

Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности



Том 10 Номер 8(58)



2025



СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

-
- | | | |
|----|---|----------|
| 1. | Десятова Т.О. Разработка системы оповещения операторов малых космических аппаратов о неблагоприятных факторах космической погоды | 4 |
| | Desyatova T.O. Development of a system for notification of small spacecraft operators about adverse space weather factors | |
-
- | | | |
|----|---|-----------|
| 2. | Логунов Н.С., Зернов М.М. Перспективы решения комплексных задач распознавания и анализа зашумлённых акустических сигналов на основе каскадных модульных алгоритмов | 11 |
| | Logunov N.S., Zernov M.M. Prospects for solving complex recognition and analysis problems of noisy acoustic signals based on cascading modular algorithms | |
-
- | | | |
|----|--|-----------|
| 3. | Логунов Н.С., Зернов М.М. Способ распознавания и анализа зашумленного акустического сигнала | 18 |
| | Logunov N.S., Zernov M.M. Method of classification and analysis of noisy acoustic signals | |
-
- | | | |
|----|--|-----------|
| 4. | Медведев С.И. Восстановление поврежденных телеметрических сообщений стратосферных зондов на основе трансформерной архитектуры | 30 |
| | Medvedev S.I. Restoration of corrupted telemetry messages from stratospheric probes based on transformer architecture | |
-
- | | | |
|----|--|-----------|
| 5. | Межведилов В.В. Нейросети в творческих индустриях | 37 |
| | Mezhvedilov V.V. Neural networks in the creative industries | |
-
- | | | |
|----|---|-----------|
| 6. | Попова С.А. Инструменты автоматизации развертывания информационных систем и анализ рабочих окружений для их применения | 44 |
| | Popova S.A. Tools for automating the deployment of information systems and analyzing work environments for their application | |
-
- | | | |
|----|--|-----------|
| 7. | Секачёв А.А., Барабанщиков В.А. Применение методов машинного обучения для предсказания аварий на нефтегазовом оборудовании | 52 |
| | Sekachev A.A., Barabanshchikov V.A. Application of machine learning methods to predict accidents in oil and gas field equipment | |
-
- | | | |
|----|---|-----------|
| 8. | Муратов И.Д., Силенко А.Н. Цифровизация управления качеством на основе BIG DATA: методологические и прикладные аспекты | 59 |
| | Muratov I.D., Silenko A.N. Digitization of quality management based on BIG DATA: methodological and applied aspects | |
-
- | | | |
|----|---|-----------|
| 9. | Муратов И.Д., Силенко А.Н. Интеграция информационной безопасности и DEVOPS в цифровую систему управления качеством | 68 |
|----|---|-----------|
-

	Muratov I.D., Silenko A.N. Integration of information security and DEVOPS into the digital quality management system	
10.	Заводов М.Д. РАЗРАБОТКА СКОРИНГОВОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	76
	Zavodov M.D. DEVELOPMENT OF A SCORING MODEL USING MACHINE LEARNING METHODS	
11.	Муратов И.Д., Силенко А.Н. Влияние санкций на технологии бережливого производства	81
	Muratov I.D., Silenko A.N. The impact of sanctions on lean production technologies	
12.	Фаргиева З.С., Котиева П.Б. Краткий анализ и сравнение современных архитектур нейросетей	91
	Fargieva Z.S., Kotieva P. B. Brief analysis and comparison of modern neural network architectures	
13.	Чумаков А.А. Оценка устойчивости событийно-ориентированных микросервисных приложений в процессе развёртывания	99
	Chumakov A. A. Evaluation of the resilience of event-driven microservice applications during deployment	
14.	Киселева А.И., Литвинов В.В. Инфраструктура атак на МФУ и устройства печати	106
	Kiseleva A.I., Litvinov V.V. The infrastructure of attacks on MFPs and printing devices	
15.	Францев В.О. Верификационное окружение по методологии UVM для видеоинтерфейса	121
	Frantsev V.O. UVM-based verification environment for a video interface	
ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ		
16.	Зиннурова О.В., Фаттахов Д.А., Барахнина В.Б. Синтез ФИШЕРА-ТРОПША: обзор механизмов, катализаторов и реакторов в контексте устойчивой энергетики	130
	Zinnurova O.V., Fattakhov D.A., Barakhnina V.B. FISCHER-TROPSCH synthesis: overview of mechanisms, catalysts and reactors in the context of sustainable energy	
17.	Павлюченко Н.С. Принципы и сценарии бор-нейтронозахватной терапии при использовании нейтронных генераторов для ядерной медицины	136
	Pavlyuchenko N.S. Principles and scenarios of boron neutron capture therapy using neutron generators for nuclear medicine	
18.	Гаврилов А.В., Яковлев М.Г. Обзор исследований в области методов и средств снижения вибраций технологических систем при фрезерной обработке	149
	Gavrilov A.V., Yakovlev M.G. Review of research on methods and means for reducing vibrations in technological systems during milling	
19.	Роботко А.А. Роль атомно-водородной энергетики в глобальном энергетическом переходе	159
	Robotko A.A. Role of atomic-hydrogen energy in the global energy transition	



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.912:629.78:551.594.5:681.327.2

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ О НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРАХ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Десятова Т.О.

ФГАОУ ВО "СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА", Архангельск, Россия (163002, Архангельская область, город Архангельск, наб. Северной Двины, д.17), e-mail: t.desyatova@narfu.ru

В статье рассматривается опыт разработки и вывода на орбиту малого космического аппарата ArcticSat-1, а также опыт сбора и анализа данных, получаемых со спутника. Основная задача, выполняемая аппаратом на орбите, — получение информации о факторах космической погоды, влияющих на бортовые системы и системы связи спутника. Обобщая полученную информацию, дается оценка степени влияния различных факторов и разрабатываются рекомендации по управлению космическими аппаратами. Результатом работы является система выявления и предотвращения негативных факторов космической погоды, влияющих на функционирование малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите. Система реализуется в виде веб-приложения для организации одновременного доступа нескольких операторов. Система позволяет автоматически обрабатывать телеметрию, получаемую со спутников, выявлять аномалии в данных, анализировать состояние космической среды и выдавать рекомендации операторам малых космических аппаратов на основе индекса безопасной эксплуатационной активности.

Ключевые слова: Система, космическая погода, малый космический аппарат, ArcticSat-1, методы, оповещение, оператор.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR NOTIFICATION OF SMALL SPACECRAFT OPERATORS ABOUT ADVERSE SPACE WEATHER FACTORS

Desyatova T.O.

LOMONOSOV NORTHERN (ARCTIC) FEDERAL UNIVERSITY, Arkhangelsk, Russia (163002, Arkhangelsk Region, Arkhangelsk City, Severnaya Dvina Embankment, 17), e-mail: t.desyatova@narfu.ru

The article discusses the experience of developing and launching into orbit the small ArcticSat-1 spacecraft, as well as the experience of collecting and analyzing data received from the satellite. The main task performed by the device in orbit is to obtain information about space weather factors affecting the onboard systems and communication systems of the satellite. Summarizing the information received, an assessment is given of the degree of influence of various factors and recommendations are developed for the control of spacecraft. The result of the work is a system for identifying and preventing negative space weather factors affecting the functioning of small spacecraft in low Earth orbit. The system is implemented as a web application for organizing simultaneous access for several operators. The system allows for automatic processing of telemetry received from satellites, identifying anomalies in the data, analyzing the state of the space environment and issuing recommendations to operators of small spacecraft based on the index of safe operational activity.

Keywords: System, space weather, small spacecraft, ArcticSat-1, methods, notification, operator.

Бортовые спутниковые системы постоянно подвергаются влиянию факторов космической погоды [1-4], вызывающих деградацию материалов, электризацию поверхности

малых космических аппаратов (МКА), возникновение пространственного заряда внутри МКА, сбой в работе электроники бортовых систем и нарушение связи с космическим аппаратом.

Кроме того, даже незначительная ионосферная буря оказывает сильное воздействие на системы спутниковой связи в рабочем диапазоне частот 150-500 МГц, в том числе и на АИС (автоматическая идентификационная система, предназначенная для определения параметров кораблей).

Актуальность и востребованность данного направления исследований подтверждается следующими трендами:

- Увеличение числа инцидентов, связанных с отказами и преждевременными выходами из строя малых космических аппаратов (например, потеря 40 малых спутников Starlink из-за магнитной бури 3 февраля 2022 года [5]);
- Большое и быстро растущее число малых космических аппаратов на орбите [6].
- Уменьшение габаритов и массы малых космических аппаратов и, как следствие, уязвимость отдельных систем к воздействию космической погоды (отсутствие возможности установки дополнительной защиты, отсутствие резервных систем и т.п.) [6].
- Текущий солнечный цикл представляет повышенную угрозу для МКА, поскольку развивается интенсивнее, чем прогнозировалось [7].

Перечисленные тенденции свидетельствуют о том, что в ближайшие годы тема обеспечения безопасности миссий МКА будет находиться на пике актуальности.

Большой объем телеметрических данных, непрерывно поступающих с малых космических аппаратов на приемные станции по всему миру, а также информация о космической погоде, влияющая на параметры спутниковых систем, требует разработки новых методов и алгоритмов обработки полученных данных на основе методов машинного обучения с целью снижения количества сбоев в работе малых космических аппаратов и систем связи, вызванных негативными факторами космической среды.

Аппаратная часть проекта «ArcticSat-1» включает в себя как сам МКА (Рисунок 1) с полезной нагрузкой в виде детектора космического излучения (Рисунок 2) и приемника АИС, так и наземный сегмент — станцию приема данных со спутника (Рисунок 3). Наличие профессионального инструмента, позволяющего оценивать факторы космической среды непосредственно на борту аппарата, позволяет проводить достоверный анализ сбоев и аномалий на борту МКА, а также влияние факторов космической погоды на системы связи (на примере системы АИС).

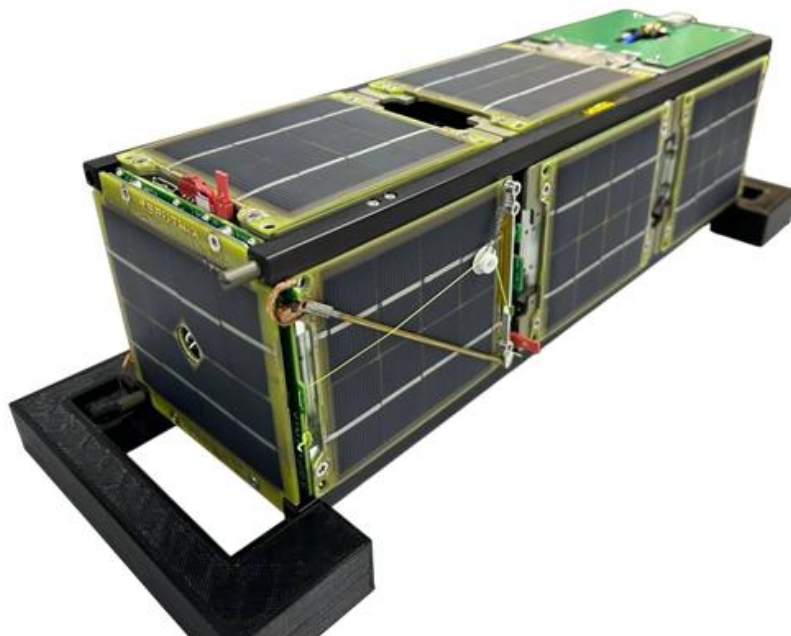


Рисунок 1 - Малый космический аппарат «ArcticSat-1»



Рисунок 2 - Детектор космической радиации



Рисунок 3 - Станция приема данных со спутника

При разработке методологии работы системы использовались два основных набора данных:

- Данные телеметрии. Исходными данными телеметрии с МКА являлись сведения, полученные на станции приема космической информации, расположенной в Северном (Арктическом) федеральном университете, а также данные сети приемных станций SatNOGS (Satellite Networked Open Ground Station).
- Данные о космической погоде. Указанный набор данных был получен непосредственно с детектора космической радиации, расположенного на борту космического аппарата, а также с веб-сервиса «Космическая погода» НИИЯФ МГУ (Рисунок 4).

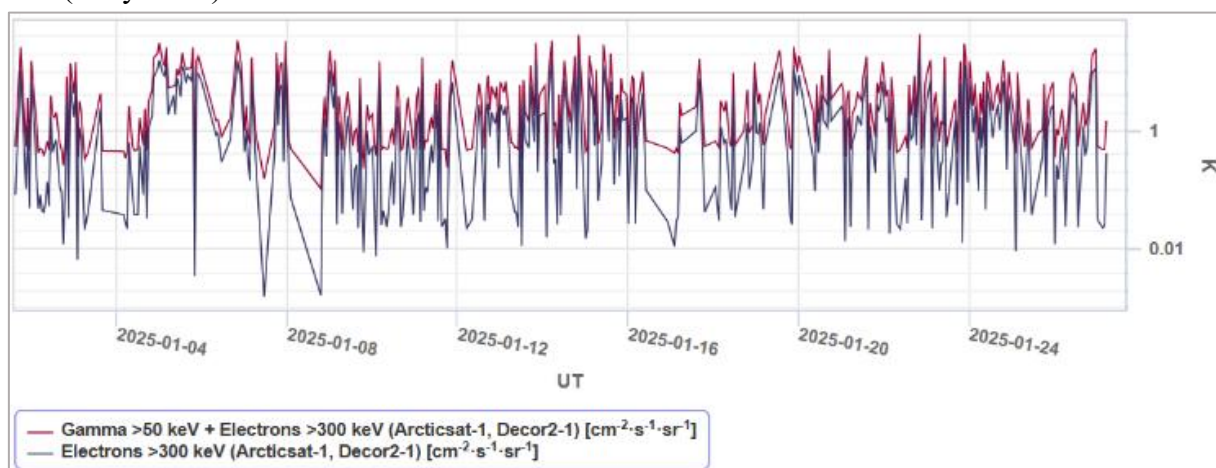


Рисунок 4 - Данные с космического аппарата ArcticSat-1

Согласно исследованиям, доля отказов и неисправностей полноразмерных космических аппаратов из-за факторов космической погоды может достигать 60% от общего числа неисправностей. Для малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите это число выше из-за уязвимости отдельных систем к воздействию факторов космической погоды.

Для выявления отказов используются два основных подхода:

- Измерительный подход: некоторые неисправности, такие как сбои в электрооборудовании и отказы каналов связи, можно предсказать, измеряя различные параметры непосредственно на борту космического корабля.
- Организационный (статистический) подход: совместный анализ отказов спутников и изменений параметров космической погоды позволяет установить взаимосвязи между различными состояниями среды, в которой находится аппарат, и возникновением на нем нештатных ситуаций.

Большинство малых космических аппаратов формата «кубсат» зачастую имеют схожую компоновку и элементную базу, что позволяет прогнозировать воздействие факторов космической погоды в целом на космический аппарат такого класса.

В ходе исследований, проводимых в Центре космического мониторинга Арктики Северного (Арктического) федерального университета, был разработан ряд методов и программных алгоритмов, основанных как на статистических расчетах, так и на интеллектуальных методах [8-11]. Полученные результаты позволили сделать ряд выводов о степени и характере влияния факторов космической погоды на системы малых космических аппаратов.

Во-первых, исследования показали, что высокая солнечная активность и связанное с ней увеличение геомагнитной активности оказывают существенное влияние на космический аппарат. Было обнаружено увеличение числа аномалий в данных телеметрии космического аппарата с ростом интенсивности показателей космической погоды.

Во-вторых, исследуется влияние факторов космической погоды на текущее состояние систем космического аппарата. Показана возрастающая зависимость параметров аппарата от изменений геомагнитной активности, которая усиливается в полярных областях орбиты.

На основании полученных результатов разработан прототип системы выявления и предотвращения негативных факторов космической погоды, влияющих на эксплуатацию малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите (Рисунок 5).

