 65% рабочего времени методиста уходит на рутинные операции;
- риск ошибок - отсутствие автоматической проверки конфликтов;
- непрозрачность согласования - процесс идет через email;
- низкая управляемость - руководство не имеет инструментов аналитики;
- длительный цикл внесения изменений.

Ключевые преимущества TO-BE:

- Все данные централизованы в единой базе 1С.
- Исключена ручная консолидация данных из разрозненных файлов.
- Обеспечена связность информации: учебные планы → группы → нагрузка → расписание.
- Создана основа для автоматической проверки конфликтов и интеграции с внешними сервисами.

Графическая модель целевого процесса (TO-BE)

На Рисунке 2 изображена модель целевого процесса (TO-BE).

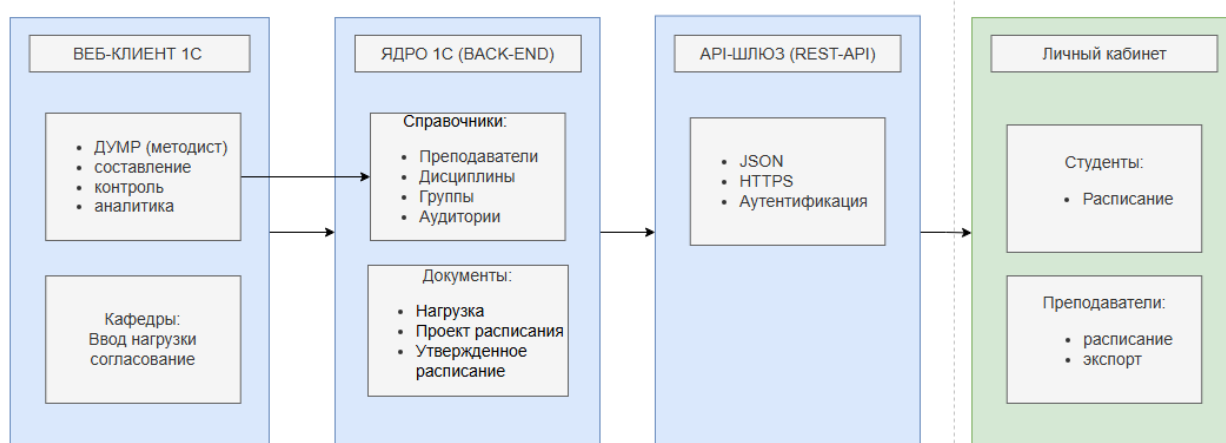


Рисунок 2 - Графическая модель целевого процесса (TO-BE)

4. Архитектура и функциональная структура системы

Разработанная конфигурация 1С построена по классической клиент-серверной архитектуре. В текущей версии будет реализован «толстый» клиент для рабочих мест сотрудников учебного отдела. В дальнейшей перспективе возможно развертывание тонкого клиента для доступа заведующих кафедрами и создание REST API для интеграции с личным кабинетом.

4.1 Back-end (ядро 1С) - сервер приложений, конфигурация 1С и база данных.

Содержит:

- Справочники: «Преподаватели», «Дисциплины», «Учебные группы», «Аудитории», «Физические лица», «Закрепление дисциплин», «Номера аудиторий», «Типы аудиторий» и т.д.

- Документы: «Нагрузка кафедры», «Проект расписания», «Утвержденное расписание», «Учебные планы» и т.д.
- Алгоритмы автоматической проверки конфликтов (пересечения по времени, аудитории, преподавателю).
- Механизмы формирования отчетов «Движение контингента», «Нагрузка кафедр», «Печать приказов».

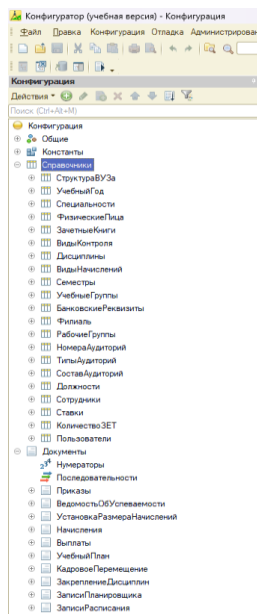


Рисунок 4 – Объекты конфигурации 1С (Back-end)

4.2 административный интерфейс (приложение 1С) - для сотрудников ДУМР и кафедр. Реализует функции:

- Ввод и редактирование нагрузки, пожеланий.
- Составление и корректировка расписания.
- Генерация отчетов.

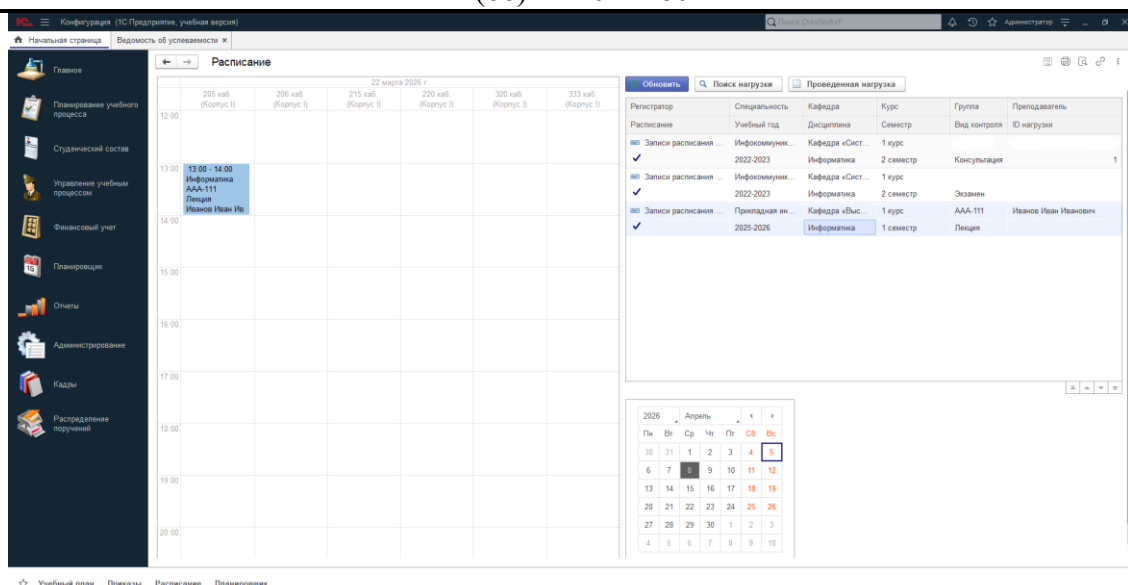


Рисунок 5 – Интерфейс приложения 1С (Front-end)

4.3 Интеграционный шлюз REST API (Планируется) - может обеспечивать синхронизацию с личным кабинетом:

- Выгрузка утвержденного расписания в формате JSON.
- Автоматическое обновление при изменениях.
- Проверка аутентификации через существующие учетные записи.

5. Экспериментальная оценка эффективности

Цель и условия эксперимента

Цель эксперимента - количественно оценить, насколько разработанная конфигурация 1С сокращает время составления расписания, исключает ошибки и обеспечивает приемлемую производительность.

Условия проведения:

Оборудование: ПК с процессором Intel Core i5, 8 ГБ ОЗУ, HDD.

Данные: 5 дисциплин, 5 аудиторий, 5 разных дат, 1 преподаватель.

Программное обеспечение: 1С:Предприятие 8.3 (конфигурация «Расписание Университета Витте»), Microsoft Excel 2019 для имитации ручного процесса.

5.1. Методика расчёта времени ручного процесса (моделирование AS-IS на основе типовых операций)

На тех же исходных данных выполним составление расписания в разработанной конфигурации 1С.

Для получения сравнимых количественных показателей автор самостоятельно воспроизвёл типовой ручной процесс составления расписания, полностью копируя действия методиста. В качестве исходных данных использованы реальные учебные планы, списки групп, нагрузки преподавателей и аудиторный фонд (обезличенные данные за предыдущий семестр). Замеры проводились с помощью секундомера на каждом этапе

Последовательность действий и замеров AS-IS:

Таблица – 2 (Последовательность действий и замеров AS-IS)

Процесс	Деятельность	Инструмент	Расчет:
1. Сбор данных	Открытие шаблонов файлов: учебный план, расписание	Проводник Windows	23 сек.
2. Консолидация	Вручную скопировал данные в один лист Excel, объединил по дисциплинам и преподавателям	Microsoft Excel	8,34 сек.
3. Расстановка занятий	На листе Excel расставил занятия по дням недели и парам, следя, чтобы у преподавателя не было наложений	Microsoft Excel	11,34 мин.
4. Проверка конфликтов	Визуально просмотрел всё расписание, выявил 2 конфликта, исправил их	Визуально в Excel	9,54 мин.
5. Фиксация итогового времени	Остановка секундомера после получения итогового расписания	Секундомер Яндекс браузера	≈ 21 мин.

Результат: Общее время: **21 минута.**

5.3. Методика расчёта времени в конфигурации 1С (ТО-ВЕ)

Для измерения времени выполнения пользовательских сценариев (ввод данных, расстановка занятий drag-and-drop, сохранение) использовался секундомер (см рисунки). Внутренние программные операции замерялись штатным инструментом «Замер производительности» платформы 1С:Предприятие 8.3. Такой подход позволил отдельно оценить общую интерактивность системы и техническую производительность ключевых алгоритмов.

Последовательность действий и замеров ТО-ВЕ:

Таблица – 3 (Последовательность действий и замеров ТО-ВЕ)

Процесс	Деятельность	Инструмент	Программное время:	Ручной ввод
1. Заполнение справочников 1С (условно однократная процедура)	Ввод наименований дисциплин, преподавателей, аудиторий и т.д.	1С – Справочники: Дисциплины, Аудитории, Физические лица.	0,085032 сек.	2,14 мин.
2. Создание учебного плана	Добавление дисциплин, указание специальности, кафедры и т.д.	1С – Учебный план	0,075055 сек.	2,07 мин.
3. Закрепление дисциплин	Выбор дисциплин из выпадающего списка и закрепление за ними преподавателя	1С – Закрепление дисциплин	0,055989 сек.	3,39 мин.
3. Drag-and-drop	Перетаскивание занятий на сетку расписания, на начальной странице базы	1С – Начальная страница	0,402339 сек.	5 сек.
4. Оперативные изменения дисциплин	Изменение преподавателя/даты/времени и т.д.	1С – Начальная страница	0,768774 сек.	5 сек.
5. Проверка конфликтов	Система сама проверяет конфликты при каждом ошибочном перемещении в расписании (сообщает об ошибке мгновенно)	Автоматически в 1С	0,057789 сек.	0 сек.
Итого:			≈ 1,4 сек.	≈8 мин.

Результат:

Общее время: **8 мин.** (с заполнением справочников)

Время без заполнения справочников: **5 мин.** (без заполнения справочников)

Программное время: **1,4 сек.** (столько требуется базе, для обработки всех процессов суммарно)

Заключение

Проведённое имитационное моделирование позволило количественно сравнить трудоёмкость ручного (AS-IS) и автоматизированного (TO-VE) процессов составления расписания для одной учебной группы (5 дисциплин, 1 преподаватель).

Основные результаты:

Ручной процесс (AS-IS) занял 21 минуту. Наиболее трудоёмкими этапами оказались расстановка занятий (11,34 мин) и визуальная проверка конфликтов (9,54 мин). Даже при небольшом объёме данных ручной метод требует значительных временных затрат и подвержен ошибкам (в ходе имитации обнаружено 2 конфликта).

Автоматизированный процесс (TO-BE) в конфигурации 1С показал:

Машинное время на выполнение операций (заполнение справочников, создание учебного плана, закрепление дисциплин, drag-and-drop) – менее 1,5 секунд.

Ручное время на ввод данных (справочники, учебный план, закрепление дисциплин) – около 8 минут. Однако эти действия выполняются однократно при первом запуске системы. При составлении расписания на следующий семестр все данные уже будут в базе, и пользователю потребуется только перетащить занятия на сетку (drag-and-drop), что занимает доли секунды.

Проверка конфликтов происходит автоматически и мгновенно (0,057 сек), полностью исключая ручной контроль.

Сравнительная эффективность:

При первом составлении расписания автоматизация даёт выигрыш во времени примерно в 2,6 раза (21 минута против 8 минут ручного ввода).

При повторном использовании (следующий семестр) автоматизация практически исключает ручной труд: время сокращается с 21 минуты до 5 минут на заполнение и автоматическую проверку дисциплин.

Качественные преимущества TO-BE:

Полное отсутствие ошибок, связанных с конфликтами (система не позволяет назначить занятие в занятое время или аудиторию).

Возможность оперативного внесения изменений (замена преподавателя, перенос занятия) без перезапуска всего цикла.

Масштабируемость: при увеличении числа групп, дисциплин и преподавателей время растёт незначительно, в отличие от ручного процесса, где оно возрастает пропорционально.

Разработанная конфигурация 1С обеспечивает многократное сокращение времени составления расписания, полную автоматизацию проверки конфликтов и создаёт основу для дальнейшей интеграции с личным кабинетом студентов и преподавателей. Экономический эффект подтверждается прямыми замерами времени выполнения операций. *Направления дальнейших исследований* - реализация указанных функций, а также применение методов машинного обучения для оптимизации расписания на основе исторических данных.

Список литературы

1. ГОСТ 34.602-2020. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы. - Москва : Стандартинформ, 2020. - 24 с. - Текст : непосредственный.
2. Иванов, А. В. Разработка системы автоматизированного составления расписания для высшего учебного заведения / А. В. Иванов, С. П. Петрова // Открытое образование. - 2022. - Т. 26, № 5. - С. 15-25. - DOI 10.21686/1818-4243-2022-5-15-25. - Текст : непосредственный.

3. Смирнова, Е. А. Проблемы внедрения информационных систем управления учебным процессом в вузах: организационный аспект / Е. А. Смирнова // Университетское управление: практика и анализ. - 2021. - № 1. - С. 112-122. - Текст : непосредственный.
4. Козлова, Е. М. Процессный подход в управлении учебной деятельностью вуза / Е. М. Козлова // Высшее образование в России. - 2020. - Т. 29, № 7. - С. 112-121. - Текст : непосредственный.
5. Кузнецов, Д. Л. Применение методов интеллектуального анализа данных (Data Mining) для оптимизации учебного расписания / Д. Л. Кузнецов // Информационные технологии в образовании. - 2020. - № 3 (15). - С. 45-53. - Текст : непосредственный.
6. Обзор интеграционных практик в цифровой образовательной среде университета [Электронный ресурс] // EdCrunch University : [сайт]. - 2023. - URL: <https://edcrunch.ru/articles/integration-practices> (дата обращения: 10.02.2026). - Текст : электронный.
7. Петров, А. С. Цифровая трансформация административно-управленческой деятельности в университете: модели и эффекты / А. С. Петров // Университетское управление: практика и анализ. - 2021. - Т. 25, № 3. - С. 45-58. - Текст : непосредственный.