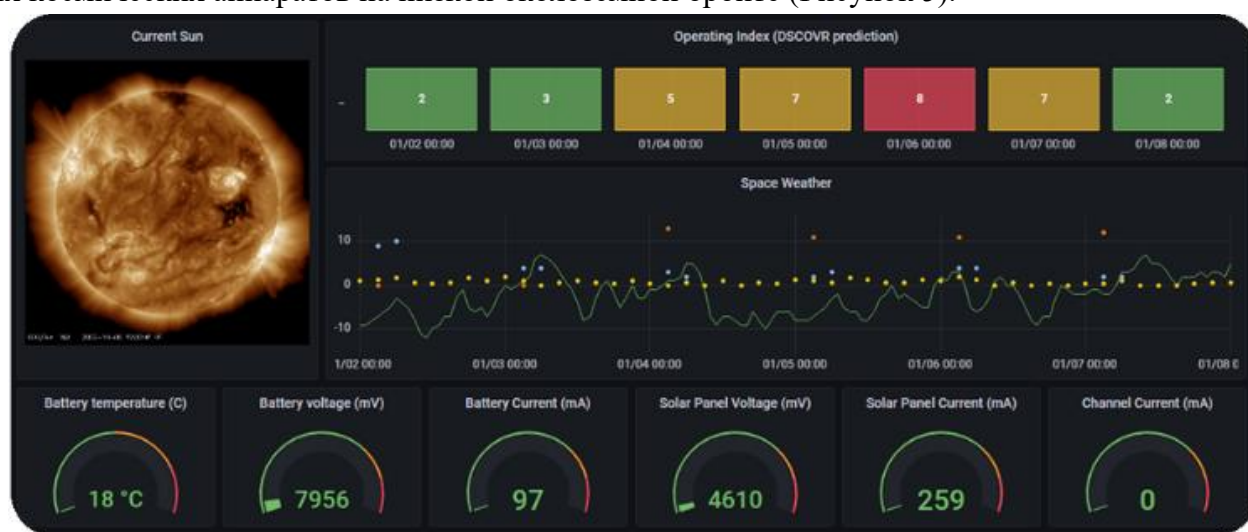


Рисунок 5 - Интерфейс системы оповещения о негативных факторах космической погоды

В ходе исследования были изучены факторы негативного воздействия космической погоды на малые спутниковые системы, проанализированы причины сбоев и аномалий телеметрии в полярных областях орбиты, а также дана оценка влияния факторов космической погоды на динамику изменения орбитальных параметров малых спутников.

В условиях отсутствия на МКА систем защиты от космической радиации организационные методы повышения надежности имеют преимущество перед другими в своей простоте и возможности применения к уже функционирующим на орбите аппаратам.

Для предотвращения негативного влияния космической погоды на выполнение задач космического аппарата и продления срока его службы на орбите разработаны специализированная методология и программное обеспечение, которые в комплексе с методами прогнозирования параметров космической погоды позволяют своевременно реагировать на возникновение негативных условий в космической среде и существенно продлевают срок службы космического аппарата на орбите.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда и Правительства Архангельской области, проект № 23-11-20026.

Список литературы

1. Тейлор, А.Р. Космическая погода как угроза критически важной инфраструктуре / А.Р. Тейлор // *Roadsides*. 2020. Т.3. С. 63-72.
2. Плейнаки, С. Планетарная космическая погода: научные аспекты и перспективы будущего / К. Плайнаки, Дж. Лиленстен, А. Радиоти, М. Андриопулу, А. Милилло, Т. А. Нордхейм, И. Дандурас, А. Кустенис, Д. Грасси, В. Мангано, С. Массетти, С. Орсини, А. Луккетти // *Journal of Space Weather and Space Climate*. 2016. Т.6. С.А31.
3. Ворман, С. Социальные и экономические последствия умеренной и суровой космической погоды / С. Ворман, С. Тейлор, Т. Онсагер, Дж. Адкинс, Д. Н. Бейкер, К. Ф. Форбс // *Extreme Events in Geospace*. Elsevier, 2018. С.701-710.
4. Бузулукова, Н. Космическая погода: от солнечного происхождения до рисков и опасностей, развивающихся во времени / Н. Бузулукова, Б. Цурутани // *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*. 2022. Т.9. С.1017–103.
5. SpaceX сообщает, что до 40 спутников Starlink были потеряны из-за геомагнитной бури [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.nbcnews.com/science/space/spacex-says-40-starlink-satellites-lost-geomagnetic-storm-rcna15516> (12.05.2025).
6. Малые космические аппараты в цифрах 2024 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://brycetek.com/reports/report-documents/Bryce_SmallSats_2024.pdf (12.05.2025).
7. Солнце гораздо более активно, чем должно быть перед своим большим солнечным пиком [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.newsweek.com/sun-more-activesolar-cycle-flare-coronal-mass-ejection-1697612> (12.05.2025).
8. Алешко, Р. Разработка методологии прогнозирования космической погоды на основе модели машинного обучения / Р. Алешко, А. Пономарев, В. Березовский, К. Шошина, А. Гордейчик, Т. Десятова // *X Международная конференция по информационным технологиям и нанотехнологиям (ИТНТ)*. 2024. С. 1-4.
9. Алешко, Р. Анализ влияния факторов космической погоды на параметры телеметрии малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите / Р. Алешко, В. Березовский, К. Шошина, А. Гордейчик, В. Крехалев, А. Пономарев // *IX Международная конференция по информационным технологиям и нанотехнологиям (ИТНТ)*. 2023. С. 1-4.
10. Алешко, Р. Разработка автоматизированной системы приема и анализа телеметрической информации с малых космических аппаратов / Р. Алешко, А. Гордейчик, В. Березовский, К. Шошина // *E3S Web of Conferences*. 2024. Т. 583. С. 04010.
11. Алешко, Р. Разработка методики выявления аномалий в телеметрических данных малых космических аппаратов с использованием ансамблевого метода / Р. Алешко, А. Сахник, А. Васильев, В. Березовский, К. Шошина // *E3S Web of Conferences*. – 2024. Т. 583. С. 04011.

References

1. Taylor, A.R.E. Space weather as a threat to critical infrastructure / A.R.E. Taylor // *Roadsides*. – 2020. – Vol. 3. – pp. 63-72.
2. Plainaki, C. Planetary space weather: scientific aspects and future perspectives / C. Plainaki, J. Liliensten, A. Radioti, M. Andriopoulou, A. Milillo, T.A. Nordheim, I. Dandouras, A.

- Coustenis, D. Grassi, V. Mangano, S. Massetti, S. Orsini, A. Lucchetti // *Journal of Space Weather and Space Climate*. – 2016. – Vol. 6. – Т. A31.
3. Worman, S. The social and economic impacts of moderate and severe space weather / S. Worman, S. Taylor, T. Onsager, J. Adkins, D.N. Baker, K.F. Forbes // *Extreme Events in Geospace*. – Elsevier, 2018. – pp. 701-710.
 4. Buzulukova, N. Space Weather: From solar origins to risks and hazards evolving in time / N. Buzulukova, B. Tsurutani // *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*. – 2022. – Vol. 9. – P. 1017103.
 5. SpaceX says up to 40 Starlink satellites lost to geomagnetic storm [Electronic resource]. — Access mode: <https://www.nbcnews.com/science/space/spacex-says-40-starlink-satellites-lost-geomagnetic-storm-rcna15516> (05/12/2025).
 6. Smallsats by the Numbers 2024 [Electronic resource]. — Access mode: https://brycetek.com/reports/report-documents/Bryce_Smallsats_2024.pdf (02/18/2025).
 7. The Sun Is Way More Active Than It Should Be Before Its Big Solar Peak [Electronic resource]. — Access mode: <https://www.newsweek.com/sun-more-activesolar-cycle-flare-coronal-mass-ejection-1697612> (05/12/2025).
 8. Aleshko, R. Development of Methodology for Predicting Space Weather Based on Machine Learning Model / R. Aleshko, A. Ponomarev, V. Berezovsky, K. Shoshina, A. Gordeychik, T. Desyatova // *X International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT)*. – 2024. – pp. 1-4.
 9. Aleshko, R. Analysis of the Influence of Space Weather Factors on the Telemetry Parameters of Small Spacecraft in Low Earth Orbit / R. Aleshko, V. Berezovsky, K. Shoshina, A. Gordeychik, V. Krekhalev, A. Ponomarev // *IX International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT)*. – 2023. – pp. 1-4.
 10. Aleshko, R. Development of automated system for receiving and analysing telemetry data from small spacecrafts / R. Aleshko, A. Gordeychik, V. Berezovsky, K. Shoshina // *E3S Web of Conferences*. – 2024. – Vol. 583. – p. 04010.
 11. Aleshko, R. Development of a methodology for identifying anomalies in telemetry data of small spacecraft using the ensemble method / R. Aleshko, A. Sakhnik, A. Vasiliev, V. Berezovsky, K. Shoshina // *E3S Web of Conferences*. – 2024. – Vol. 583. – p. 04011.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.93

ПЕРСПЕКТИВЫ РЕШЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ И АНАЛИЗА ЗАШУМЛЁННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ КАСКАДНЫХ МОДУЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ

¹Логунов Н.С., ²Зернов М.М.

ФГБОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МЭИ"
(ФИЛИАЛ В ГОРОДЕ СМОЛЕНСКЕ), Смоленск, Россия, (214013, РФ, г. Смоленск,
Энергетический проезд, дом 1), e-mail: ¹logunovns@yandex.ru, ²zmmioml@yandex.ru

В настоящей статье рассматриваются ключевые проблемы, возникающие при распознавании и классификации акустических сигналов, записанных в условиях сильного фонового шума. Подобные задачи актуальны для множества практических применений — от интеллектуальных систем мониторинга и обнаружения полезных сигналов на фоне шума до анализа городской акустической среды. В условиях зашумлённости традиционные методы фильтрации и классификации демонстрируют ограниченную эффективность, что обусловлено искажением спектральной структуры сигнала, а также появлением ложных частотных компонент. Проведён обзор существующих подходов, включая фильтрационные методы, классические алгоритмы машинного обучения, ансамблевые модели и современные нейросетевые архитектуры. Выявлены их основные достоинства и ограничения в контексте шумоустойчивой обработки звука. Обоснована необходимость применения многоэтапного решения, сочетающего классификацию зашумлённого спектра с последующей регрессией его чистого аналога и оценкой доминирующей частоты. Предложенная архитектура включает независимые модули предварительной обработки, спектрального анализа, классификации, регрессии и частотной интерпретации. Такая модульность обеспечивает гибкость, масштабируемость и возможность адаптации под новые классы сигналов и типы шума. Работа носит постановочный характер и формирует теоретическую основу для дальнейшей практической реализации и экспериментальной верификации предложенного подхода.

Ключевые слова: Акустический сигнал, шум, классификация, частотный анализ, спектральная регрессия, искусственная нейронная сеть, многослойный персептрон, звуковая аналитика.

PROSPECTS FOR SOLVING COMPLEX RECOGNITION AND ANALYSIS PROBLEMS OF NOISY ACOUSTIC SIGNALS BASED ON CASCADING MODULAR ALGORITHMS

¹Logunov N.S., ²Zernov M.M.

"NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY "MPEI" (BRANCH IN THE CITY OF SMOLENSK),
Smolensk, Russia, (214013, Smolensk, Energeticheskij proezd, 1), e-mail: ¹logunovns@yandex.ru,
²zmmioml@yandex.ru

This article addresses key challenges encountered in the recognition and classification of acoustic signals recorded in the presence of strong background noise. Such tasks are highly relevant to a wide range of practical applications — from intelligent monitoring systems and detection of useful signals within noise to the analysis of urban acoustic environments. Under noisy conditions, traditional filtering and classification methods exhibit limited effectiveness due to distortion of the signal's spectral structure and the appearance of false frequency components.

A review of existing approaches is presented, including filtering techniques, classical machine learning algorithms, ensemble models, and modern neural network architectures. Their main advantages and limitations are identified in the context of noise-robust audio processing. The necessity of a multi-stage solution is substantiated, combining the

classification of the noisy spectrum with subsequent regression toward its clean counterpart and estimation of the dominant frequency.

The proposed system architecture consists of independent modules for preprocessing, spectral analysis, classification, regression, and frequency interpretation. This modular design provides flexibility, scalability, and adaptability to new signal classes and noise types. The work is of a conceptual nature and lays the theoretical foundation for further practical implementation and experimental validation of the proposed method.

Keywords: Acoustic signal, noise, classification, frequency analysis, spectral regression, neural network, multilayer perceptron, audio processing.

Введение

Современные задачи звуковой аналитики, связанные с идентификацией объектов по их акустическим сигналам, приобретают всё большее значение в системах мониторинга, безопасности и робототехники. Особенно актуальными становятся сценарии, в которых требуется классифицировать звуки в условиях сильного фона — ветра, улицы, технических помех и прочих источников шума.

Сложности возникают в первую очередь из-за невозможности прямого анализа сигнала: шум и посторонние источники значительно искажают его спектральную структуру, которую приходится извлекать из смеси. Применение традиционных фильтров или простых алгоритмов классификации даёт низкую точность и требует ручной настройки. Это обуславливает актуальность поиска и реализации устойчивых, интеллектуальных методов обработки звука.

Цель работы — проанализировать существующие подходы к обработке зашумлённых сигналов и предложить принципы построения комплексного способа анализа, сочетающего классификацию и спектральную реконструкцию сигнала с последующим извлечением его частотных характеристик.

Методы обработки акустических сигналов в условиях шума

Обработка акустических сигналов, записанных в условиях фоновых шума, остаётся одной из наиболее сложных задач в области цифровой обработки сигналов и звуковой аналитики. Ключевой задачей является проблема идентификации источника сигнала из числа классифицируемых и определение его частоты. Наиболее распространёнными источниками зашумления являются ветровые потоки, механические помехи, речь человека, а также окружающие акустические поля, создаваемые городской инфраструктурой или другими объектами. Классические работы рассматривают детектирование периодического полезного сигнала с неизвестными параметрами на фоне белого шума. На практике же часто имеет место смесь звука от разных источников периодического сигнала и шума.

В инженерной и научной литературе предложено несколько подходов к решению задачи классификации и анализа зашумлённых сигналов. Эти методы можно условно разделить на четыре основных группы:

1. Фильтрационные методы

Классические подходы включают в себя спектральное вычитание, Wiener-фильтрацию, полосовые и адаптивные фильтры, подавление гармоник и т.д. Эти методы направлены на понижение уровня шума до того, как производится дальнейшая обработка сигнала. Преимущество таких решений — в их простоте и интерпретируемости, однако их эффективность напрямую зависит от характера шума и наличия сторонних периодических сигналов. Если, например, параметры шума заранее неизвестны или нестабильны во времени,

эффективность фильтрации резко снижается. Кроме того, агрессивное подавление шума может привести к потере полезной информации.

2. Традиционные алгоритмы машинного обучения

Методы, основанные на ручном извлечении признаков и последующей классификации, включают К-ближайших соседей (KNN), метод опорных векторов (SVM) [1], деревья решений и их комбинации. Эти алгоритмы демонстрируют приемлемую точность при наличии хорошо выделенных признаков (например, мел-частотных кепстральных коэффициентов - MFCC, частотные пики, энергозависимые признаки). Однако их чувствительность к шуму остаётся высокой, особенно если признаки не были адаптированы под конкретную акустическую ситуацию. Кроме того, эти методы ограничены в плане обобщающей способности и плохо масштабируются на большие объёмы данных.

3. Ансамблевые методы

Сюда относятся такие алгоритмы, как случайный лес, градиентный бустинг [2] (Gradient Boosted Trees, XGBoost и др.), которые объединяют предсказания множества слабых моделей. Эти методы обладают большей устойчивостью к выбросам и шуму, лучше справляются с задачами обобщения и менее чувствительны к неидеальным данным. Тем не менее, они требуют значительного количества хорошо сбалансированных и размеченных данных. Кроме того, эффективность ансамблей существенно зависит от качества входных признаков, которые чаще всего извлекаются вручную или полустатистически.