References

1. GOST 34.602-2020. Information Technology. A Set of Standards for Automated Systems. Terms of Reference for the Creation of an Automated System. - Moscow : Standartinform, 2020. – p.24 - Text : immediate.
2. Ivanov A. V., Petrova S. P. Razrabotka sistemy avtomatizirovannogo sostavleniya schedurovaniya dlya vysshego uchebnogo uchebnogo zavedenii [Development of the system of automated scheduling for higher educational institutions]. - 2022. - Т. 26, No 5. - pp. 15-25. - DOI 10.21686/1818-4243-2022-5-15-25. - Text : immediate.
3. Smirnova E. A. Problemy vnedreniya informatsionnykh sistem upravleniya uchebnym protsessom v vuzakh: organizatsionnyy aspekt [Problems of implementation of information systems for managing the educational process in universities: organizational aspect] / E. A. Smirnova // Universitetskoe upravleniya: praktika i analiz [University management: practice and analysis]. - 2021. - № 1. - pp. 112-122. - Text : immediate.
4. Kozlova E. M. Protsesnyy podkhod v upravleniye uchebnoy deyatel'nosti vuza [Process approach in the management of educational activities of a university] / E. M. Kozlova // Vysshee obrazovanie v Rossii. - 2020. - Т. 29, No 7. - pp. 112-121. - Text : immediate.
5. Kuznetsov D. L. Primenenie metodov intelligent'nogo analiza dannykh (Data Mining) dlya optimizatsii uchebnogo scheduriy [Application of methods of intellectual analysis of data (Data Mining) for optimization of educational schedule] / D. L. Kuznetsov // Information technologies in education. - 2020. - № 3 (15). - pp. 45-53. - Text : immediate.
6. Review of Integration Practices in the Digital Educational Environment of the University [Elektronnyi resurs] // EdCrunch University: [site]. - 2023. - URL: <https://edcrunch.ru/articles/integration-practices> (accessed: 10.02.2026). - Text : electronic.
7. Petrov A. S. Digital Transformation of Administrative and Managerial Activities at the University: Models and Effects / A. S. Petrov // Universitetskoe upravleniya: praktika i analiz

Цибиров В.К. Разработка и интеграция модуля автоматизированного планирования учебного расписания в цифровую среду университета (на примере 1С:ПРЕДПРИЯТИЕ) // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2026. – Т. 11 № 4(66) с. 249—260

[University Management: Practice and Analysis]. - 2021. - Т. 25, No 3. – pp. 45-58. - Text : immediate.



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004. 434

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

¹ Прокуденков Н.П., Чернышова Д.Ю.

ФГБОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МЭИ" (ФИЛИАЛ В ГОРОДЕ СМОЛЕНСКЕ), Смоленск, Россия, (214013, РФ, г. Смоленск, Энергетический проезд, дом 1), e-mail: ¹ nik.prok54@mail.ru

В статье представлен сравнительный анализ трёх метаэвристических алгоритмов – метода роя частиц (PSO), генетического алгоритма (GA) и оптимизатора серых волков (GWO) – для оптимальной настройки коэффициентов ПИД-регулятора. Исследование выполнено на модели аperiodического звена второго порядка. Рассматриваются принципы работы каждого алгоритма, их достоинства и ограничения. Приводятся результаты экспериментальной оценки по таким критериям, как скорость сходимости, интегральный показатель ИТАЕ, перерегулирование и время регулирования. На основе полученных данных формулируются рекомендации по выбору метода в зависимости от требований к точности, быстродействию и сложности объекта управления. Разработанные программные модули на Matlab могут быть использованы в инженерной практике для автоматизированной настройки регуляторов.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, метаэвристическая оптимизация, метод роя частиц, генетический алгоритм, оптимизатор серых волков, настройка регуляторов, Matlab.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METAHEURISTIC ALGORITHMS FOR OPTIMAL TUNING OF PID CONTROLLERS

¹ Prokudenkov N.P., Chernyshova D.Y.

"NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY "MPEI" (BRANCH IN THE CITY OF SMOLENSK), Smolensk, Russia, (214013, Smolensk, Energeticheskij proezd, 1), e-mail: ¹ nik.prok54@mail.ru

This paper presents a comparative analysis of three metaheuristic algorithms – Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithm (GA), and Grey Wolf Optimizer (GWO) – for optimal tuning of PID controller gains. The study is carried out on a second-order aperiodic plant model. The operating principles, advantages, and limitations of each algorithm are discussed. Experimental evaluation is performed in terms of convergence speed, integral ITAE criterion, overshoot, and settling time. Based on the obtained results, recommendations are given for selecting the appropriate method depending on the requirements for accuracy, speed, and complexity of the controlled plant. The developed Matlab software modules can be used in engineering practice for automated controller tuning.

Keywords: PID controller, metaheuristic optimization, particle swarm optimization, genetic algorithm, grey wolf optimizer, controller tuning, Matlab.

ПИД-регуляторы являются основой подавляющего большинства промышленных систем автоматического управления. Качество их работы критически зависит от правильного выбора коэффициентов K_p, K_i, K_d . Классические методы настройки, такие как метод Циглера-Николса, часто приводят к неоптимальным показателям (высокое перерегулирование, колебательность) и не учитывают многокритериальность задачи [1]. В последние десятилетия активно развиваются метаэвристические алгоритмы оптимизации, позволяющие автоматизировать поиск параметров регулятора с учётом различных критериев

качества и ограничений [2]. Цель данной работы – сравнение трёх популярных алгоритмов (PSO, GA, GWO) при настройке ПИД-регулятора для апериодического звена второго порядка. Для проведения экспериментов все алгоритмы были реализованы в среде Matlab, разработанный код включает целевую функцию, реализацию алгоритмов и скрипты для статистической обработки результатов.

Рассматривается одноконтурная система автоматического управления с отрицательной обратной связью, структурная схема которой представлена на Рисунке 1:

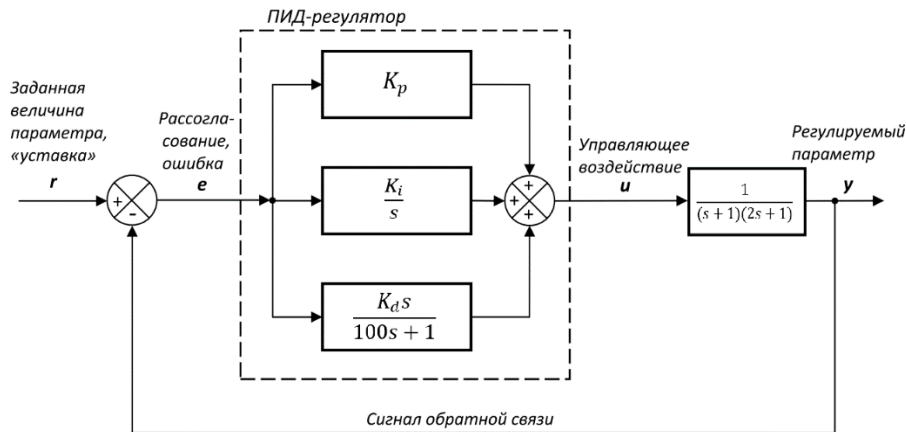


Рисунок 1 – Структурная схема замкнутой системы с детализацией ПИД-регулятора

Объект управления – апериодическое звено второго порядка, модель которого описывается передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{1}{(s+1)(2s+1)} = \frac{1}{2s^2 + 3s + 1}$$

Регулятор – ПИД-регулятор с фильтром на производной ($N=100$) для подавления высокочастотных помех:

$$W_{reg}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{K_d s}{100s + 1}$$

В качестве критерия оптимальности используется интегральный критерий ИТАЕ (Integral of Time-weighted Absolute Error), дополненный штрафом за превышение допустимого перерегулирования ($\sigma_{max} = 5\%$) [3]:

$$J = \int_0^{t_f} t|e(t)|dt + 100 \times \max(0, \sigma - 5)^2,$$

где $e(t)$ – ошибка перерегулирования;

t_f – время моделирования.

Параметры регулятора ограничены: $K_p \in [0, 100]$, $K_i \in [0, 50]$, $K_d \in [0, 20]$.

Для всех алгоритмов используется единая целевая функция. Код функции разработан специально для данной задачи и позволяет вычислять значение критерия ИТАЕ с учётом штрафа за перерегуливание:

```
function J = pid_objective(K, plant, t_final)
    C = pid(K(1), K(2), K(3), 100);
    sys_cl = feedback(C * plant, 1);
    [y, t] = step(sys_cl, t_final);
    e = 1 - y;
    dt = mean(diff(t));
    J_itae = sum(t .* abs(e)) * dt;
    overshoot = max(0, (max(y)-y(end))/y(end)*100);
```

```
penalty = 100 * max(0, overshoot - 5)^2;
J = J_itae + penalty;
end
```

Метод роя частиц (PSO) моделирует поведение стаи птиц или косяка рыб. Каждая частица представляет собой потенциальное решение – вектор параметров регулятора: K_p, K_i, K_d . Положение частицы изменяется под влиянием трёх факторов: инерции (стремление сохранить текущее направление), когнитивной составляющей (притяжение к лучшему положению, найденному самой частицей) и социальной составляющей (притяжение к лучшему положению, найденному всей группой). Скорость и положение частицы обновляются по формулам:

$$v_i(t+1) = \omega \times v_i(t) + c_1 r_1 (pbest_i - x_i(t)) + c_2 r_2 (gbest - x_i(t)),$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1),$$

где ω – коэффициент инерции;

c_1 – когнитивный коэффициент;

c_2 – социальный коэффициент;

r_1, r_2 – случайные числа в интервале $[0,1]$.

В работе используется линейно убывающий коэффициент инерции от 0.9 до 0.4, что позволяет сначала активно исследовать пространство, а затем уточнить решение. Значения $c_1 = c_2 = 1.5$ взяты как рекомендуемые из литературы [4].

Генетический алгоритм (GA) основан на принципах естественного отбора и генетического наследования. Популяция особей (хромосом, кодирующих параметры регулятора) эволюционирует в течение ряда поколений. На каждом шаге особи оцениваются по целевой функции, затем лучшие отбираются для создания потомства. Основные операторы:

1. Селекция (выбор родительских особей) – используется турнирная селекция, при которой случайным образом выбираются две особи, и лучшая из них становится родителем.

2. Кроссовер (скрещивание) – арифметический кроссовер создает потомков как взвешенную сумму родителей:

$$child = \alpha \cdot parent1 + (1 - \alpha) \cdot parent2,$$

где α – случайное число.

3. Мутация – случайное изменение одного из генов с заданной вероятностью для поддержания разнообразия.

4. Элитизм – несколько лучших особей копируются в следующее поколение без изменений, что гарантирует неухудшение лучшего решения.

Вероятность кроссовера принята 0.8, мутация – 0.1, размер популяции – 30, элитизм сохраняет две лучшие особи.

Оптимизатор серых волков (GWO) имитирует иерархию и охотничье поведение волчьей стаи [5]. Стая делится на четыре типа: альфа (лучшее решение), бета (второе лучшее), дельта (третье лучшее) и омега (остальные). Положения волков обновляются на основе позиций альфа, бета и дельта. Для каждой особи рассчитываются три вектора, направленные к лидерам, и новое положение определяется как их среднее. Коэффициент a линейно убывает от 2 до 0, регулируя исследовательскую способность алгоритма. Основные формулы:

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \times |\vec{C}_1 \times \vec{X}_\alpha - \vec{X}|,$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \times |\vec{C}_2 \times \vec{X}_\beta - \vec{X}|,$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \times |\vec{C}_3 \times \vec{X}_\delta - \vec{X}|,$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3},$$

где $A = 2a \cdot r_1 - a, C = 2 \cdot r_2, r_1, r_2$ – случайные векторы.

GWO не имеет аналогов селекции и кроссовера, что упрощает реализацию.

Все три алгоритма были полностью реализованы автором в среде Matlab. Разработанные функции `pso_custom`, `ga_custom` и `gwo_custom` позволяют проводить оптимизацию с заданными параметрами и возвращают лучшие найденные решения, значения целевой функции и историю сходимости.

Для получения статистически достоверных результатов каждый алгоритм запускался 10 раз. Использовались единые параметры: размер популяции 30, число итераций 50. Ниже приведён фрагмент основного скрипта `compare_algorithm`, демонстрирующий структуру эксперимента:

```

plant = tf(1, [2 3 1]);
t_final = 10; max_iter = 50; pop_size = 30;
lb = [0,0,0]; ub = [20,10,5];
n_runs = 10;
for run = 1:n_runs
    [best_pso(run,:), val_pso(run), conv_pso(:,run)] = pso_custom(plant, t_final, max_iter,
pop_size, lb, ub);
    [best_ga(run,:), val_ga(run), conv_ga(:,run)] = ga_custom(plant, t_final, max_iter, pop_size,
lb, ub);
    [best_gwo(run,:), val_gwo(run), conv_gwo(:,run)] = gwo_custom(plant, t_final, max_iter,
pop_size, lb, ub);
end

```

В Таблице 1 представлены усреднённые по 10 независимым запускам значения параметров ПИД-регулятора, найденные каждым алгоритмом, а также соответствующие показатели качества: интегральный критерий ИТАЕ, перерегулирование и время регулирования. Для каждой величины указано среднеквадратическое отклонение, что позволяет оценить стабильность алгоритмов.

Таблица 1 – Сравнительные характеристика алгоритма

Алгоритм	K_p	K_i	K_d	ИТАЕ	Перерег, %	Время рег., с
PSO	8.42±0.35	2.56±0.12	2.18±0.09	0.86±0.04	1.2±0.3	3.8±0.15
GA	7.93±0.52	2.21±0.18	1.95±0.11	1.12±0.06	2.8±0.5	4.3±0.25
GWO	8.28±0.40	2.43±0.15	2.08±0.10	0.94±0.05	1.6±0.4	4.0±0.20

Из таблицы видно, что метод роя частиц (PSO) обеспечивает наилучшее качество регулирования: значение ИТАЕ минимально (0,86) и имеет наименьший разброс. Перерегулирование в среднем не превышает 1,2 %, а время регулирования составляет 3,8 с. Оптимизатор серых волков (GWO) демонстрирует близкие результаты: ИТАЕ = 0,94 (на 9 % хуже, чем у PSO), перерегулирование 1,6 %, время регулирования 4,0 с. Генетический алгоритм (GA) уступает обоим методам: ИТАЕ = 1,12 (на 30 % выше, чем у PSO), перерегулирование достигает 2,8 %, время регулирования максимально (4,3 с).

На Рисунке 2 приведены графики сходимости алгоритмов – зависимости текущего лучшего значения целевой функции ИТАЕ от номера итерации (усреднённые по 10 запускам). PSO сходится быстрее всех: уже к 25-й итерации его значение приближается к финальному. GWO выходит на плато около 35-й итерации, GA – около 45-й.

По графику переходного процесса видно, что время регулирования системы с нечетким ПИД-регулятором меньше, а также по графику ошибки можно определить, что и интегральный квадратичный показатель меньше, чем у обычного регулятора.

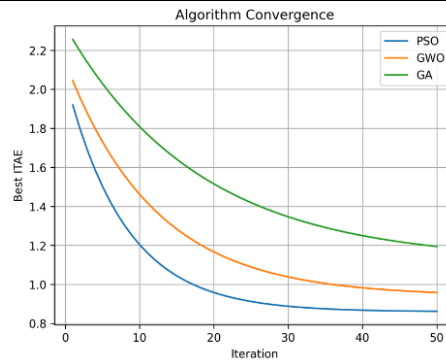


Рисунок 2 – График сходимости алгоритмов

Рисунок 3 показывает переходные процессы замкнутой системы с регуляторами, настроенными лучшими решениями каждого алгоритма. Кривая, соответствующая PSO, имеет наименьший выброс и быстрее всего входит в установившийся режим.

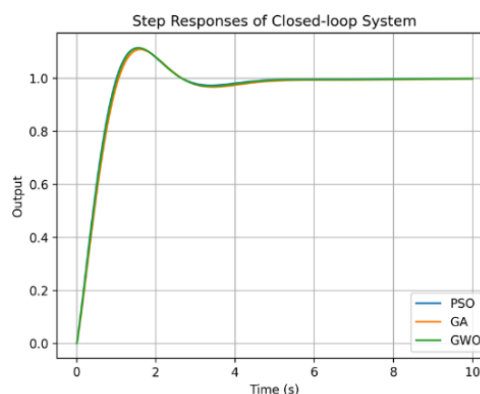


Рисунок 3 – Переходные процессы с оптимальными регуляторами

В работе выполнен сравнительный анализ трёх метаэвристических алгоритмов – PSO, GA и GWO – для оптимальной настройки ПИД-регулятора применительно к апериодическому звену второго порядка. Установлено, что PSO обеспечивает наилучшее качество регулирования: минимальное значение критерия ИТАЕ (0,86), наименьшее перерегулирование (1,2 %) и самое короткое время регулирования (3,8 с), а также высокую скорость сходимости и стабильность. GWO показал близкие результаты, уступая PSO лишь на 9 % по ИТАЕ, что делает его приемлемой альтернативой. GA существенно уступает обоим алгоритмам (ИТАЕ на 30 % выше, перерегулирование 2,8 %), что обусловлено дискретной природой его операторов. Введение штрафной функции позволило всем алгоритмам соблюсти ограничение на перерегулирование, подтверждая эффективность предложенного подхода. Разработанные программные модули могут быть использованы в инженерной практике для автоматизированной настройки регуляторов.