4. Нейросетевые методы

Современные нейросетевые архитектуры — такие как многослойный перцептрон (MLP), свёрточные нейронные сети (CNN) [3], рекуррентные сети (RNN, LSTM) [4], автоэнкодеры [5] — позволяют отказаться от ручной генерации признаков, обучаясь на "сырых" спектрах или даже на временных сигналах. Применение нейросетевых методов обеспечивает высокую точность, но требует достаточно объёмных обучающих выборок, значительных вычислительных ресурсов, а также аккуратной настройки архитектуры и параметров обучения. Искусственные нейронные сети плохо интерпретируемы и требуют валидации на реальных данных.

Несмотря на наличие большого количества методов, большинство существующих решений фокусируются либо на классификации, либо на частотном анализе. Универсальных систем, способных одновременно определять класс акустического сигнала и его основную частоту при наличии фоновых шума, существует крайне мало. Более того, извлечение частоты напрямую из зашумлённого спектра часто приводит к ошибочным результатам: ложным пикам, нестабильности частотной оценки и общей потере достоверности анализа [6]. Существенное влияние на эти искажения оказывает сам процесс распространения звуковых волн в атмосфере. Вихревые потоки воздуха могут вызывать биения, приводящие к усложнению временной структуры сигнала, а также вызывать спектральные сдвиги, зависящие от направления и скорости ветра [7,8]. Помимо этого, каждый источник звука имеет индивидуальные спектральные характеристики, которые необходимо учитывать при анализе [9].

Это обосновывает необходимость применения комплексного подхода, который сочетает в себе сразу несколько этапов: спектральную классификацию, регрессию чистого сигнала или непосредственно его спектра и устойчивое определение частотных характеристик. В рамках данной работы под основной частотой понимается частота полезного периодического сигнала

(на интервале рассмотрения), на которую приходится максимум энергии спектра. Такое определение используется при оценке спектральной плотности сигнала и служит основой для последующего частотного анализа.

Вместе с тем, стоит отметить ограниченность подходов, ориентированных исключительно на максимизацию отношения сигнал/шум. Такой критерий может привести к выбору наиболее "громкого", но нерелевантного источника сигнала. Например, при наличии нескольких близких по частоте периодических источников, более мощный сигнал от расположенного ближе шума может маскировать или искажать восприятие целевого сигнала. Это особенно критично в условиях акустически сложной среды, где пространственное распределение источников и их спектральные особенности играют ключевую роль.

Анализ архитектурных решений

Для построения системы, способной не только определять класс акустического сигнала, но и надёжно оценивать его основную частоту, представляется рациональным использовать модульный подход. Это позволит чётко разделить ответственность между этапами обработки и позволяет адаптировать или заменять отдельные модули без пересмотра всей системы.

В качестве входных данных для комплексного алгоритма анализа предлагается использовать не временное, а частотное представление сигналов — результат быстрого преобразования Фурье для прямоугольного временного окна достаточной продолжительности. Это упростит выделение информативных признаков и снизит влияние кратковременных искажений [10]. Акустический сигнал при этом анализируется в каждом канале отдельно. Обучающие данные, полученные из различных источников следует привести к единой частоте дискретизации, что критически важно для стабильности последующей спектральной обработки [11].

Классификация входного образа может осуществляться как единым алгоритмом многоклассовой классификации, так и набором алгоритмов, осуществляющих бинарную классификацию. В последнем случае, можно получить выигрыш в гибкости системы при добавлении нового типа классифицируемых источников.

Если ни один из классов не идентифицируется с заданным порогом уверенности, результат интерпретируется как 'неизвестный' класс, и дальнейший анализ не выполняется.

На следующем этапе предполагается выделение спектра идентифицированного источника из спектра смеси сигналов от разных источников и шума. Для этого предлагается применить набор регрессионных моделей, обученных на парных данных (зашумлённый → чистый спектр) для каждого типа источников в отдельности. В перспективе, такой подход может позволить анализировать смесь сигналов сразу от нескольких разнотипных источников, «забирая» из смеси сигналов характерные для них составляющие, что может обеспечить высокий уровень восстановления частотной структуры.

Завершающий этап — выделение основной частоты. Поскольку спектр уже очищен, выделение частотного пика происходит над устойчивым сигналом, что повышает достоверность результата.

Таким образом, предложенная архитектура является масштабируемой, модульной и надёжной в условиях шумовой помехи. Она также допускает расширение — например,

добавление новых классов, других регрессоров или переход к более сложным архитектурам (CNN, attention-механизмы) без кардинальной переработки логики.

Выбор компонентов классификации и регрессии спектров

При выборе классификатора важно обеспечить способность модели аппроксимировать сложные зависимости в спектральных данных, устойчивость к переобучению при ограниченных объёмах обучающей выборки, а также возможность масштабирования. Под эти критерии подходят как ансамблевые методы (например, градиентный бустинг), так и нейросетевые архитектуры. Эффективность того или иного варианта необходимо проверять экспериментально. Предварительные результаты позволяют отдать предпочтение многослойному перцептрону (MLP). Такой подход обеспечивает устойчивость к вариативности шумов и позволит классифицировать сигнал без предварительной фильтрации [12].

Для выделения «очищенного» спектра источника, практически безальтернативно применение нейросетевых методов, которые достаточно эффективно позволяют отобразить многомерные входные данные на многомерный же выход. Для решения этой задачи вполне может быть достаточно многослойного перцептрона (MLPRegressor) [13]. Это позволит сгладить шумовые пики и акцентировать доминирующие гармоники сигнала.

Нейросетевые регрессоры, в частности многослойный перцептрон (MLPRegressor), обладают достаточной гибкостью для аппроксимации спектральных искажений, вызванных шумом [14]. Регрессия спектра служит промежуточным этапом перед извлечением частотной информации и способствует повышению достоверности последующего анализа

Таким образом, выбор применяемых технологий и компонентов обусловлен необходимостью обеспечить баланс между точностью, устойчивостью к шуму, вычислительной эффективностью и архитектурной гибкостью. Предложенное решение позволяет адаптировать систему под различные классы звуковых сигналов и условия эксплуатации, а также масштабировать её при расширении спектра задач.

Заключение

Таким образом, проведённый анализ подтверждает целесообразность построения системы классификации и анализа частоты акустических сигналов на основе модульной нейросетевой архитектуры. Преимущество предложенного подхода заключается в том, что он сочетает в себе устойчивость к шуму, способность к расширению, а также возможность одновременного определения как класса, так и числовой характеристики — основной частоты.

В дальнейшем планируется представить конкретную реализацию описанной архитектуры, включая обучение моделей и результаты тестирования.

Список литературы

1. Федотов Д. В. О решении задачи классификации методом опорных векторов // Решетневские чтения. 2013. №17. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-reshenii-zadachi-klassifikatsii-metodom-opornyh-vektorov> (дата обращения: 27.05.2025).
2. Чистяков Сергей Павлович Случайные леса: обзор // Труды КарНЦ РАН. 2013. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sluchaynye-lesa-obzor> (дата обращения: 27.05.2025).

3. Ле Мань Ха Свёрточная нейронная сеть для решения задачи классификации // Труды МФТИ. 2016. №3 (31). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svyortochaya-neyronnaya-set-dlya-resheniya-zadachi-klassifikatsii> (дата обращения: 27.05.2025).
4. Меркушева А. В., Малыхина Галина Фёдоровна Нейронная сеть с множественной рекуррентной структурой // НПИ. 2012. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyronnaya-set-s-mnozhestvennoy-rekurrentnoy-strukturoy> (дата обращения: 27.05.2025).
5. Сарафасланиян А. Х., Чепраков В. В., Суворов Д. А., Мозговой М. В., Волков А. В. Детектирование неизвестных звуков для людей с нарушенным слухом на основе вариационного автоэнкодера // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2019. №1 (124). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/detektirovanie-neizvestnyh-zvukov-dlya-lyudey-s-narushennym-sluhom-na-osnove-variatsionnogo-avtoenkodera> (дата обращения: 27.05.2025).
6. Емельянова М. М. и др. Программное определение спектра зашумленного сигнала // Приборостроение в XXI веке-2015. Интеграция науки, образования и производства. – 2016. – С. 426-432.
7. Красильников В. А. Звуковые и ультразвуковые волны / В. А. Красильников. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 280 с.
8. Sprague M. W., Raspet R., Ostashev V. E. Crosswind effects on acoustic propagation // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1993. – Vol. 94, No. 3, Pt. 2. – P. 1872.
9. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях : в 2 т. / Ж. Макс ; пер. с франц. А.Ф.Горюнова, А.В. Крянева, ред. Н.Г. Волкова — М. : Мир, 1983. — Т. 1. — 280 с.
10. Кошелева Д. Д., Доронина А. В. Преобразование Фурье и быстрое преобразование Фурье // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – №. 38. – С. 626-632.
11. Пономарева Н. В. Цифровая спектральная обработка сигналов в музыкальной акустике // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2018. – Т. 8. – №. 2. – С. 37-42.
12. Долматов Я. М. Использование искусственных нейронных сетей для решения задачи классификации // Литература и культура Дальнего Востока, Сибири и Восточного зарубежья. Проблемы межкультурной коммуникации. – 2017. – С. 227-232.
13. Састова Л. Г., Горохов М. М. Нейронная сеть и регрессия: описание линейной регрессии в нейронных сетях // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании. – 2021. – С. 15-21.
14. Рябов В. С. Типы нейронных сетей. анализ характеристик многослойного персептрона и рбф-сети // Научные исследования студентов и учащихся. – 2021. – С. 110-113.

References

1. Fedotov D. V. On solving the classification problem using the support vector method // Reshetnev Readings. – 2013. – No. 17. – Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-reshenii-zadachi-klassifikatsii-metodom-opornyh-vektorov> (accessed: 27.05.2025).

2. Chistyakov S. P. Random forests: a review // Proceedings of the Karelian Research Centre RAS. – 2013. – No. 1. – Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sluchaynye-lesa-obzor> (accessed: 27.05.2025).
 3. Le Man' Kha. Convolutional neural network for solving the classification problem // Proceedings of MIPT. – 2016. – No. 3 (31). – Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/svyortochnaya-neyronnaya-set-dlya-resheniya-zadachi-klassifikatsii> (accessed: 27.05.2025).
 4. Merkushova A. V., Malykhina G. F. Neural network with multiple recurrent structure // Scientific and Technical Journal. – 2012. – No. 3. – Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyronnaya-set-s-mnozhestvennoy-rekurrentnoy-strukturoy> (accessed: 27.05.2025).
 5. Sarafaslanyan A. Kh., Cheprakov V. V., Suvorov D. A., Mozgovoy M. V., Volkov A. V. Detection of unknown sounds for hearing-impaired people based on variational autoencoder // Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. Series "Instrumentation". – 2019. – No. 1 (124). – Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/detektirovanie-neizvestnyh-zvukov-dlya-lyudey-s-narushennym-sluhom-na-osnove-variatsionnogo-avtoenkodera> (accessed: 27.05.2025).
 6. Emelyanova M. M. et al. Software definition of the spectrum of a noisy signal // Instrument Engineering in the 21st Century: Integration of Science, Education and Production. – 2016. – pp. 426–432.
 7. Sound and Ultrasonic Waves // V.A. Krasilnikov. — 3rd ed., rev. and enl. — Moscow: State Publishing House for Physical and Mathematical Literature, 1960. — 280 p.
 8. Sprague M. W., Raspet R., Ostashev V. E. Crosswind effects on acoustic propagation // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1993. – Vol. 94, No. 3, Pt. 2. – P. 1872.
 9. Methods and Techniques of Signal Processing in Physical Measurements: In 2 vols. // J. Max ; translated from French by A.F. Goryunova, A.V. Kryanev ; edited by N.G. Volkov. — Moscow : Mir Publishers, 1983. — Vol. 1. — 280 p.
 10. Kosheleva D. D., Doronina A. V. Fourier transform and fast Fourier transform // Innovations. Science. Education. – 2021. – No. 38. – pp. 626–632.
 11. Ponomareva N. V. Digital spectral signal processing in musical acoustics // DSPA: Applications of Digital Signal Processing. – 2018. – Vol. 8. – No. 2. – pp. 37–42.
 12. Dolmatov Ya. M. The use of artificial neural networks to solve the classification problem // Literature and Culture of the Far East, Siberia and the Eastern Abroad. – 2017. – pp. 227–232.
 13. Saetova L. G., Gorokhov M. M. Neural network and regression: describing linear regression in neural networks // Information Technologies in Science, Industry and Education. – 2021. – pp. 15–21.
 14. Ryabov V. S. Types of neural networks: analysis of multilayer perceptron and RBF network characteristics // Student Research and Reports. – 2021. – pp. 110–113.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.93

СПОСОБ РАСПОЗНАВАНИЯ И АНАЛИЗА ЗАШУМЛЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

¹Логунов Н.С., ²Зернов М.М.

ФГБОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МЭИ" (ФИЛИАЛ В ГОРОДЕ СМОЛЕНСКЕ), Смоленск, Россия, (214013, РФ, г. Смоленск, Энергетический проезд, дом 1), e-mail: ¹logunovns@yandex.ru, ²zmmioml@yandex.ru

В настоящей статье представлено описание, реализация и результаты экспериментальной проверки способа распознавания зашумлённых акустических сигналов, предложенного ранее в теоретической постановке. Задача классификации и анализа сигналов, записанных в условиях интенсивного фоновых шума, актуальна для широкого круга прикладных задач — от интеллектуального аудиомониторинга до пассивной акустической диагностики. Способ сочетает предварительное спектральное преобразование, классификацию зашумлённого спектра, восстановление чистого спектра с помощью нейросетевого регрессора и последующее определение основной частоты.

Система реализована в виде программного прототипа, поддерживающего обработку произвольных WAV-файлов. Обучение моделей проводилось на собственном датасете, содержащем три класса звуков: игрушка, дрон, вертолёт — каждый представлен в «чистом» и зашумлённом вариантах. Классификатор достиг точности 93.9%, а регрессоры обеспечили точность восстановления спектра до $R^2 = 0.98$.

Результаты подтверждают эффективность предложенного подхода в условиях сильной зашумлённости. Архитектура построена модульно, что обеспечивает масштабируемость, гибкость и возможность дальнейшего развития

Ключевые слова: Акустический сигнал, шум, классификация, частотный анализ, спектральная регрессия, искусственная нейронная сеть, многослойный персептрон, звуковая аналитика.

METHOD OF CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF NOISY ACOUSTIC SIGNALS

¹Logunov N.S., ²Zernov M.M.

"NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY "MPEI" (BRANCH IN THE CITY OF SMOLENSK), Smolensk, Russia, (214013, Smolensk, Energeticheskij proezd, 1), e-mail: ¹logunovns@yandex.ru, ²zmmioml@yandex.ru

This article presents a new method of classification and analysis of noisy acoustic signals, instantiated in previous theoretical work. Implementation and experimental results are described of a method for recognizing noisy acoustic signals, previously introduced in a theoretical framework. The task of classifying and analyzing sound recordings in high-noise environments is highly relevant for various applied domains, including intelligent audio monitoring and passive acoustic diagnostics. The proposed system architecture combines spectral transformation, classification of the noisy spectrum, regression-based reconstruction of the clean spectrum, and estimation of the dominant frequency. The system is implemented as a software prototype capable of processing arbitrary WAV files. The models were trained on a custom dataset comprising three sound classes — toy, drone, and helicopter — each available in both clean and noisy variants. The classifier achieved an accuracy of 93.9%, and the regression models reached spectral reconstruction scores of up to $R^2 = 0.98$.

The results confirm the effectiveness of the proposed approach under substantial background noise. The modular system design ensures scalability, flexibility, and adaptability. Future work will focus on expanding the number of sound classes, supporting more complex acoustic patterns, and enabling real-time signal processing.

Keywords: Acoustic signal, noise, classification, frequency analysis, spectral regression, neural network, multilayer perceptron, audio processing.

Введение

Распознавание и анализ акустических сигналов в условиях значительного фоновых шума остаётся одной из наиболее актуальных и технически сложных задач в современной цифровой обработке сигналов. В предыдущей работе авторами была представлена концепция способа, сочетающего спектральную классификацию зашумлённых сигналов, регрессию их «чистых» спектров и последующее определение доминирующей частоты. Предложенный подход теоретически обосновал возможность повышения устойчивости к шуму при сохранении точности классификации и частотной оценки.

Цель настоящей статьи — формализованное описание, практическая реализация и экспериментальная проверка описанного способа распознавания и анализа зашумлённых акустических сигналов. Разработан программный прототип, включающий модули обработки аудиосигналов, извлечения спектров, классификации, восстановления спектральной структуры и оценки частотных характеристик. В качестве объектов распознавания выбраны три класса звуков: игрушка типа «Летающий шар» (Toy), дрон (Drone) и вертолёт (Helicopter), каждый из которых представлен в вариантах «чистого» и зашумлённого звучания.

Основу системы составляют нейросетевые модели: многослойный перцептрон (MLP) используется как для классификации спектров, так и для регрессии [2]. При этом обучение осуществляется на собственном наборе данных, полученном из реальных звуков с добавлением фонового шума.

Публикация включает описание способа, структуры программного решения, описание обучения и тестирования моделей, а также анализ точности классификации и восстановления спектра. Представленные результаты демонстрируют высокую устойчивость предложенного способа к шуму и подтверждают его применимость в реальных задачах аудиоаналитики.

Способ распознавания и анализа продолжительного зашумленного акустического сигнала

В дальнейшем, рассмотрение будем вести для некоторого акустического сигнала x с частотой дискретизации f_d , записанным на протяжении временного окна продолжительностью T_w :

$$x = (x_0, x_1, \dots, x_{N-1}), N = T_w * f_d$$

На основе предложенной ранее модульной структуры процесса решения комплексной задачи идентификации и анализа продолжительного акустического сигнала, предлагается способ решения задачи с применением многослойных перцептронов, состоящий из следующих этапов.

1. Классификация входного сигнала с использованием многослойного перцептрона (например, на основе распространённого компонента MLPClassifier библиотеки scikit-learn) [6,7].

Входными данными этапа является амплитудный спектр сигнала — $S(x)$, рассчитываемый как результат дискретного (быстрого) преобразования Фурье для конечного интервала времени [5]:

$$S(x) = \left(a_0, a_1, \dots, a_{\frac{N}{2}-1} \right), a_k = (X_k), k \in [0, N-1],$$

$$X = (X_0, X_1, \dots, X_{N-1}) = \text{fft}(x),$$

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \times e^{-2\pi j \frac{kn}{N}}$$

В силу симметричного характера спектра, используется только половина полученных комплексных коэффициентов. Заметим, что разрешающая способность по частоте может быть уменьшена с целью сглаживания случайных отклонений по частоте и уменьшения вычислительной сложности при обучении компонентов классификации и регрессии.

Пусть имеется множество классов $C = \{C_1, C_2, \dots, C_{N_c}\}$, тогда алгоритм классификации A_C должен отобразить спектр на вектор оценок принадлежности сигнала классам:

$$A_C(S(x)) = \mu \in \mathbb{R}^{N_c},$$

$$\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_{N_c}),$$

$$\mu_i \in [0, 1], i \in [1, N_c],$$

где μ_i - оценка принадлежности сигнала x источнику i .

2. Принятие решения по результату оценки принадлежности классам. Может быть принято как на основе выбора класса с наибольшим значением принадлежности:

$$\hat{\text{class}}(x) = \arg_{C_i} \mu_i,$$

так и на основе порога уверенности $\alpha \in [0, 1]$:

$$\text{classes}(x) = \{C_i \mid \mu_i > \alpha\}.$$

В последнем случае, сигнал может быть идентифицирован как смесь от источников различных типов. Если ни для одного из классов порог уверенности не преодолен, обработка информации завершается[4].

3. Для идентифицированных типов источников проводится извлечение спектра источника (спектральная регрессия). Фактически, осуществляется цифровая фильтрация сигнала путём применения корректирующей функции, задаваемой алгоритмом $AR(C_i, S(x))$:

$$S(x) = \left(a_0, a_1, \dots, a_{\frac{N}{2}-1} \right), a_i \in \mathbb{R}, i \in \left[0, \frac{N}{2}-1 \right],$$

$$S(x) = A_R(C_i, S(x)).$$

Т.о. для каждого типа распознаваемого сигнала настраивается нейросетевой цифровой фильтр на основе многослойного персептрона (например, на основе распространённого компонента MLPRegressor библиотеки scikit-learn), для извлечения частотных составляющих, характерных именно этому типу сигнала.

4. Применение решающего правила для выбора основной частоты распознанного источника сигнала. На этом этапе, имея очищенный спектр, определяется основная частота сигнала — как частота, на которую приходится максимум спектральной плотности мощности:

$$I_{\max}^{\text{ш}} = \arg_{k \in [0, N/2-1]} a_k,$$
$$f_{\text{осн}} = \frac{I_{\max} \times f_d}{N}$$

Таким образом, способ последовательно определяет оценки принадлежности сигнала распознаваемым классам, принимает решение о наличии источников сигнала и, если оно положительно, определяет основную частоту распознанного источника.

Применение многослойных персептронов в качестве компонент для классификации и регрессии обусловлено следующими соображениями.

Во-первых, MLP обладает универсальной аппроксимирующей способностью: при наличии достаточного количества скрытых нейронов и корректной функции активации он способен моделировать нелинейные взаимосвязи между входными признаками и целевыми переменными [1]. В условиях зашумлённого спектра, где искажения могут быть неоднородными и зависимыми от частоты, именно такая способность критически важна для восстановления исходной частотной структуры.

Во-вторых, спектральные данные, особенно при использовании оконных функций (например, Хэннинга), частично сглаживают шумовые всплески, позволяя модели концентрироваться на стабильных паттернах. MLP хорошо справляется с извлечением этих устойчивых признаков даже при наличии значительного фоновых шума, особенно при условии масштабирования данных и обучения на обширных вариациях зашумлённых примеров[1].

В-третьих, по сравнению с более сложными архитектурами (например, CNN, RNN), MLP требует меньше вычислительных ресурсов, проще в отладке, а также имеет меньше гиперпараметров, критичных к подбору. Это делает его особенно удобным для прототипирования и экспериментов на ограниченных выборках.

Структура программных средств

Предложенный способ был реализован в виде модульной программной системы на языке Python с использованием библиотеки scikit-learn, инструментов для аудиооптимизации (librosa, soundfile) и стандартных средств обработки сигналов. Структура системы характеризуется следующими ключевыми свойствами:

1. Структура входных данных

Каждая звукозапись представляет собой WAV-файл длительностью 1 с с частотой дискретизации 44100 Гц. Для обучения моделей классификации и регрессии формируются смеси исходных файлов с «чистым» звуком и с фоновым шумом различного типа. Спектры рассчитанные по исходным «чистым» файлам служат также в качестве эталонных выходов для обучающей выборки регрессионных компонент.

2. Подготовка данных

Модуль формирования датасета выполняет парсинг аудиофайлов и извлечение спектров. Преобразование во временную область выполняется с использованием оконной функции Хэннинга и быстрого преобразования Фурье (FFT). На выходе формируется датасет с форматом prz, содержащий:

- X — спектры зашумлённых сигналов,

- y — соответствующие им чистые спектры,
- `classes` — метки классов.

3. Классификация

В качестве компонента-классификатора используется MLP-классификатор библиотеки `scikit-learn`. Входные спектры предварительно нормализуются с помощью `StandardScaler`. Архитектура сети включает два скрытых слоя.

Модель сохраняется в виде файлов:

- `models/model.pkl` — классификатор,
- `models/scaler.pkl` — масштабировщик признаков.

4. Регрессия спектра

Модуль обучения регрессоров реализует тренировку отдельных регрессионных моделей (по одному на каждый класс звука). Каждая модель — это `MLPRegressor` с 2-мя скрытыми слоями, обучаемый на восстановление спектров [1,3]. Для каждого класса сохраняются:

- модель: `models/{class}_regressor.pkl`,
- масштабировщик входа: `models/{class}_scaler.pkl`,
- масштабировщик выхода: `models/{class}_yscaler.pkl`.

5. Пользовательский интерфейс

Модуль пользовательского интерфейса представляет собой консольный интерфейс для обработки произвольного WAV-файла. Алгоритм действий:

- пользователь выбирает файл из папки `audio/`,
- выполняется спектральное преобразование,
- прогон через классификатор: определяется класс,
- если класс определен как целевой, выполняется восстановление спектра с помощью соответствующего регрессора,
- вычисляется основная частота по спектру,
- отображается результат (класс, частота).

Модульная структура проекта позволяет легко адаптировать архитектуру под новые классы сигналов или заменить используемые модели (например, MLP на CNN). Все этапы — классификация, регрессия и частотный анализ — реализованы как независимые компоненты, что обеспечивает расширяемость системы без переписывания всей логики.

Обучение моделей

Реализация предложенного способа распознавания зашумлённых акустических сигналов требует последовательного обучения двух типов моделей: классификатора спектров и специализированных регрессоров для восстановления частотной структуры звуков по классам. Обе модели реализованы на основе многослойного перцептрона (MLP) с использованием библиотеки `scikit-learn`.

1. Классификатор спектров

Модель классификации реализована в виде программного модуля. В качестве признаков используются составляющие амплитудного спектра, извлечённые из зашумлённых аудиосигналов. Классы (`toy`, `drone`, `helicopter`) представлены в общем объеме около 10000 экземпляров, что обеспечило объемность и разнообразность обучающей выборки.

На первом этапе применяется масштабирование признаков с помощью StandardScaler, фрагмент программного кода представлен в листинге 1[6,9]:

Листинг 1 – Реализация масштабирования

```
scaler = StandardScaler()
X_train_scaled = scaler.fit_transform(X_train)
X_test_scaled = scaler.transform(X_test)
```

Также данные делятся на обучающую и тестовую выборки в пропорциях 80/20. Архитектура модели имеет следующие параметры:

- 2 скрытых слоя: 256 и 128 нейронов;
- активация: ReLU;
- оптимизатор: Adam;
- максимальное число итераций: 200.

Модель на основе многослойного персептрона показала высокие результаты при классификации зашумлённых спектров. Средняя правильность (ассигасу) на тестовой выборке составила **0.939**, что соответствует качеству современных шумоустойчивых классификаторов. Классификационные метрики по классам и общие метрики представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Классификационные метрики

Класс	Precision	Recall	F1-score	Support	Accuracy (общая правильность)	Macro Average F1- score	Weighted Average F1- score
Drone	0.88	0.93	0.90	527	0.939	0.94	0.94
Helicopter	0.96	0.95	0.95	1026			
Toy	0.98	0.93	0.96	266			

Аналогично, высокие значения F1-меры по всем классам (в интервале 0.90–0.96) подтверждают сбалансированность модели по показателям точности (precision) и полноты (recall). Это особенно важно в задачах, где ложное определение класса может привести к критическим ошибкам (например, спутать звук дрона с игрушкой). Модель показала наилучшие результаты на классе toy (F1 = 0.96), несколько уступив по стабильности на классе drone (F1 = 0.90), что может быть связано с более широким спектральным разнообразием этого типа сигнала.

Таким образом, значения метрик, приближающиеся к 1, интерпретируются как индикатор высокой обобщающей способности, устойчивости модели к зашумлению и адекватного обучения на спектральных признаках без переобучения.

2. Регрессоры по классам

Для каждого класса акустических сигналов обучалась отдельная регрессионная модель с целью восстановления спектра, очищенного от шума. Это связано с тем, что спектры различных типов звуковых сигналов (игрушка, дрон, вертолёт) существенно различаются по составу гармоник и частотному диапазону. Универсальная регрессионная модель, обученная на данных всех классов сразу, теряет способность точно подстраиваться под особенности каждого типа сигнала.

Код реализации обучения регрессионных моделей разделён на два логически независимых модуля, один из которых содержит управляющую логику запуска обучения, загрузки данных и сохранения моделей, а второй реализует универсальный класс `DenoisingRegressor`, инкапсулирующий внутреннюю структуру модели, методы обучения, прогнозирования и масштабирования. Такое разделение обусловлено принципами модульности и удобства сопровождения кода. Это упрощает замену модели, не затрагивая методы управления обучением. Класс `DenoisingRegressor` можно использовать не только в процессе обучения, но и на этапе анализа для загрузки уже обученных моделей и применения их к новым спектрам.

Все модели регрессии построены на основе компонента `MLPRegressor` библиотеки `scikit-learn` с следующими параметрами [6,8]:

- 2 скрытых слоя по 512 и 256 нейронов;
- тип функции активации: ReLU (Rectified Linear Unit);
- оптимизатор: Adam;
- максимальное число итераций: 200.

Для оценки эффективности восстановления спектров использовался коэффициент детерминации R^2 (R-squared score) на тестовой выборке. Результаты оценки моделей представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Результаты оценки моделей

Класс	Объём данных	R^2 score
Drone	1320	0.8759
Helicopter	2557	0.9756
Toy	662	0.9588

Как видно из таблицы, регрессионные модели демонстрируют высокую точность восстановления по всем классам. Особенно высокая точность достигнута на классах `helicopter` и `toy`, где $R^2 > 0.95$, что указывает на качественное восстановление спектральной структуры. Несколько более низкий показатель у класса `drone` ($R^2 = 0.8759$) может быть связан с большей вариативностью спектров или более сложными шумовыми искажениями.

На Рисунке 1 показано сравнение спектра зашумлённого (слева) и эталонного чистого сигнала (справа) для класса `Drone`, шум искажает форму спектра, скрывая частотные пики:

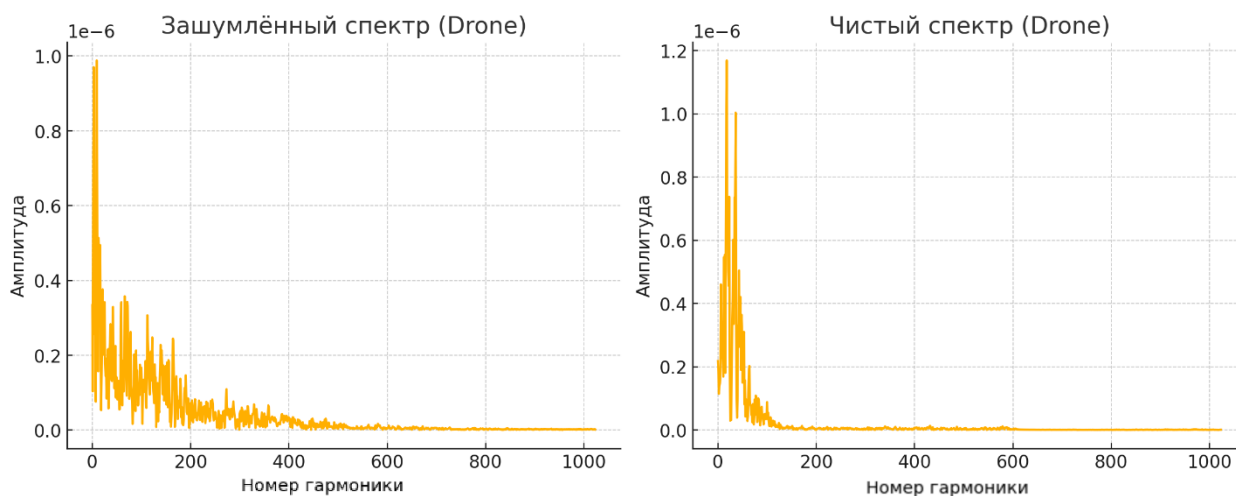


Рисунок 1 - Сравнение спектров зашумлённый/чистый

После восстановления спектра производится выделение основной частоты с большей точностью и надёжностью анализа по сравнению с прямым извлечением частот из зашумлённого сигнала.