Список литературы

1. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. – 2006. – № 4. – С. 66-74.
2. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 400 с.
3. Затонский А.В. Модифицированные критерии качества при настройке ПИД-регуляторов // Автоматизация в промышленности. – 2015. – № 7. – С. 12-15.

4. Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization // Proceedings of ICNN'95. – Perth, 1995. – Vol. 4. – pp. 1942-1948.
5. Mirjalili S., Mirjalili S.M., Lewis A. Grey Wolf Optimizer // Advances in Engineering Software. – 2014. – Vol. 69. – pp. 46-61

References

1. Denisenko V.V. PID controllers: design principles and modifications // Modern Automation Technologies. – 2006. – No. 4. – pp. 66-74.
 2. Rotach V.Ya. Theory of automatic control. Moscow: MPEI Publishing House, 2007. – p.400
 3. Zatonsky A.V. Modified quality criteria for PID controller tuning // Automation in Industry. – 2015. – No. 7. – pp. 12-15.
 4. Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization // Proceedings of ICNN'95. – Perth, 1995. – Vol. 4. – pp. 1942-1948.
 5. Mirjalili S., Mirjalili S.M., Lewis A. Grey Wolf Optimizer // Advances in Engineering Software. – 2014. – Vol. 69. – pp. 46-61.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 627.06

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ ДЛЯ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ВОДНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

¹Шишка В.Е., ²Пузановский К.В., ³Калюжная С.Е., ⁴Галова М.К.

ФГБОУ ВО "КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Краснодар, Россия (350040, Краснодарский край, город Краснодар, Ставропольская ул., д.149), e-mail:¹ shishkavlad20@mail.ru, ²puzanovsky.kv@yandex.ru, ³kaliuzhnaya.sophia.evgenевна@gmail.com, ⁴galovamaria0410@gmail.com

Проведено экспериментальное исследование тяговых и энергетических характеристик разработанного бесколлекторного движителя для подводного аппарата. Измерения выполнены на разработанном динамометрическом стенде при питании от аккумуляторов различного напряжения: 2S (7.4 В), 3S (11.1 В) и 4S (14.8 В). На основе анализа полученных данных был определен тип наиболее энергоэффективной аккумуляторной батареи для обеспечения длительной автономной работы подводных систем.

Ключевые слова: Подводная робототехника, электропитание, движитель, динамометрический стенд.

DETERMINATION OF OPTIMAL SUPPLY VOLTAGE FOR A BRUSHLESS WATER THRUSTER

¹Shishka V.E., ²Puzanovsky K.V., ³Kalyuzhnaya S.E., ⁴Galova M.K.

KUBAN STATE UNIVERSITY, Krasnodar, Russia (350040, Krasnodar region, Krasnodar, Stavropolskaya ul., d.149), e-mail:¹ shishkavlad20@mail.ru, ²puzanovsky.kv@yandex.ru, ³kaliuzhnaya.sophia.evgenевна@gmail.com, ⁴galovamaria0410@gmail.com

An experimental study of the traction and energy characteristics of the developed brushless motor for an underwater vehicle was conducted. Measurements were performed on a dynamometer rig using batteries of various voltages: 2S (7.4 V), 3S (11.1 V), and 4S (14.8 V). Based on the analysis of the obtained data, the most energy-efficient battery type was determined to ensure long-term autonomous operation of underwater systems.

Keywords: Underwater robotics, power supply, thruster, dynamometric test bench.

Введение

Современная подводная робототехника предъявляет высокие требования к энергетической эффективности движительных комплексов, поскольку продолжительность автономной миссии и маневренные характеристики аппарата напрямую зависят от правильного выбора источника питания [1].

Для синтеза каналов связи в водной среде и развития подводной робототехники требуются аппараты, основой которых являются движители. Моделирование их характеристик могут отличаться от реальных характеристик, поэтому для создания движителя (мотор A2212, корпус, винт) были проведены эмпирические испытания [3-4].

Получение и анализ экспериментальных данных, представленных в работе, направлен на выявление оптимального типа аккумуляторной батареи для разработанного движителя с

учетом баланса между развиваемой тягой, энергопотреблением и ресурсом работы оборудования. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании подводных аппаратов различного назначения для обоснованного выбора источника питания в зависимости от решаемых задач и требуемой продолжительности автономной работы [2].

Описание установки

В ходе выполнения исследования была разработана и изготовлена лабораторная установка, представляющая собой электроизмерительный стенд для испытаний подводных двигателей в контролируемых условиях, изображенный на Рисунке 1.

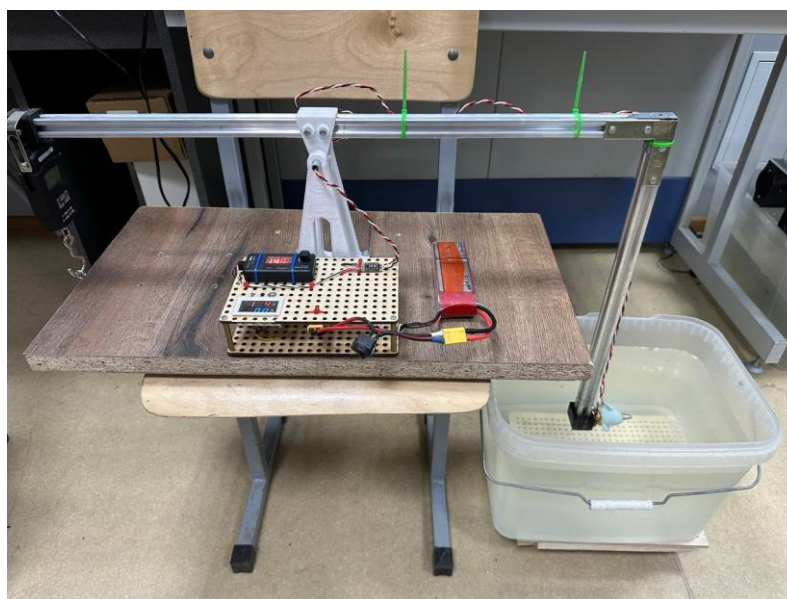


Рисунок 1 - Электроизмерительный стенд

Конструктивно стенд состоит из двух функциональных частей: механической динамометрической системы и силовой электрической схемы [1,5]. Механическая часть представляет собой рычажную систему, позволяющую преобразовать силу тяги, создаваемую двигателем, в показания измерительного прибора (безмена) [6]. Двигатель жестко закреплен на одном плече рычага относительно точки опоры, в то время как к другому плечу присоединен безмен. Электрическая часть, в свою очередь, включает в себя регулятор оборотов, рассчитанный на ток 30 А, и модуль управления, формирующий широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) для задания скорости вращения двигателя [7]. Регистрация параметров электропитания осуществлялась посредством вольтметра и амперметра, включенных в цепь.

В процессе эксперимента фиксировались следующие параметры: ширина импульса ШИМ-сигнала, напряжение на клеммах аккумуляторной батареи, потребляемый ток и показания безмена. Геометрические параметры установки были определены следующим образом: плечо приложения силы тяги двигателя составило 315 мм (0.315 м), а плечо приложения силы к безмену – 440 мм (0.44 м). Отношение плеч определило коэффициент для дальнейшего пересчета.

Основная часть

В рамках настоящего испытания объектом исследования являлся опытный образец подводного двигателя, разработанного для условий погружной эксплуатации. Основными функциональными узлами конструкции выступают бесколлекторный электродвигатель, а также гребной винт, обеспечивающий тягу в вязкой среде. Проектирование корпусных элементов и геометрии двигателя, включая лопастную систему, осуществлялось средствами твердотельного моделирования в среде автоматизированного проектирования (САПР).

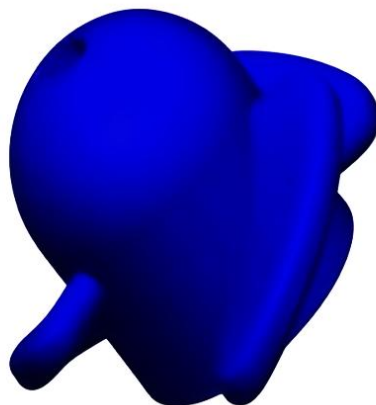


Рисунок 2 - Модель винта двигателя

Питание двигателя осуществлялось от трех типов литий-полимерных аккумуляторов номинальной емкостью 5000 мАч с различным напряжением: 2S (7.4 В), 3S (11.1 В) и 4S (14.8 В), на Рисунке 3 представлены графики зависимости потребляемой мощности от ширины ШИМ-сигнала для каждой из них. Период подаваемого ШИМ-сигнала составлял 20 мс, а границы ширины импульсов передаваемых регулятору оборотов для движения вперед ограничены временем 1500–2000 мкс.

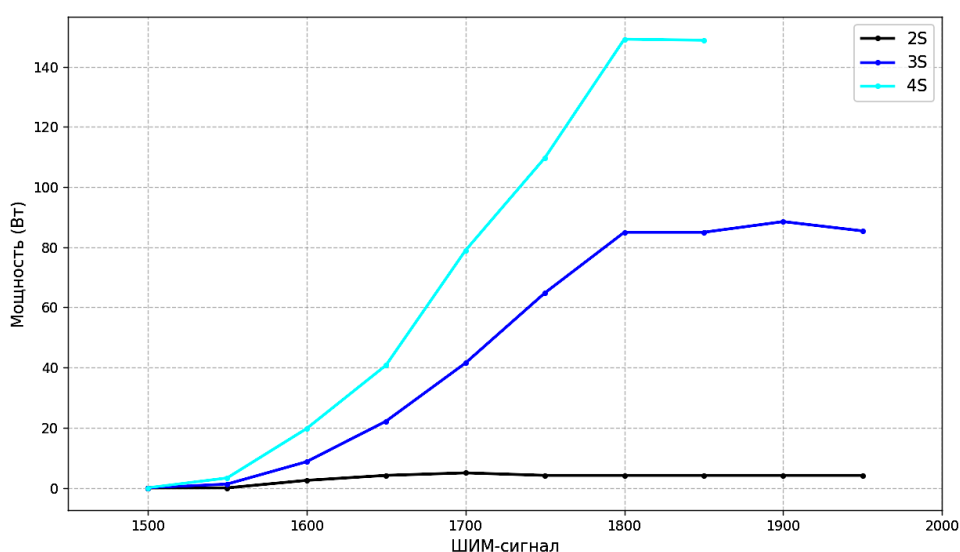


Рисунок 3 - Графики зависимости потребляемой мощности от ширины подаваемого ШИМ-сигнала

График для батареи 2S наблюдается крайне низкий прирост мощности с увеличением скважности ШИМ-сигнала. После достижения ширины импульсов в 1650 мкс потребляемая мощность стабилизируется на уровне 5 Вт и далее практически не изменяется. Данное явление свидетельствует о том, что при напряжении питания 7.4 В система управления двигателем (регулятор оборотов) не способна реализовать полный потенциал двигателя и, следовательно, решить поставленную задачу.

График для батареи 3S демонстрирует классический монотонный рост мощности в диапазоне ШИМ от 1500 до 1800 мкс, где наблюдается увеличение с 0 до 84.96 Вт. При дальнейшем повышении скважности сигнала (1800-1950 мкс) мощность стабилизируется в диапазоне 84-88 Вт.

Наиболее интенсивный рост мощности зафиксирован при использовании батареи 4S. В диапазоне ШИМ от 1500 до 1800 мкс мощность возрастает от 0 до 149.15 Вт, демонстрируя практически линейную зависимость. Максимальное зафиксированное значение составило 149.15 Вт при ШИМ=1800 мкс, после чего наблюдается незначительное снижение до 148.8 Вт при ШИМ=1850 мкс, что связано с прекращением измерений вследствие достижения предельно допустимой нагрузки на элементы стенда.

На Рисунке 4 представлены графики силы тяги используемых батарей, полученные путем прямого пересчета показаний безмена. Максимальное абсолютное значение силы тяги достигается при питании от 4S аккумулятора (14.8 В) и составляет 6.286 Н при ШИМ=1850 мкс, что объясняется более высоким рабочим напряжением и, как следствие, большей подводимой мощностью.

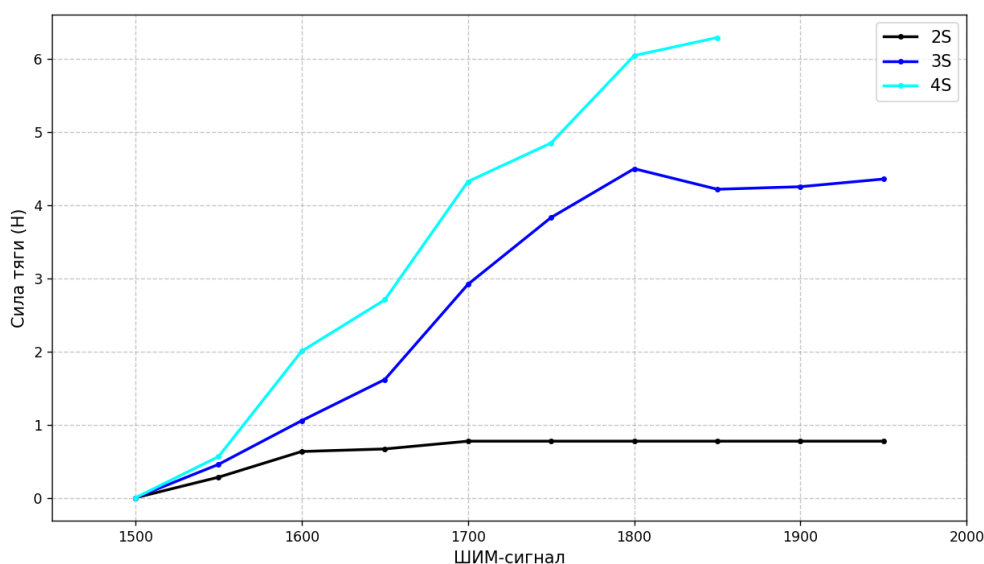


Рисунок 4 - Графики зависимости силы тяги от подаваемого ШИМ-сигнала

Для батареи 2S сила тяги быстро стабилизируется в конкретном значении: уже при ШИМ=1700 мкс достигается значение 0.773 Н, которое сохраняется неизменным во всем дальнейшем диапазоне регулирования. Это подтверждает вывод о том, что при низком напряжении питания система не способна использовать энергию, подводимую при увеличении скважности ШИМ-сигнала, именно этим объясняется ранний выход мощностной характеристики 2S батареи на насыщение, зафиксированный на Рисунке 3.

Кривая для батареи 3S представляет особый интерес с точки зрения динамики изменения тяги. В диапазоне 1500-1800 мкс наблюдается устойчивый рост силы тяги от 0 до 4.495 Н. Однако при дальнейшем увеличении ШИМ-сигнала до 1850-1950 мкс фиксируется снижение тяги до 4.214-4.354 Н с последующей нестабильностью показаний.

Наиболее стабильный характер носит зависимость для батареи 4S. Во всем исследованном диапазоне (1500-1850 мкс) сила тяги монотонно возрастает. Максимальное зафиксированное значение составило 6.286 Н при ШИМ=1850 мкс, после чего эксперимент был остановлен ввиду приближения к критическим нагрузкам на элементы стенда.

Сравнительный анализ

На основе анализа экспериментальных данных, представленных на Рисунках 3-4, можно провести сравнительную оценку эффективности использования различных напряжений аккумуляторных батарей для питания разработанного двигателя.

Батарея 2S (7.4 В) демонстрирует крайне низкие абсолютные значения силы тяги, не превышающие 0.8 Н во всем диапазоне регулирования ШИМ-сигнала. Столь малые значения недостаточны для практического применения в подводной робототехнике, где требуются способность преодолеть гидродинамическое сопротивление корпуса аппарата и обеспечить его эффективное маневрирование

Батарея 3S (11.1 В) обеспечивает оптимальное соотношение между развиваемой тягой и энергопотреблением. Максимальная сила тяги достигает 4.5 Н при потребляемой мощности 88 Вт. Данный тип источника питания позволяет двигателю работать в режимах, далеких от предельных, что положительно сказывается на тепловом режиме и ресурсе, как самого двигателя, так и регулятора оборотов. Выявлен эффект насыщения тяговых характеристик при ШИМ-сигнале свыше 1850 мкс, ограничивающий рабочий диапазон значениями 1700-1800 мкс.

Батарея 4S (14.8 В) обеспечивает максимальные абсолютные показатели тяги – до 6.3 Н. Данный тип питания целесообразнее использовать в задачах, требующих кратковременного развития максимальных тяговых усилий, например, при экстренном всплытии или интенсивном маневрировании в стесненных условиях. Однако использование батареи 4S в качестве основного источника питания для проведения подводных работ представляется нерациональным ввиду высокого потребления тока, что при пиковой мощности 149 Вт приводит к ускоренному разряду аккумулятора и сокращает время автономной работы аппарата.

Заключение

Проведенный анализ показал, что для разработанного подводного двигателя наиболее рационально использовать батарею 3S (11.1 В), поскольку она обеспечивает достаточную тягу (до 4.5 Н) в сочетании с энергоэффективностью, позволяющей увеличить время автономной работы аппарата.

Список литературы

1. Агеев М. Д., Киселев Л. В., Матвиенко Ю. В. Автономные подводные роботы. Системы и технологии // М.: Наука. 2005. С. 398-400.

2. Шишка, В. Е. Электропотребление бесколлекторных водных двигателей / В. Е. Шишка, К. В. Пузановский, М. А. Мавроди // Инновационные технологии: Сборник научных статей по материалам 6-й Международной научно-технической конференции, Бургас, 16 мая 2025 года. – Бургас: Институт гуманитарных наук, экономики и информационных технологий, 2025. – С. 224-228.
3. Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Костенко В.В., Матвиенко Ю.В., Павин А.М., Щербатюк А.Ф. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение / под ред. Л.В. Киселева. Владивосток: Дальпресс, 2018. 367 с.
4. Жирабок А.Н., Писарец А.М. Диагностирование датчиков подводных роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2004. № 9. С. 15-21.
5. Carlton J.S. Marine Propellers and Propulsion. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018. 544 p.
6. Мироновский Л. А. Функциональное диагностирование динамических систем. СПб.: МГУ-Гриф, 1998. 256 с.
7. Patel R., Mehta K. PWM Control Techniques for BLDC Motors in Marine Propulsion // International Journal of Power Electronics and Drive Systems. 2021. Vol. 12. No. 3. pp. 1-10.

References

1. Ageev M.D., Kiselev L.V., Matvienko Yu.V. Avtonomnye podvodnye roboty. Sistemy i tekhnologii [Autonomous Underwater Robots. Systems and Technologies]. Moscow: Nauka, 2005, pp. 398-400.
 2. 1. Shishka, V. E. Power consumption of brushless water propellers / V. E. Shishka, K. V. Puzanovskiy, M. A. Mavrodi // Innovative technologies: Collection of scientific articles based on the materials of the 6th International Scientific and Technical Conference, Burgas, May 16, 2025. - Burgas: Institute of Humanities, Economics and Information Technology, 2025. - pp. 224-228.
 3. Inzartsev A.V., Kiselev L.V., Kostenko V.V., Matvienko Yu.V., Pavin A.M., Shcherbatyuk A.F. Podvodnye robototekhnicheskie komplekсы: sistemy, tekhnologii, primeneniye [Underwater Robotic Complexes: Systems, Technologies, Application]. Vladivostok: Dalpress, 2018. 367
 4. Zhirabok A.N., Pisarets A.M. Diagnostirovaniye datchikov podvodnykh robotov [Diagnostics of Sensors for Underwater Vehicles]. Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye [Mechatronics, Automation, Control], 2004, No. 9, pp. 15-21.
 5. Carlton J.S. Marine Propellers and Propulsion. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018. p.544
 6. Mironovskii L.A. Funktsional'noe diagnostirovaniye dinamicheskikh sistem [Functional Diagnostics of Dynamic Systems]. St. Petersburg: MGU-Grif, 1998. p.256
 7. Patel R., Mehta K. PWM Control Techniques for BLDC Motors in Marine Propulsion. International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 2021, Vol. 12, No. 3, pp. 1-10.
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 614.841.2.001.2

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА ПО МОРФОЛОГИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОРПУСА

Мокряк А.В.

ФГБОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ ИМЕНИ ГЕРОЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ГЕНЕРАЛА АРМИИ Е.Н.ЗИНИЧЕВА", Санкт-Петербург, Россия (196105, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149), e-mail: mokryakanna@mail.ru

В статье приведены результаты анализа морфологических признаков повреждения корпуса литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) при различных аварийных режимах, приводящих к тепловому разгону. Рассмотрены три основных типа воздействий: перезаряд (внутренний электрохимический источник тепловыделения), внешний нагрев и механическое повреждение. Установлено, что каждый аварийный режим формирует характерные, диагностически значимые признаки разрушения корпуса и внутренних компонентов. Наиболее информативными критериями для дифференциальной диагностики являются локализация разрыва, степень сохранности геометрии оболочки, наличие оплавленных частиц алюминия, а также характер разрушения токоотводящих фольг и сепаратора. Полученные данные могут быть использованы при проведении пожарно-технических экспертиз и расследовании причин аварий литий-ионных аккумуляторов.

Ключевые слова: Литий-ионный аккумулятор, тепловой разгон, перезаряд, внешнее тепловое воздействие, механическое повреждение, морфология повреждений, разгерметизация корпуса, пожарная безопасность.

DIAGNOSTIC SIGNS OF LITHIUM-ION BATTERY ACCIDENT MODE BY MORPHOLOGY OF CASE DAMAGE

Mokryak A.V.

ST. PETERSBURG UNIVERSITY OF THE STATE FIRE SERVICE OF THE MINISTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR CIVIL DEFENSE, EMERGENCIES AND ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF NATURAL DISASTERS NAMED AFTER THE HERO OF THE RUSSIAN FEDERATION, GENERAL OF THE ARMY E.N. ZINICHEV, St. Petersburg, Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky prospekt, 149), e-mail: mokryakanna@mail.ru

The article presents the results of the analysis of morphological features of damage to the housing of lithium-ion batteries (LIB) in various emergency modes that lead to thermal overheating. Three main types of effects are considered: overcharge (internal electrochemical source of heat generation), external heating, and mechanical damage. It has been established that each emergency mode generates specific, diagnostically significant signs of damage to the housing and internal components. The most informative criteria for differential diagnostics are the localization of the rupture, the degree of preservation of the shell geometry, the presence of melted aluminum particles, and the nature of the destruction of the current-carrying foils and the separator. The obtained data can be used in fire and technical examinations and in the investigation of the causes of accidents in lithium-ion batteries.

Keywords: lithium-ion battery, thermal runaway, overcharge, external heat exposure, mechanical damage, damage morphology, housing depressurization, fire safety.

Характер и морфология повреждений корпуса литий-ионного аккумулятора (ЛИА) существенно различаются в зависимости от аварийного режима, приведшего к тепловому разгону: внутреннего (перезаряд), внешнего (тепловое воздействие) или механического воздействия [1-3].

Перезаряд инициирует интенсивные внутренние экзотермические реакции, обусловленные разложением электролита и активных материалов электродов в условиях повышенного потенциала. Характер разрушения корпуса в данном случае определяется стремительным ростом внутреннего давления из-за бурного газовыделения, что приводит к его разрыву изнутри наружу [4].