Интерфейс и работа системы

Реализованная система распознавания продолжительных зашумлённых акустических сигналов ориентирована на пользовательскую обработку аудиофайлов в интерактивном режиме. Вся логика взаимодействия с пользователем сосредоточена в отдельном модуле, представляющем собой консольный интерфейс. Работа системы строится поэтапно:

На первом этапе пользователю необходимо выбрать для анализа интересующий его WAV-файл. Программа автоматически загрузит аудиоданные с помощью библиотеки `librosa`, преобразует формат аудио стерео в моно (если требуется), далее приводит частоту дискретизации к стандартному значению 44100 Гц (ресемплинг) и проверит корректность данных.

На втором этапе загруженный аудиосигнал преобразуется в амплитудный спектр с помощью быстрого преобразования Фурье (FFT). Преобразование осуществляется функцией `audio_to_spectrum()`, фрагмент программного кода представлен в Листинге 2.

Листинг 2 – Функция `audio_to_spectrum()`

```
def audio_to_spectrum(audio):
    window = np.hanning(len(audio))
    windowed = audio * window
    spectrum = np.abs(fft(windowed, n=N_FFT)[:N_FEATURES]) / len(audio)
    return spectrum
```

На третьем этапе, ранее обученный MLP-классификатор загружается из папки с моделями вместе с масштабировщиком `scaler.pkl`. Спектр нормализуется и подаётся на вход модели. В результате определяется класс звука (`drone`, `helicopter`, `toy`), вычисляется уверенность классификации, если уверенность ниже заданного порога (по умолчанию 0.7), сигнал помечается как `unknown` (неизвестный) и дальнейшая обработка не выполняется. Предсказание выполняется в функции `predict_class()`, фрагмент программного кода с реализацией представлен в Листинге 3:

Листинг 3 – Функция `predict_class()`

```
def predict_class(spectrum, model, scaler, threshold=0.7):
    spectrum_scaled = scaler.transform([spectrum])
    proba = model.predict_proba(spectrum_scaled)[0]
    max_prob = np.max(proba)
```



```
predicted = model.classes_[np.argmax(proba)]
```

```
if max_prob < threshold:  
    return "unknown", max_prob  
return predicted, max_prob
```

На четвертом этапе, после успешной классификации вызывается соответствующий DenoisingRegressor, загружающий регрессионную модель и масштабировщики, специфичные для данного класса (например, drone_regressor.pkl и т.п.). Модель восстанавливает чистую спектральную форму, сглаживая шум и устраняя нехарактерные пики, реализация в программном коде представлена в Листинге 4:

Листинг 4 – Вызов DenoisingRegressor

```
regressor = DenoisingRegressor(predicted_class)  
denoised = regressor.predict(spectrum)  
print(f"Спектр очищен регрессором")
```

На последнем этапе по восстановленному спектру определяется основная (доминирующая частота), что позволяет точно определить базовую частотную характеристику сигнала (например, частоту вращения ротора дрона или звуковой тон игрушки). с помощью алгоритма, представленного в Листинге 5:

Листинг 5 – Алгоритм определения основной доминирующей частоты

```
np.argmax(spectrum)    # индекс пикового значения  
np.fft.rfftfreq(N, 1/sr) # соответствующая частота (где N — длина FFT, sr — частота дискретизации)
```

Таким образом, интерфейс поддерживает обработку любых WAV-файлов независимо от их исходных характеристик. Файлы автоматически адаптируются к нужному формату. Система допускает добавление новых классов сигналов, замену классификатора и регрессора, а также, при необходимости, применение графического интерфейса (GUI) поверх существующей логики.

Результаты тестирования

Проведённое тестирование системы позволило оценить как качество классификации продолжительных зашумлённых акустических сигналов, так и точность восстановления их спектральной структуры с последующим выделением основной частоты.

Тестирование производилось на аудиофайлах, которые не были помещены в обучающий датасет, что позволило справедливо оценить качество моделей. Результаты тестирования приведены в Таблице 3:

Таблица 3 - Результаты тестирования

Тип звука	Определившийся класс	Частота
БПЛА + шум листвы	Drone	495.26 Гц
БПЛА + шум ветра	Drone	279.93 Гц
БПЛА + шум улицы	Drone	150.73 Гц
Вертолет	Helicopter	43.07 Гц
Вертолет + шум ветра	Helicopter	43.07 Гц
Вертолет + шум ночного леса	Helicopter	64.60 Гц
Игрушка + шум дождя	Toy	86.13 Гц
Игрушка + сильный ветер	Toy	86.13 Гц
Игрушка	Toy	86.13 Гц
Ветер	Unknown	Пропуск
Дождь	Unknown	Пропуск
Тропический ливень	Unknown	Пропуск
Звук пения птиц	Unknown	Пропуск
Звук машин в городе	Unknown	Пропуск
Звук льющегося ручья	Unknown	Пропуск

По результатам тестирования можно сделать несколько выводов: во- первых программа показывает отличные результаты в скорости распознавания, при каждом повторении тестирования, с момента запуска программы до момента вывода результата не проходит более 3 секунд, что говорит о правильной и мощной архитектуре. Классы определяются корректно, частоты определяются в диапазонах, присущих данным классам.

Пример консольного вывода программой после успешного анализа аудиофайла изображен на Рисунке 2:

```
Анализ файла: audio\drone1_noise14_010.wav
Определён класс: drone (уверенность: 99.8%)
Спектр очищен регрессором
Основная частота: 129.20 Гц
```

Рисунок 2 - Результат работы программы

Заключение

В данной работе представлен способ распознавания и анализа продолжительного зашумленного акустического сигнала, отличающийся поэтапным комплексированием алгоритмов классификации и регрессии с использованием искусственной нейронной сети типа многослойный персептрон и позволяющий повысить качество определения основной частоты распознаваемого сигнала и снизить требования к объёму обучающей выборки за счёт обучения регрессионных моделей для каждого класса сигнала отдельно.

Рассмотрена программная реализация способа. Эксперименты подтвердили эффективность предложенного подхода:

- достигнута высокая правильность классификации (accuracy ≈ 0.94);
- регрессионные модели обеспечили надёжное восстановление спектров (R^2 до 0.98);
- система продемонстрировала устойчивость к шумам и адаптивность к разным типам акустических сигналов.

Таким образом, комбинация простых и интерпретируемых моделей с тщательно спроектированной структурой обработки позволила достичь высоких показателей восстановления и классификации при сохранении прозрачности и гибкости структуры программных средств. Это делает предложенный способ применимым не только в научных экспериментах, но и в прикладных инженерных задачах акустического анализа в условиях фоновых помех. Основными областями применения являются интеллектуальный аудиомониторинг, распознавание технических объектов по звуку, пассивная акустическая диагностика.

Список литературы

1. Долматов Я. М. Использование искусственных нейронных сетей для решения задачи классификации // Литература и культура Дальнего Востока, Сибири и Восточного зарубежья. Проблемы межкультурной коммуникации. – 2017. – С. 227-232.
2. Рябов В. С. Типы нейронных сетей. анализ характеристик многослойного персептрона и рбф-сети // Научные исследования студентов и учащихся. – 2021. – С. 110-113.
3. Aurélien Géron Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow, 2nd Edition – 2019, 510 p.
4. Аллен Б. Дауни Цифровая обработка сигналов на Python / пер. с англ. Брядинский А.Э. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 160 с.: ил.
5. Джейд Картер Нейросети. Обработка аудиоданных / Д. Картер — «Автор», 2023 — (Нейросети), 206 с.
6. Документация по библиотеке машинного обучения Scikit-learn // scikit-learn [Электронный ресурс]. — URL: https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html (дата обращения: 13.05.2025).
7. Sklearn.neural_network.MLPClassifier (многослойный перцептрон) // Scikit-learn [Электронный ресурс]. — URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.neural_network.MLPClassifier.html (дата обращения: 13.05.2025).
8. Sklearn.neural_network.MLPRegressor (регрессор на основе многослойного перцептрона) // Scikit-learn [Электронный ресурс]. — URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.neural_network.MLPRegressor.html (дата обращения: 13.05.2025).
9. Sklearn.preprocessing.StandardScaler (стандартизация данных) // Scikit-learn [Электронный ресурс]. — URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.StandardScaler.html> (дата обращения: 13.05.2025).

References

1. Dolmatov Ya. M. The use of artificial neural networks to solve the classification problem // Literature and Culture of the Far East, Siberia and the Eastern Abroad: Problems of Intercultural Communication. – 2017. – pp. 227–232.
2. Ryabov V. S. Types of neural networks: analysis of multilayer perceptron and RBF network characteristics // Student Research and Reports. – 2021. – pp. 110–113.
3. Géron A. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. – 2nd ed. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2019. – 510 p.

4. Downey A. B. Think DSP: Digital Signal Processing in Python / Translated from English by A. Bryandinsky. – Moscow: DMK Press, 2017. – 160 p.: ill.
 5. Carter J. Neural Networks. Audio Data Processing. – Author Publisher, 2023. – 206 p. – (Neural Networks Series).
 6. Documentation for the Scikit-learn machine learning library // Scikit-learn [Online]. — URL: https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html (accessed: 13.05.2025).
 7. Sklearn.neural_network.MLPClassifier (multilayer perceptron classifier) // Scikit-learn [Online]. — URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.neural_network.MLPClassifier.html (accessed: 13.05.2025).
 8. Sklearn.neural_network.MLPRegressor (multilayer perceptron regressor) // Scikit-learn [Online]. — URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.neural_network.MLPRegressor.html (accessed: 13.05.2025).
 9. Sklearn.preprocessing.StandardScaler (data standardization) // Scikit-learn [Online]. — URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.StandardScaler.html> (accessed: 13.05.2025).
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.272.2:004.934:629.735:621.398

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕННЫХ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СООБЩЕНИЙ СТРАТОСФЕРНЫХ ЗОНДОВ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Медведев С.И.

ФГАОУ ВО "СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА", Архангельск, Россия (163002, Архангельская область, город Архангельск, наб. Северной Двины, д.17), e-mail: msimsi9764@gmail.com

Исследования стратосферы предоставляют ценные научные данные, собираемые стратосферными зондами и передаваемые на Землю посредством телеметрических сообщений. Однако передача данных в условиях стратосферы подвержена помехам и искажениям, что приводит к повреждению сообщений и потере информации, непригодной для автоматической обработки стандартными парсерами. В данной работе решается актуальная задача разработки системы интеллектуального восстановления поврежденных телеметрических данных. Целью исследования являлось создание и оценка эффективности нейросетевой модели, способной автоматически исправлять поврежденные JSON-сообщения. Для достижения цели был разработан генератор синтетических данных на основе реальных профилей телеметрических параметров и алгоритм моделирования различных типов повреждений (обрывы, искажения символов, ошибки кодировки, нарушения структуры JSON) для создания обучающего датасета. В качестве основной архитектуры выбрана модель трансформер типа Seq2Seq, реализованная с использованием библиотеки PyTorch, учитывающая контекст предыдущих сообщений и использующая токенизацию на уровне символов. Обучение модели проводилось на сгенерированном датасете в течение 20 эпох. Оценка качества восстановления на примерах и анализ производительности инференса на CPU показали, что модель демонстрирует высокую эффективность в структурном восстановлении поврежденных JSON-сообщений, успешно генерируя синтаксически правильные строки даже при значительных повреждениях. Однако, восстановление семантически корректных числовых значений оказалось ограниченным. Полученное решение обладает приемлемой производительностью для интеграции в программное обеспечение оператора, но требует дальнейших исследований для повышения точности восстановления измеряемых параметров.

Ключевые слова: Стратосферные зонды, телеметрия, восстановление данных, глубокое обучение, трансформер, Seq2Seq, JSON.

RESTORATION OF CORRUPTED TELEMETRY MESSAGES FROM STRATOSPHERIC PROBES BASED ON TRANSFORMER ARCHITECTURE

Medvedev S.I.

LOMONOSOV NORTHERN (ARCTIC) FEDERAL UNIVERSITY, Arkhangelsk, Russia (163002, Arkhangelsk Region, Arkhangelsk City, Severnaya Dvina Embankment, 17), e-mail: msimsi9764@gmail.com

Stratospheric research provides valuable scientific data collected by stratospheric probes and transmitted to Earth via telemetry messages. However, data transmission from the stratosphere is susceptible to interference and distortions, leading to corrupted messages and loss of information unusable for automated processing by standard parsers. This work addresses the relevant problem of developing an intelligent system for restoring corrupted telemetry data. The objective was to create and evaluate the effectiveness of a neural network model capable of automatically correcting damaged JSON messages. To achieve this, a synthetic data generator based on real telemetry parameter profiles was developed, along with an algorithm for simulating various types of damage (start/end/middle breaks, character corruption, encoding errors, JSON structure violations) to create a training

dataset. The Transformer Seq2Seq architecture was chosen as the main model, implemented using the PyTorch library, incorporating context from previous messages and utilizing character-level tokenization. The model was trained on the generated dataset for 20 epochs. Evaluation of restoration quality on examples and analysis of CPU inference performance showed that the model demonstrates high effectiveness in the structural restoration of corrupted JSON messages, successfully generating syntactically correct strings even with significant damage. However, the restoration of semantically correct numerical values was limited. The resulting solution has acceptable performance for integration into operator software but requires further research to improve the accuracy of restoring measured parameters.

Keywords: Stratospheric probes, telemetry, data restoration, deep learning, Transformer, Seq2Seq, JSON.

Исследования верхних слоев атмосферы Земли, включая стратосферу, имеют огромное значение как для фундаментальной науки, изучающей динамику атмосферных процессов и космическую погоду, так и для прикладных задач, связанных с мониторингом радиационной обстановки и предупреждением о неблагоприятных условиях для космических аппаратов [7, 9, 10]. Стратосферные зонды, оснащенные комплексом датчиков, являются ключевым инструментом для сбора этих данных, передавая их на Землю в виде телеметрических сообщений. Эти сообщения, как правило, содержат разнообразные параметры: от стандартных метеорологических данных (температура, давление, влажность) и навигационных координат до специфических научных измерений, таких как уровень радиации или показания акселерометров и гироскопов [6].

Однако, передача телеметрии с больших высот сопряжена с техническими сложностями, которые часто приводят к повреждению информационного потока. Помехи в радиоканале, ошибки модуляции, атмосферные возмущения или кратковременные прерывания связи могут вызывать различные типы повреждений в сообщениях, включая обрывы начала, середины или конца пакета, искажение или замену отдельных символов, появление некорректных байтов (например, из-за проблем с кодировкой UTF-8) и ошибки в самой структуре данных, часто передаваемых в формате JSON [6, 7]. Даже незначительное повреждение может сделать весь пакет непригодным для автоматической обработки стандартными парсерами, что приводит к потере ценных научных данных и нарушению непрерывности экспериментальных рядов. Ручная коррекция или отбраковка поврежденных сообщений операторами является трудоемким и малоэффективным процессом при больших объемах поступающей информации. Таким образом, разработка автоматизированных методов восстановления поврежденной телеметрии является актуальной задачей, способной значительно повысить полноту и надежность данных, собираемых в ходе стратосферных экспериментов. Целью данного исследования является разработка и оценка эффективности системы интеллектуального восстановления поврежденных телеметрических сообщений стратосферных зондов, используя современную нейросетевую архитектуру трансформер. Проект выполнен в рамках более широкого исследования по детектированию частиц высоких энергий.

Задача восстановления поврежденных телеметрических сообщений может быть сформулирована как задача преобразования последовательности в последовательность (sequence-to-sequence), где на вход подается поврежденное сообщение (возможно, с дополнительным контекстом), а на выходе ожидается его корректная, валидная версия. Для решения такой задачи успешно применяются различные нейросетевые модели, в частности, рекуррентные сети и архитектура трансформер [5]. В данной работе была выбрана архитектура трансформер Seq2Seq, поскольку она хорошо подходит для обработки

потенциально длинных последовательностей благодаря механизму внимания, способному улавливать зависимости на больших расстояниях, а также обеспечивает эффективную параллелизацию вычислений [1, 2].

Для обучения модели восстановления, требующей значительного объема данных, был разработан генератор синтетических телеметрических сообщений. Основой для его создания послужил анализ реальных тестовых полетов стратосферных зондов, позволивший выявить типичные диапазоны значений и характерные профили изменения основных параметров (температура, давление, высота, координаты и т.д.) на разных этапах полета. Генератор имитировал эти профили с использованием функций (линейная интерполяция, синусоидальные функции) и добавлял случайные флуктуации для придания данным реалистичности. Было сгенерировано 12000 пар коротких и длинных валидных JSON-сообщений, что составило 24000 отдельных сообщений.

Далее был разработан алгоритм моделирования повреждений для создания обучающего датасета из сгенерированных валидных сообщений. Этот алгоритм имитировал типичные ошибки передачи, которые могут встречаться в реальных условиях. Были смоделированы такие повреждения, как обрывы начала, конца или фрагмента из середины сообщения, замена отдельных символов на случайные из предопределенного набора, а также комбинация обрывов начала и конца. Также учитывалась возможность появления символов замены (\square) в реальных данных из-за ошибок декодирования. Для создания обучающих пар к каждому валидному сообщению с заданной вероятностью (0.7 для обучения, 0.5 для валидации) применялся один из случайно выбранных типов повреждений.

Предобработка данных для модели трансформер включала токенизацию на уровне символов. В отличие от подходов, использующих слова или подслова, токенизация по символам позволяет модели работать с любыми входными последовательностями, включая те, что содержат искаженные или нетипичные символы, которые могли бы быть представлены как "неизвестные слова" при других видах токенизации. Словарь токенов строился на основе всех символов, встречающихся в валидных сообщениях, с добавлением специальных служебных токенов (`<pad>`, `<sos>`, `<eos>`, `<unk>`, `<sep>`). Размер словаря оказался небольшим 42 символа. Для учета информации о предыдущем состоянии системы и улучшения качества восстановления, особенно при сильных повреждениях, во входную последовательность для энкодера включался контекст – токены нескольких предшествующих успешно принятых или восстановленных сообщений. Токены контекстных сообщений объединялись, затем добавлялся специальный токен-разделитель `<sep>`, и после него следовали токены поврежденного сообщения. Максимальная длина входной и выходной последовательностей была ограничена 1024 символами. Для обработки батчей данных последовательности дополнялись токеном `<pad>` до максимальной длины, а для корректной работы механизма внимания создавались соответствующие маски паддинга и маска для авторегрессионного декодирования.

Архитектура модели трансформер Seq2Seq состояла из энкодера и декодера, каждый из которых включал стек идентичных слоев. Параметры модели были выбраны на основе анализа распределения длин сгенерированных данных и общепринятых рекомендаций для трансформеров. Использовались эмбединги размером 512, 8 голов внимания в Multi-Head Attention, по 6 слоев в энкодере и декодере, размер скрытого слоя в FeedForward сетях 1024, и dropout 0.1. Обучение проводилось с использованием функции потерь CrossEntropyLoss,

игнорирующей токены паддинга, и оптимизатора Adam [4]. Модель обучалась на сгенерированном датасете, разделенном на обучающую (90%) и валидационную (10%) выборки, в течение 20 эпох.

В процессе обучения отслеживалась динамика функции потерь и посимвольной точности (Per-Token Character Accuracy) как на обучающей, так и на валидационной выборках. Наблюдалась устойчивая тенденция к снижению значения функции потерь на обеих выборках на протяжении всех 20 эпох обучения приведено на Рисунке 1. Это свидетельствует об успешном процессе обучения модели и ее адаптации к задаче минимизации ошибки предсказания следующего символа. При этом не было выявлено ярко выраженных признаков переобучения, так как потери на валидации также уменьшались, хотя и несколько медленнее, чем на обучающей выборке в поздних эпохах.

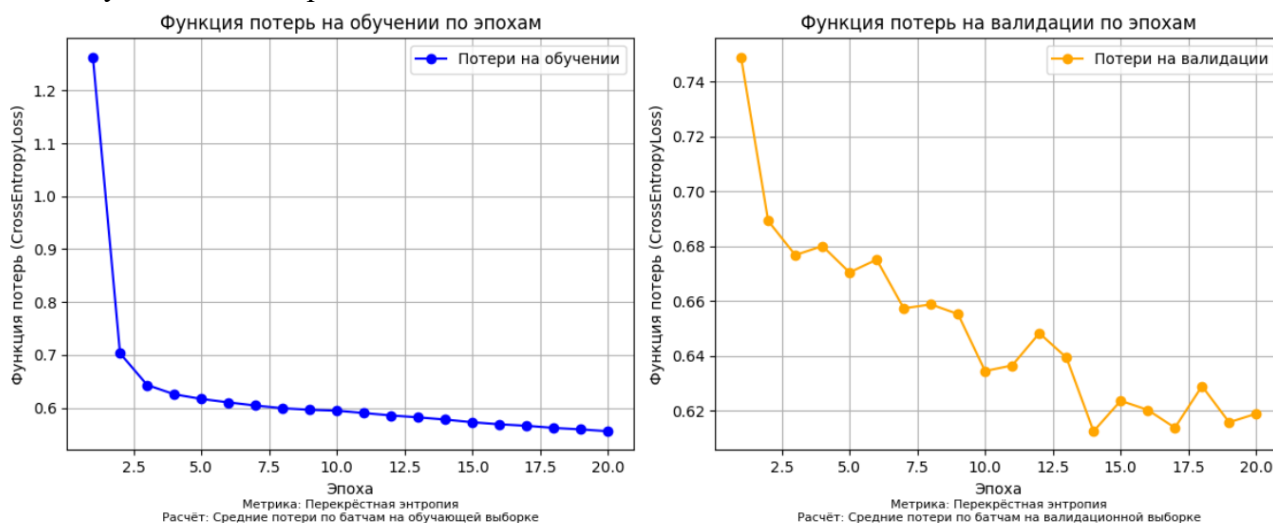


Рисунок 1 - Графики потерь на обучении и валидации по эпохам

Одновременно с падением потерь наблюдался значительный рост посимвольной точности на валидационной выборке, которая достигла около 80% к концу обучения показано на Рисунку 2. На первый взгляд, такое высокое значение точности могло бы указывать на отличное качество восстановления. Однако, более детальный анализ структуры телеметрических сообщений и результатов инференса показал, что эта метрика может быть отчасти обманчива. JSON-сообщения имеют очень строгую и повторяющуюся структуру, и значительная доля символов (свыше 70%) приходится на структурные элементы, такие как фигурные скобки, кавычки, запятые и двоеточия, а также на фиксированные ключи параметров. Способность модели успешно предсказывать эти повторяющиеся структурные символы вносит основной вклад в высокое значение посимвольной точности.

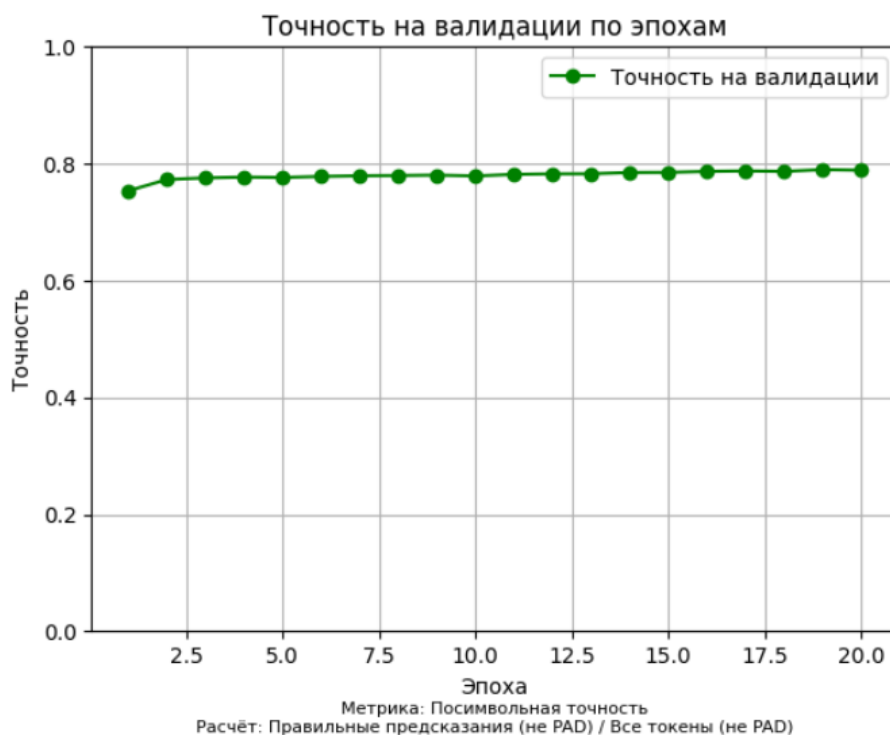


Рисунок 2 - График точности на валидации по эпохам

Качественная оценка способности модели восстанавливать поврежденные сообщения проводилась на ряде примеров с различными типами повреждений. В примерах с обрывами начала и/или конца сообщения, а также с искаженными символами, модель успешно восстанавливала полную структуру короткого или длинного JSON-сообщения, добавляя недостающие скобки и ключи, и генерируя строку, пригодную для стандартного парсинга JSON. Это демонстрирует высокую эффективность модели в восстановлении структурной целостности поврежденных данных. Модель также показала устойчивость к локальным искажениям символов, например, при наличии символов замены, возникающих из-за ошибок декодирования UTF-8, успешно обрабатывая их и генерируя валидный JSON.

Однако, анализ восстановленных сообщений показал существенные ограничения в восстановлении семантически корректных числовых значений параметров. В примерах восстановления, несмотря на правильную структуру JSON, числовые значения (температура, давление, координаты, счетчик сообщений и др.) часто совершенно не соответствовали ожидаемым значениям или значениям из контекста предыдущих сообщений. Восстановленные значения выглядели как некие "усредненные" или "прототипные", не отражая реальную динамику измеряемых параметров и не имея явной семантической связи ни с контекстом, ни с неповрежденными частями входного сообщения.

Анализ производительности инференса обученной модели проводился на центральном процессоре (CPU). Было зафиксировано среднее время восстановления одного длинного сообщения с контекстом в пределах 15-20 секунд, а короткого сообщения с контекстом – 3-5 секунд.

В рамках данного проекта была успешно решена задача разработки прототипа системы интеллектуального восстановления поврежденных телеметрических сообщений стратосферных зондов на основе трансформерной архитектуры. Разработанная модель

продемонстрировала высокую эффективность в исправлении структурных нарушений JSON-сообщений, включая обрывы и искажения символов, успешно генерируя синтаксически правильные строки, пригодные для автоматического парсинга. Это подтверждается высоким значением посимвольной точности на валидационной выборке и качественным анализом примеров восстановления.

Однако, модель показала ограниченные возможности в восстановлении семантически корректных числовых значений измеряемых параметров, что является ключевым аспектом для полноценного научного анализа данных. Время инференса на CPU оказалось приемлемым для интеграции в программный комплекс оператора с учетом частоты поступления данных. Дальнейшие исследования должны быть направлены на повышение семантической точности восстановления числовых данных, возможно, путем модификации архитектуры модели, применения более сложных алгоритмов декодирования или интеграции доменных знаний о физических ограничениях и динамике параметров.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда и Правительства Архангельской области, проект № 23-11-20026.

Список литературы

1. Pytorch [Электронный ресурс] / Pytorch. – Режим доступа: <https://pytorch.org/>, (дата обращения 10.03.2024).
2. PyTorch documentation [Электронный ресурс] / PyTorch documentation. Режим доступа: <https://pytorch.org/docs/stable/index.html>, (дата обращения 10.03.2024).
3. CUDA Toolkit [Электронный ресурс] / NVIDIA Developer. Режим доступа: <https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>, (дата обращения 10.03.2024).
4. Adam [Электронный ресурс] / PyTorch documentation. Режим доступа: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.optim.Adam.html#adam>, (дата обращения 10.03.2024).
5. Бессмертный И. А. Системы искусственного интеллекта : учебное пособие для вузов. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2024. — 164 с. [5, с. 10-15]
6. Беневольский С. В., Майорова В. И., Гришко Д. А., Ханеня Н. Н. Анализ телеметрии с космического аппарата «Юбилейный» // Машиностроение и компьютерные технологии. 2011. № 13. С. 59–65.
7. Романова Н. В., Пилипенко В. А., Ягова Н. В., Белов А. В. Статистическая связь частоты сбоев на геостационарных спутниках с потоками энергичных электронов и протонов // Космические исследования. 2005. Т. 43, № 3. С. 186–193.
8. Pilipenko V., Yagova N., Romanova N., Allen J. Statistical relationships between satellite anomalies at geostationary orbit and high-energy particles // Advances in Space Research. 2006. Vol. 37. P. 1192–1205.
9. Тасенко С. В., Чиженков В. А., Шатов П. В., Скороходов И. А. Перспективная система геофизического обеспечения управления космическими аппаратами в условиях высокой солнечной активности // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2012. Т. 128, № 3. С. 234–241.
10. Алешко Р. А., Саечников В. А. Анализ влияния факторов космической погоды на параметры телеметрии малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите //

Материалы Восьмого Белорусского космического конгресса (25-27 октября 2022 г., Минск). Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2022. С. 145–148.

References

1. Pytorch [Electronic resource] / Pytorch. – Access mode: <https://pytorch.org/>, (accessed 10.03.2024).
 2. PyTorch documentation [Electronic resource] / PyTorch documentation. Access mode: <https://pytorch.org/docs/stable/index.html>, (accessed 10.03.2024).
 3. CUDA Toolkit [Electronic resource] / NVIDIA Developer. Access mode: <https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>, (accessed 10.03.2024).
 4. Adam [Electronic resource] / PyTorch documentation. Access mode: <https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.optim.Adam.html#adam>, (accessed 10.03.2024).
 5. Bessmertnyi I. A. Sistemy iskusstvennogo intellekta : uchebnoe posobie dlya vuzov [Artificial Intelligence Systems : textbook for universities]. — 3rd ed., rev. and suppl. — Moscow : Yurayt, 2024. — p.164
 6. Benevol'skii S. V., Maiorova V. I., Grishko D. A., Khanenya N. N. Analiz telemektrii s kosmicheskogo apparata «Yubileinyi» [Telemetry analysis from the "Yubileinyi" spacecraft] // Mashinostroyeniye i komp'yuternyye tekhnologii [Mechanical Engineering and Computer Technologies]. 2011. No. 13. pp. 59–65.
 7. Romanova N. V., Pilipenko V. A., Yagova N. V., Belov A. V. Statisticheskaya svyaz chastoty sboev na geostatsionarnykh sputnikakh s potokami energichnykh elektronov i protonov [Statistical relationship between the frequency of failures on geostationary satellites and streams of energetic electrons and protons] // Kosmicheskie issledovaniya [Cosmic Research]. 2005. Vol. 43, No. 3. pp. 186–193.
 8. Pilipenko V., Yagova N., Romanova N., Allen J. Statistical relationships between satellite anomalies at geostationary orbit and high-energy particles // Advances in Space Research. 2006. Vol. 37. pp. 1192–1205.
 9. Tsenko S. V., Chizhenkov V. A., Shatov P. V., Skorokhodov I. A. Perspektivnaya sistema geofizicheskogo obespecheniya upravleniya kosmicheskimi apparatami v usloviyakh vysokoi solnechnoi aktivnosti [Promising system for geophysical support of spacecraft control under high solar activity] // Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya of Southern Federal University. Technical Sciences]. 2012. Vol. 128, No. 3. pp. 234–241.
 10. Aleshko R. A., Saechnikov V. A. Analiz vliyaniya faktorov kosmicheskoi pogody na parametry telemektrii mal'kh kosmicheskikh apparatov na nizkoi okolozemnoi orbite [Analysis of the influence of space weather factors on the telemetry parameters of small spacecraft in low Earth orbit] // Materialy Vostmogo Belorusskogo kosmicheskogo kongressa (25-27 oktyabrya 2022 g., Minsk) [Materials of the Eighth Belarusian Space Congress (October 25-27, 2022, Minsk)]. Minsk: OJSC NAN Belarus, 2022. pp. 145–148.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.83

НЕЙРОСЕТИ В ТВОРЧЕСКИХ ИНДУСТРИЯХ

Межведилов В.В.

ФГАОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО", Санкт-Петербург, Россия (195251, город Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29 литера Б), e-mail: aktaydomavlad@gmail.com

Статья исследует применение нейросетей в индустрии графического дизайна, начиная с истории развития технологий и заканчивая современными моделями, такими как генеративно-сопоставительные сети (GAN), диффузионные модели и трансформеры. Описаны возможности нейросетей в автоматизации рутинных задач, персонализации дизайна и создании 3D-контента. Рассмотрены примеры технологий, используемых в профессиональной практике, а также проблемы и ограничения нейросетевого подхода, включая этические вопросы авторства и юридической защиты контента. Сделан вывод о необходимости дальнейшего изучения методологических аспектов взаимодействия между человеком и искусственным интеллектом в творческой деятельности.

Ключевые слова: Генеративный дизайн, этика искусственного интеллекта, авторское право, нейроэстетика, автоматизация творческих процессов, гибридный интеллект.

NEURAL NETWORKS IN THE CREATIVE INDUSTRIES

Mezhvedilov V.V.

"PETER THE GREAT SAINT-PETERSBURG POLYTECHNIC UNIVERSITY", St. Petersburg, Russia (195251, St. Petersburg, Polytechnic Street, 29 letter B, e-mail: aktaydomavlad@gmail.com

The article explores the application of neural networks in the graphic design industry, starting from the history of technology development and ending with modern models such as generative adversarial networks (GAN), diffusion models, and transformers. The capabilities of neural networks in automating routine tasks, personalizing design, and creating 3D content are described. Examples of technologies used in professional practice are considered, as well as the problems and limitations of the neural network approach, including ethical issues of authorship and legal protection of content. The conclusion emphasizes the need for further study of methodological aspects of interaction between humans and artificial intelligence in creative activities.

Keywords: Generative design, ai ethics, copyright, neuroaesthetics, automation of creative processes, hybrid intelligence.

Введение.

Интеграция компьютерных технологий в графический дизайн берёт начало в 1960-х годах, когда Айвен Сазерленд представил Sketchpad (1963) — революционную систему, позволившую создавать векторные изображения с помощью светового пера. Этот прорыв заложил основы компьютерной графики, но долгое время технологии ограничивались инструментами автоматизации, упрощавшими редактирование, но не затрагивавшими креативную составляющую. Переломным моментом стал 2014 год, когда Иэн Гудфеллоу и его коллеги предложили архитектуру генеративно-сопоставительных сетей (GAN — нейросеть, генерирующая изображения через состязание двух алгоритмов: «генератора» и «дискриминатора»). Эта технология впервые позволила машинам создавать оригинальный визуальный контент, имитируя художественные стили. К 2020-м годам развитие

диффузионных моделей (Stable Diffusion, 2022) и трансформеров (DALL-E 2) завершило эволюцию от вспомогательных инструментов к полноценным со-pilot системам. Последние не просто ускоряют рутинные задачи, но активно участвуют в творческом процессе: генерируют концепции, адаптируют стили под брифы и даже предвосхищают запросы дизайнеров. Например, платформы вроде Midjourney превращают текстовые описания в детализированные концепт-арты, а нейросети в Adobe Firefly интегрируются в профессиональные workflow, предлагая варианты композиций и цветовых палитр. Однако стремительная трансформация порождает парадоксы: рост производительности сопровождается рисками шаблонизации, а этические вопросы авторства остаются нерешёнными, что подчёркивает необходимость глубокого анализа как технологий, так и их социокультурного контекста.

Актуальность темы подчеркивается стремительным внедрением ИИ в индустрию. Согласно исследованию Adobe (2023), посвящённому использованию генеративного ИИ среди креативных профессионалов, 71% опрошенных дизайнеров и специалистов планируют применять ИИ-инструменты в своей работе, а 48% уже активно используют ChatGPT, 34% — DALL-E, 30% — RunwayML и другие нейросет [1]. Этот диссонанс отражает не только технологический прогресс, но и научный пробел: недостаток работ, систематизирующих этико-методологические аспекты ИИ в контексте дизайн-мышления (design cognition). Например, нейроэстетика — изучение нейронных основ восприятия искусства — до сих пор слабо связана с алгоритмической генерацией, что создает риски дисбаланса между эстетической ценностью и технологической эффективностью.

Цель данной работы — провести анализ архитектур нейросетей, применяемых в графическом дизайне, с акцентом на их ограничения. К ним относятся технические вызовы (смещения в обучающих данных), юридические коллизии (авторство AI-контента) и этические дилеммы (девальвация человеческого креатива). На основе критической оценки этих факторов формулируются рекомендации для будущих исследований, направленных на гармонизацию взаимодействия между дизайнером и алгоритмом. Таким образом, статья призвана стать связующим звеном между технологическим оптимизмом и академической рефлексией, предлагая рамки для ответственного использования ИИ в творческих индустриях.

1. Применение нейросетей в индустрии графического дизайна

1.1. Автоматизация рутинных задач

Эволюция автоматизации в графическом дизайне демонстрирует переход от ручных скриптов для пакетной обработки изображений к сложным нейросетевым архитектурам, таким как генеративно-сопоставительные сети (GAN) и диффузионные модели. Эти технологии решают задачи, требующие массовой генерации контента, сохраняя при этом роль дизайнера как куратора процесса.

Генерация изображений — современные диффузионные модели (например, Stable Diffusion) применяются для создания шаблонов социальных сетей, UI-элементов и текстурных паттернов. Их ключевое преимущество — сокращение времени на первичную визуализацию: алгоритмы генерируют десятки вариантов за минуты. Однако выходные данные часто требуют постобработки, так как нейросети демонстрируют ограниченную способность интерпретировать контекст бренда.

Ретушь и оптимизация — алгоритмы сегментации, такие как U-Net, используются для автоматической коррекции изображений, включая удаление фона и балансировку экспозиции. Эти методы основаны на семантическом анализе пикселей, что позволяет достичь высокой

точности в задачах изоляции объектов. Однако автоматизация сопряжена с риском «переоптимизации»: чрезмерная обработка может приводить к потере естественности, например, искажению текстур или цветовых градиентов.

Управление проектами — нейросетевые ассистенты, основанные на архитектурах трансформеров, применяются для формализации брифов и структурирования задач. Они анализируют текстовые запросы, выделяя ключевые параметры (стиль, цветовая палитра, целевая аудитория), что ускоряет начальные этапы проектов.

1.2. Персонализация дизайна

Персонализация визуального контента стала возможной благодаря нейросетям, способным анализировать демографические и поведенческие данные пользователей. Алгоритмы кластеризации и рекомендательные системы адаптируют дизайн под предпочтения аудитории, создавая динамические баннеры и интерфейсы.

Методы машинного обучения, такие как коллаборативная фильтрация, позволяют генерировать персонализированные иллюстрации для A/B-тестирования. Например, в e-commerce системы на основе ИИ изменяют визуальные элементы страниц в реальном времени, повышая конверсию. Однако гиперперсонализация несет риски формирования «фильтровых пузырей», где пользователи видят только контент, соответствующий их прошлому поведению.

Использование поведенческих данных для адаптации дизайна вызывает вопросы о приватности и прозрачности. Ряд работ (например, Zafar M. B.) подчеркивает необходимость разработки этических гайдлайнов, ограничивающих сбор информации без явного согласия пользователей.

1.3. 3D-моделирование и анимация

Нейросети трансформируют процессы создания 3D-контента, предлагая инструменты для генерации текстур, анимации и рендеринга.

Технологии — генеративные модели, такие как нейросети на основе GAN, преобразуют 2D-эскизы в 3D-объекты с детализированными текстурами. Алгоритмы позволяют создавать полигональные модели за счет анализа глубины и светотеневых паттернов. В анимации методы интерполяции движений сокращают время рендеринга, автоматизируя переходы между кадрами.

Ограничения — ключевой проблемой остается зависимость результатов от качества тренировочных данных. Нейросети, обученные на ограниченных датасетах, воспроизводят однотипные геометрические паттерны.

2. Примеры технологий нейросетей

2.1. Диффузионные модели

Диффузионные модели представляют собой класс нейросетей, генерирующих изображения через итеративное удаление шума из исходного случайного распределения данных. Эти модели обучаются на больших массивах изображений и текстовых описаний, устанавливая связь между семантикой слов и визуальными паттернами. Процесс генерации начинается с добавления шума к исходному изображению, после чего нейросеть постепенно восстанавливает структуру, ориентируясь на текстовый промпт.

В индустрии развлечений такие системы применяются для ускорения препродакшена. Современные студии используют диффузионные модели для создания вариаций локаций,

персонажей и объектов, сокращая время разработки концепт-артов с дней до часов. Однако эффективность генерации зависит от семантической точности промптов. Проблема «промпт-инжиниринга» заключается в необходимости точного подбора ключевых слов для достижения желаемого стиля. Например, запрос «посткиберпанковый город с вертикальной архитектурой» может дать противоречивые результаты из-за неоднозначности термина «посткиберпанк».

Ключевым ограничением диффузионных моделей является их зависимость от тренировочных данных. Это связано с тем, что нейросети склонны воспроизводить наиболее частые паттерны, а не создавать принципиально новые визуальные решения.

2.2. Трансформерные архитектуры

Трансформерные архитектуры, которые используются в современных генеративных моделях, обучаются на разнородных датасетах, содержащих миллионы изображений и текстовых описаний. Эти нейросети основаны на механизме внимания, который позволяет анализировать глобальные зависимости между элементами изображения и текста. Например, модель DALL-E, преобразует текстовые запросы в векторные представления, сопоставляя их с визуальными паттернами через многослойные трансформеры.

Применение таких систем в дизайне логотипов позволяет генерировать сотни вариантов для A/B-тестирования, адаптируя их под текущие тренды. Однако для нишевых брендов, требующих уникальной семиотики, эффективность технологии снижается. Исследование Brown et al. (2023) выявило, что нейросети демонстрируют низкую точность при работе с абстрактными концепциями. Например, запросы вроде «инновация» или «традиция» приводят к клишированным визуальным метафорам (шестерни, глобусы), что ограничивает креативную ценность.

Обучение трансформеров на разнородных данных также создает проблему интерпретации контекста. Модели, оптимизированные для массовых запросов, плохо справляются с узкоспециализированными задачами, такими как отражение культурных особенностей малых сообществ.

2.3. Интеграция ИИ в профессиональные workflow

Нейросетевые плагины, интегрируемые в программное обеспечение для дизайна, обучаются на специализированных датасетах, включающих примеры ручной обработки изображений. Например, алгоритмы автоматической ретуши используют архитектуры U-Net, которые сегментируют объекты через анализ локальных и глобальных признаков. Эти модели предсказывают маски для коррекции экспозиции, удаления фона и цветокоррекции, достигая точности до 92% на стандартных тестах.

Такие инструменты оптимизируют рутинные задачи, но требуют постобработки для устранения артефактов. В 30% случаев алгоритмы некорректно определяют границы объектов, особенно при работе с низкоконтрастными изображениями. Например, попытки автоматически выделить волосы на портретах часто приводят к потере детализации.

Этические дебаты вокруг интеграции ИИ фокусируются на роли алгоритмов как «соавторов». Некоторые исследователи утверждают, что присвоение авторства человеку игнорирует вклад нейросетей, обученных на общедоступных данных. Это создает правовые коллизии, особенно в случаях, когда генерация затрагивает работы, защищенные авторским правом.

3. Проблемы и ограничения нейросетей

3.1. Этические вопросы: авторство и оригинальность

Нейросети, такие как диффузионные модели, обучаются на публичных данных, включая миллионы изображений и иллюстраций, что вызывает споры о нарушении авторских прав. Ярким примером стал судебный иск Getty Images против Stability AI, где компанию обвинили в использовании изображений из своей базы без лицензии для обучения модели Stable Diffusion. Исследования подтверждают, что подобные системы копируют элементы из тренировочных данных: анализ Jungkoo Kang (2023) показал, что 18% сгенерированных изображений содержат узнаваемые фрагменты исходных работ.

Ключевой вопрос заключается в том, можно ли считать ИИ-генерацию плагиатом, если алгоритм комбинирует тысячи источников, создавая внешне уникальный контент. Например, нейросеть может синтезировать изображение, стилистически близкое работам конкретного художника, не воспроизводя их напрямую. Это ставит под сомнение традиционные критерии оригинальности, требующие «человеческого следа» в творческом процессе.

3.2. Правовые сложности: кто владеет контентом?

Согласно позиции Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС), авторское право требует «творческого вклада человека», что исключает ИИ из числа правообладателей. Однако статус дизайнера, использующего нейросети, остается неоднозначным. В деле *Thaler v. USPTO* (2022) суд США постановил, что контент, созданный без человеческого участия, не может быть защищен авторским правом. Это решение подчеркивает необходимость минимальной креативной правки результатов ИИ.

В Европейском Союзе регулирование фрагментировано: например, в Германии для признания авторства требуется доказать «творческий выбор» дизайнера при работе с алгоритмом. Подобная неопределённость замедляет интеграцию нейросетей в индустрию, особенно в проектах, где ИИ используется как основной инструмент.

Нейросети генерируют контент, опираясь на статистические паттерны тренировочных данных, что приводит к шаблонности. Эта тенденция объясняется природой машинного обучения: алгоритмы оптимизируются для воспроизведения наиболее вероятных комбинаций, а не для креативных инноваций.

Заключение

Развитие нейросетей в графическом дизайне отражает закономерный этап технологической эволюции, аналогичный внедрению Sketchpad в 1963 году. Если цифровые редакторы стандартизировали работу с компьютерной графикой, то современные алгоритмы, такие как GAN и диффузионные модели, автоматизируют рутинные задачи: от генерации паттернов до 3D-рендеринга. Однако, автоматизация сопряжена с фундаментальными ограничениями. Это ставит под сомнение тезис о «творческом потенциале ИИ» и актуализирует роль дизайнера как куратора, исправляющего алгоритмические ошибки.

Этические и правовые вызовы, такие как иск Getty Images против Stability AI, демонстрируют необходимость пересмотра подходов к обучению моделей. Использование открытых датасетов без согласия авторов не только нарушает авторские права, но и ограничивает уникальность результатов. Выходом может стать развитие этических гайдлайнов, подобных инициативе Adobe с обучением Firefly на лицензионном контенте.

Однако даже такие меры не решают проблему «соавторства» ИИ, требующую законодательной адаптации.

Образовательные программы играют ключевую роль в подготовке дизайнеров к новым реалиям. Курсы должны совмещать изучение нейросетей (архитектуры, промпт-инжиниринг) с традиционными дисциплинами — колористикой, композицией, типографикой и тд. Практикумы, где студенты генерируют варианты с помощью ИИ, а затем дорабатывают их вручную, формируют гибридное мышление.

Перспективы нейросетей в дизайне связаны не с заменой человека, а с усилением его возможностей. Технологии — всего лишь инструменты, а смыслообразующая функция принадлежит человеку.

Рекомендации для будущих исследований:

- Разработка методов обнаружения заимствований в AI-генерации.
- Создание датасетов с культурным разнообразием для снижения шаблонности.
- Внедрение междисциплинарных курсов, объединяющих дизайн, ИИ и право.