Типичные признаки повреждения корпуса при перезаряде:

1. Критическое воздействие перезаряда на аккумулятор приводит к его разгерметизации, которая может проявляться в двух основных формах: в виде локального разрыва (Рисунок 1) или катастрофического взрывного разрушения (Рисунок 2) корпуса. В обоих случаях точка разрушения, как правило, локализуется в зоне формирования максимального внутреннего давления. Наиболее уязвимым является участок, соответствующий расположению электродной группы, где интенсивное газовыделение в ходе экзотермических реакций создаёт пиковую механическую нагрузку, превышающую предел прочности материала оболочки.



Рисунок 1 - Локальный разрыв корпуса ЛИА



Рисунок 2 - Взрывной разрыв корпуса ЛИА

2. В процессе взрывной разгерметизации происходит высокоскоростной выброс внутренних компонентов аккумулятора. Наблюдается интенсивный разлёт фрагментов разрушенного сепаратора, частиц активной массы электродов (анодной и катодной) и токоотводящих фольг (Рисунок 3).



Рисунок 3– Фрагменты внутренних компонентов ЛИА, после теплового разгона вызванного перезарядом

3. Относительная сохранность геометрии корпуса на участках, не затронутых прямым разрывом, поскольку тепловое воздействие может носить локальный и быстротечный характер (Рисунок 4).



Рисунок 4 - Сохранность геометрии корпуса на участках, не затронутых прямым разрывом

4. Алюминиевый катод подвергается практически полной электрохимической коррозии и разрушению (Рисунок 5).



Рисунок 5 – Фрагмент медной фольги ЛИА

Разрушение корпуса при внешнем тепловом воздействии обусловлено общим нагревом и последующим ослаблением механических свойств его материала под влиянием высокой температуры извне [5-6].

Типичными признаками при внешнем тепловом воздействии являются:

1. Процесс разгерметизации при внешнем тепловом воздействии носит многоэтапный характер. Первичным этапом, как правило, является срабатывание предохранительного клапана для сброса избыточного давления. Однако при интенсивном тепловом разгоне клапан часто не справляется с растущей нагрузкой, что приводит к последующему, более мощному разрушению корпуса по конструкционно ослабленным зонам, таким как сварные швы или места механических соединений (Рисунок 6).



Рисунок 6 - Повреждения корпуса литий-ионного аккумулятора при внешнем тепловом воздействии

2. Под воздействием внешнего источника высокой температуры алюминиевая или стальная оболочка аккумулятора теряет механическую прочность, что визуально проявляется в виде коробления, вспучивания или локального оплавления его поверхности (Рисунок 7).



Рисунок 7 - Локальное оплавление поверхности корпуса литий-ионного аккумулятора при внешнем тепловом воздействии

3. Ключевым диагностическим признаком, указывающим на внешнее тепловое воздействие, является обнаружение на фрагментах корпуса или в непосредственной близости от них оплавленных частиц или шариков алюминия. Их образование связано с достижением и превышением температуры плавления алюминия ($\sim 660^{\circ}\text{C}$) в условиях продолжительного внешнего нагрева, что приводит к расплавлению катодного токоотвода, его агломерации в сферические капли (вследствие сил поверхностного натяжения) и последующему разбросу или осаждению на окружающие поверхности (Рисунок 8).



Рисунок 8 - Повреждения корпуса литий-ионного аккумулятора при внешнем тепловом воздействии

Механическое воздействие на литий-ионный аккумулятор представляет собой одну из наиболее серьезных угроз его безопасности, так как способно напрямую нарушить целостность внутренней электрохимической системы. Разные типы нагрузок приводят к специфическим повреждениям, каждое из которых может стать спусковым механизмом для опасной цепной реакции. Ключевыми видами таких воздействий являются удар, сдавливание, прокалывание, а также вибрация и повторяющиеся падения.

Удар характеризуется точечным или локальным силовым воздействием, например, при падении устройства. Такое воздействие приводит к образованию вмятин, трещин или пробою корпуса.

Проникновение острым предметом (гвоздь, металлическая стружка). Наиболее опасный тип воздействия, так как создает прямой канал для утечки электролита и практически гарантирует мгновенное короткое замыкание всех слоев электродов в точке прокола (Рисунок 9).



a)



б)

Рисунок 9 - Повреждения корпуса литий-ионного аккумулятора при механическом воздействии

Заключение

Проведённый анализ морфологических особенностей повреждения корпуса литий-ионного аккумулятора в зависимости от аварийного режима позволяет сделать следующие выводы. Каждый из рассмотренных аварийных режимов (перезаряд, внешнее тепловое воздействие, механическое повреждение) формирует специфическую картину разрушения корпуса и внутренних компонентов, что даёт возможность проводить ретроспективную диагностику причины теплового разгона. При перезаряде доминирующим фактором разрушения является резкий рост внутреннего давления, приводящий к локальному или взрывному разрыву корпуса изнутри, при относительной сохранности остальных участков оболочки. Характерным признаком также служит практически полное разрушение алюминиевого катодного токоотвода. Внешнее тепловое воздействие, напротив, вызывает равномерное ослабление материала корпуса, его коробление и оплавление. Ключевым диагностическим признаком является наличие сферических частиц алюминия, образовавшихся в результате расплавления токоотводов. Механические повреждения характеризуются локальной деформацией, вмятинами, трещинами или пробоями с возможным внедрением постороннего предмета. Данный тип воздействия наиболее опасен с точки зрения мгновенного возникновения внутреннего короткого замыкания. Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в практике пожарно-технических экспертиз, при расследовании аварий с участием литий-ионных аккумуляторов, а также при разработке требований к их безопасной эксплуатации и утилизации.

Список литературы

1. Смелков Г.И., Пехотиков В.А., Рябиков А.И., Назаров А.А. К вопросу о пожарной опасности аккумуляторных батарей // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 5. С. 56-62.
2. Ярмоленко О.В., Юдина В.А., Игнатова А.А. Современное состояние и перспективы развития жидких электролитных систем для литий – ионных аккумуляторов // Электрохимическая энергетика. – 2016. – Т.16, №4. – С. 155 – 195.

3. Плотников В.Г., Чешко И.Д., Кондратьев С.А. Пожарная опасность литий-ионных аккумуляторов и низковольтных источников питания на их основе // Расследования пожаров. 2014. Вып. 4. С. 53-58.
4. Bugryniec, Peter & Davidson, Jonathan & Brown, Solomon. (2018). Assessment of thermal runaway in commercial lithium iron phosphate cells due to overheating in an oven test. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.09.030
5. Скундин А.М., Ефимов О.Н., Ярмоленко О.В. Современное состояние и перспективы развития исследований литиевых аккумуляторов // Успехи химии. 2002. Т.71. №4. С. 329 – 346.
6. Мельник А.А., Мокряк А.Ю., Андреев В.А., Мокряк А.В., Жданов В.В. Выявление признаков теплового разгона литий-ионного аккумулятора, используемого в электротранспорте, после пожара // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 3 (38). С. 330-339. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.17.72.024.

References

1. Smelkov G.I., Pekhotikov V.A., Ryabikov A.I., Nazarov A.A. К вопросу о пожарной опасности аккумуляторных батарей [On the issue of fire danger of accumulator batteries]. 2020. № 5. pp. 56-62.
 2. Yarmolenko O.V., Yudina V.A., Ignatova A.A. Current state and prospects for the development of liquid electrolytic systems for casting-ion batteries. – 2016. – Т.16, No4. – pp. 155 – 195.
 3. Plotnikov V.G., Cheshko I.D., Kondratiev S.A. Fire hazard of lithium-ion batteries and low-voltage power sources based on them. 2014. Iss. 4, pp. 53-58.
 4. Bugryniec, Peter & Davidson, Jonathan & Brown, Solomon. (2018). Assessment of thermal runaway in commercial lithium iron phosphate cells due to overheating in an oven test. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.09.030
 5. Skundin A.M., Efimov O.N., Yarmolenko O.V. Current state and prospects for the development of lithium accumulator research. 2002. Т.71. №4. pp. 329 – 346.
 6. Melnik A.A., Mokryak A.Yu., Andreev V.A., Mokryak A.V., Zhdanov V.V. Identification of signs of thermal dispersal of a lithium-ion battery used in electric transport after a fire. 2025. № 3 (38). pp. 330-339. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.17.72.024.
-