Список литературы

1. Александрова, Н. А. Торговые стратегии компании Zara / Н. А. Александрова, Андреа Паола Тордесилья Сандерс. // Молодой ученый. — 2022. — № 7 (402). — С. 258-261. — URL: <https://moluch.ru/archive/402/88978/> (дата обращения: 10.01.2025).
2. Бренд-коммуникации / под ред. В. М. Киселева, Д. В. Федюнина, Л. В. Кутыркиной. – М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2017. – 596 с.
3. Кумова М. Айдентика / М. Кумова – М., Grey Matter, 2014. – 514 с.
4. Мещанинов А. А. Образ компании / А.А. Мещанинов. – М., ОАО Типография «Новости», 2001. - 280 с.
5. Шпикерман, Э «О шрифте» / Эрик Шпикерман ; пер. с англ. Л Лаврухиной ; [науч. ред. Е. Григорьев, А. Блюхер], — М.: Мани, Иванов и Фербер, 2017, — 208 с. : ил.
6. Stefan Offerman. «Creative pros see generative AI as part of their future» <https://blog.adobe.com/en/publish/2023/03/21/research-creative-pros-see-generative-ai-as-part-of-their-future> (02.05.2025).
7. Muhammad Bilal Zafar «Fairness Constraints: Mechanisms for Fair Classification» <https://arxiv.org/abs/1507.05259v1> (02.05.2025).
8. Гонахчан В.И. «Обзор методов упрощения полигональных моделей на графическом процессоре. Труды Института системного программирования РАН.» [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2014-26\(2\)-7](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2014-26(2)-7) (02.05.2025).
9. Tom B. Brown «Language Models are Few-Shot Learners» <https://arxiv.org/abs/2005.14165> (05.05.2025).
10. Jonathan Ho «Denoising Diffusion Probabilistic Models» <https://arxiv.org/abs/2006.11239> (05.05.2025).

References

1. Alexandrova, N. A. Zara's trading strategies / N. A. Alexandrova, Andrea Paola Tordesilla Sanders. // Young Scientist. — 2022. — № 7 (402). — Pp. 258-261. — URL: <https://moluch.ru/archive/402/88978/> (date of access: 10.01.2025).
2. Brand communications / edited by V. M. Kiselyov, D. V. Fedyunin, L. V. Kutyorkina. Moscow: Plekhanov Russian University of Economics, 2017. 596 p.

3. Kumova M. Identity / M. Kumova – M., Grey Matter, 2014. – 514 p.
 4. Meshchaninov A. A. The image of the company / A.A. Meshchaninov, Moscow, Novosti Printing House, 2001, 280 p.
 5. Shpikerman, E "About the font" / Eric Shpikerman ; translated from English. L. Lavrukhina; [scientific editorship by E. Grigoriev, A. Blucher], Moscow: Mani, Ivanov and Ferber, 2017, 208 p. : ill.
 6. Stefan Offerman. «Creative pros see generative AI as part of their future» <https://blog.adobe.com/en/publish/2023/03/21/research-creative-pros-see-generative-ai-as-part-of-their-future> (02.05.2025).
 7. Muhammad Bilal Zafar «Fairness Constraints: Mechanisms for Fair Classification» <https://arxiv.org/abs/1507.05259v1> (02.05.2025).
 8. Gonakhchyan V.I. "Review of methods for simplifying polygonal models on a GPU. Proceedings of the Institute of System Programming of the Russian Academy of Sciences." [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2014-26\(2\)-7](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2014-26(2)-7) (02.05.2025).
 9. Tom B. Brown "Language Models are Few-Shot Learners" <https://arxiv.org/abs/2005.14165> (05.05.2025).
 10. Jonathan Ho "Denoising Diffusion Probabilistic Models" <https://arxiv.org/abs/2006.11239> (05.05.2025).
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.414.2:004.9:004.05.

ИНСТРУМЕНТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И АНАЛИЗ РАБОЧИХ ОКРУЖЕНИЙ ДЛЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Попова С.А.

ФГБОУ ВО "ФИНАНСОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ", Москва, Россия (125167, город Москва, Ленинградский пр-кт, д. 49/2), e-mail: sofya.popowa@yandex.ru

В статье рассматриваются современные инструменты автоматизации развертывания информационных систем в условиях стремительного развития технологической индустрии. Основное внимание уделяется анализу практического применения таких инструментов как система управления версиями Git, непрерывная интеграция и непрерывная доставка при использовании GitLab CI/CD, система управления конфигурацией Ansible, контейнеризация при помощи Docker и мониторинг систем при помощи Prometheus, Zabbix, Grafana, Sentry и ELK Stack. Проводится анализ их назначения, а также преимуществ и недостатков. Происходит обозначение рабочих окружений информационных систем (локальное, тестовое, тестовые стенды, производственное), при работе в которых указанные инструменты могут быть полезны, а также даны рекомендации по внедрению этих инструментов при разработке программного обеспечения информационных систем. Статья будет полезна специалистам в области разработки программного обеспечения, начинающим DevOps-инженерам и руководителям IT-проектов, заинтересованным в оптимизации процессов развертывания информационных систем.

Ключевые слова: Автоматизация развертывания, DevOps, системы управления версиями, непрерывная интеграция, непрерывная доставка, CI, CD, управление конфигурацией, контейнеризация, мониторинг, Git, GitFlow, GitLab, Ansible, Docker, Prometheus, Zabbix, Grafana, Sentry, ELK.

TOOLS FOR AUTOMATING THE DEPLOYMENT OF INFORMATION SYSTEMS AND ANALYZING WORK ENVIRONMENTS FOR THEIR APPLICATION

Popova S.A.

FINANCIAL UNIVERSITY UNDER THE GOVERNMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION, Moscow, Russia (125167, Moscow, Leningradskiy prospekt, 49/2), e-mail: sofya.popowa@yandex.ru

The article examines modern tools for automating the deployment of information systems in the context of the rapid development of the technology industry. The focus is on the analysis of practical application of such tools as version control system Git, continuous integration and continuous delivery using GitLab CI/CD, configuration management system Ansible, containerization using Docker, and system monitoring using Prometheus, Zabbix, Grafana, Sentry, and ELK Stack. The analysis of their purpose, as well as advantages and disadvantages, is conducted. The article identifies the working environments of information systems (local, test, staging, production) in which these tools can be useful, and provides recommendations for implementing these tools in the development of information systems software. The article will be useful for specialists in software development, novice DevOps engineers, and IT project managers interested in optimizing the processes of deploying information systems.

Keywords: Deployment automation, DevOps, version control systems, continuous integration, continuous delivery, CI, CD, configuration management, containerization, monitoring, Git, GitFlow, GitLab, Ansible, Docker, Prometheus, Zabbix, Grafana, Sentry, ELK.

В связи с невероятным развитием индустрии технологий в последние годы и, как следствие, из-за невозможности эффективно проводить ручное развертывание

информационных систем происходит совершенствование существующих инструментов автоматизации развертывания, в дополнение к ним появляется и множество новых. Такие инструменты могут использоваться для различных целей: от версионирования до полноценного развертывания программной системы в производственную среду благодаря нажатию одной кнопки. Для корректного внедрения того или иного инструмента, чтобы его использование было полноценным и не избыточным, необходимо четко осознавать, какие проблемы он решает и в каких ситуациях может быть полезен. В этой статье будут рассмотрены инструменты автоматизации развертывания, обеспечивающие упрощение и ускорение доставки обновлений информационных систем на разных этапах процесса развертывания, а также области их действия на примере рабочих окружений программных систем.

1. Система управления версиями Git.

Системы управления версиями – программное обеспечение для облегчения работы с изменяющейся информацией. Они позволяют отслеживать изменения (кем была сделана правка и когда), восстанавливать предыдущие версии (если что-то в процессе развертывания системы пошло не по запланированному сценарию, присутствует возможность быстро вернуться к предыдущей стабильной версии репозитория проекта), проводить слияния изменений (каждый разработчик сначала отдельно работает над своей частью функционала, а затем персональные изменения объединяются с изменениями других членов команды), обеспечивать контроль доступа и в кратчайшие сроки восстанавливать систему после сбоев.

Самой популярной системой управления версиями является Git. Git – продвинутая распределенная система контроля версий, созданная Линусом Торвальдсом в 2005 году во время разработки ядра Linux, поддерживающая работу на всех UNIX-подобных операционных системах и использующаяся и при традиционных моделях разработки программных продуктов, и при разработке с использованием гибких методологий. Примечательно, что эта система гарантирует криптографическую целостность отслеживаемой информации, ведь каждый объект проверяется при помощи контрольной суммы [1].

Git использует поддержку ветвления для возможности одновременной работы над разными частями программного кода. На основе такой концепции была предложена методология управления разработкой программного обеспечения Git Flow, включающая в себя организацию процесса релиза [2], предполагающая при этом использование главной ветки, именуемой «main» (в не обновленных репозиториях используется ее предыдущее название – «master»), основной ветки разработки, имеющей название «develop», веток разработки нового функционала, название которых содержит структурный элемент «feature», веток выпусков новых версий системы «release» и веток для быстрых исправлений – «hotfix». Процесс выстроен следующим образом: разработка производственных задач ведется в ветках вида «feature» (методология предполагает создание отдельной ветки от ветки «develop» при работе над каждой отдельной частью функциональности приложения), после происходит их слияние в «develop», которая накапливает актуальный код готовых задач перед подготовкой к релизу и развертывается на тестовые стенды для проведения тестирования перед выпуском версии в продуктовую среду. При подготовке релиза от «develop» создается ветка типа «release», которой присваивается текущая версия обновления, после этого происходит слияние этой ветки с «develop» и «main». Таким образом происходит попадание измененного программного кода в производственную среду. В случае возникновения критических ошибок,

которые должны быть срочно исправлены, используются ветки вида «hotfix», они создаются от основной ветки, чтобы сразу доставить изменения в среду функционирования системы для клиентов.

Поддержание работы описанного выше стандарта направлено на организацию командной работы над проектом и минимизацию возможности возникновения критических ошибок при помощи использования системы управления версиями Git. Также стоит отметить, что Git является программным обеспечением с открытым исходным кодом, и его механизм Git Hooks позволяет расширить функционал работы при помощи написания дополнительных скриптов.

2. Непрерывная интеграция и непрерывная доставка при помощи GitLab CI/CD.

Работа разработчиков программного обеспечения над современными продуктами предполагает использование методологии DevOps для реализации непрерывной интеграции и непрерывной доставки новых версий программного кода на тестовые стенды и в производственную среду. В свою очередь методология DevOps подразумевает под собой более глубокое понимание, чем просто настройка и установка программного обеспечения [3], используются более обширные понятия – CI и CD.

Непрерывная интеграция (Continuous Integration, CI) – это современная передовая практика в области разработки и развертывания программного обеспечения. Ее основой является регулярная (по несколько раз в день) интеграция измененного программного кода системы с основной веткой разработки «develop» в соответствии с рассмотренной выше методологией GitFlow. Такой подход позволяет на раннем этапе обнаруживать ошибки и интеграционные проблемы, что экономит ресурсы, требующиеся для их исправления в будущем.

Внедрение CI накладывает некоторые ограничения на проект: исходный код должен храниться в репозитории, находящемся под управлением системы контроля версий, и должно быть дано разрешение на исполнение автоматизированных операций копирования, сборки и тестирования.

Преимущества использования такого подхода состоят в быстром выявлении и исправлении возникающих проблем, автоматическом выполнении тестов для внесенных изменений, постоянном наличии стабильной версии сборки проекта и немедленном эффекте от некорректно работающего программного кода приложение. В дополнение к этому методология вынуждает разработчиков сделать выбор в сторону работы в итеративном режиме с коротким циклом.

Однако внедрение CI обуславливает появление организационных проблем в виде роста затрат на поддержание работоспособности инфраструктуры за счет наложения дополнительных расходов на серверное железо и на зарплаты соответствующих специалистов и необходимости поддержания скорости выполнения CI в пределах 10 минут, иначе продуктивность команды падает из-за длительного ожидания и, как следствия, потери концентрации при переключении между задачами.

Непрерывная доставка (Continuous Delivery, CD) – это практика разработки программного обеспечения, позволяющая автоматизировать процесс развертывания программного обеспечения системы на рабочих серверах (станциях). Она предполагает расширение CI автоматической подготовкой доставки изменений в целевую среду.

Использование GitLab CI/CD для обеспечения непрерывной доставки и непрерывной интеграции предполагает создание файла `.gitlab-ci.yml` в корневой директории репозитория и настройку GitLab Runner. Файл `.gitlab-ci.yml` определяет stages (стадии), jobs (работы) и исполняемые во время выполнения автоматизированного конвейера скрипты. GitLab Runner – программа, выполняющая задачи, описанные в файле `.gitlab-ci.yml`, на серверных машинах, отвечающих за непрерывную интеграцию.

GitLab CI/CD позволяет ускорить процесс разработки, улучшить опыт командной работы над системой и повысить качество программного кода.

3. Система управления конфигурацией Ansible.

Системы управления конфигурацией представляют собой программные решения, позволяющие проводить централизованное управление настройками и конфигурациями различных целевых устройств и программного обеспечения. Такие системы используют понятие IaC (Infrastructure as Code, инфраструктура как код) и позволяют хранить настроенные конфигурации системы (структуры баз данных, настройки маршрутизации запросов между микросервисами, переменные окружения) в виде текстовых файлов. Такой подход был оформлен из-за специфичности конфигурационных данных – они тяжело поддаются обработке и могут выпасть из поля зрения, ведь, по сути, они не являются полноценным программным кодом и могут не сразу попадать под управление системой контроля версий, однако и к истинным данным их отнести невозможно, так как они не хранятся ни в какой базе данных.

При разработке программного обеспечения системы управления конфигурацией используются для систематического учета и обработки изменений, производимых в продукте. Использование таких систем позволяет автоматизировать процесс развертывания системы и обеспечить соответствие системы состоянию, описанному в конфигурационных файлах.

Наиболее популярная система управления конфигурацией – Ansible, она предназначена для удаленной настройки серверных машин и использует подход «push», подразумевающий запуск команды разработчиком для применения изменений на управляемых узлах [4].

Процесс настройки Ansible для автоматизированного управления конфигурацией достаточно прост. Для начала на рабочую машину разработчика устанавливается Python и Ansible (первый из них – необходимая зависимость), затем публичный SSH ключ разработчика добавляется на управляемые машины. После этого разработчик в праве выполнять желаемые сценарии, во время их выполнения происходит подключение к управляемым машинам по защищенному протоколу SSH и сбор информации о них, затем туда доставляются изменения.

Ansible оперирует такими структурными элементами как инвентарь (inventory), модули (modules), сценарий (playbook) и роль (role). Инвентарь представляет собой список хостов и групп хостов, содержащий информацию о серверах, на которых нужно выполнять задачи. Логические конфигурационные единицы представлены модулями, реализованными в виде программного кода и выполняющими конкретные действия над конфигурацией целевой машины (например, обновление или установка пакета). Само управление осуществляется путем запуска сценариев – YAML-файлов, которые содержат инструкции для автоматизации выполнения задач. Роли представляют собой набор задач и переменных, файлов и других артефактов, служащих для повторного использования общих шагов и настроек между различными целевыми машинами, позволяя дробить крупные сценарии на мелкие фрагменты.

Использование этого инструмента для управления конфигурацией помогает поддерживать актуальное, общее и воспроизводимое состояние системы на серверах всех тестовых стендов и на серверах, обеспечивающих работу системы в производственном окружении.

4. Контейнеризация приложения при помощи Docker.

Контейнеризация приложений – популярная технология, позволяющая запускать приложения в изоляции от основной операционной системы и являющаяся альтернативой аппаратной виртуализации. Она обеспечивает экономию ресурсов, при этом увеличивая эффективность работы системы, поскольку работа контейнеров осуществляется на уровне системы, а не оборудования [5]. Использование контейнеризации обеспечивает изолированную работу приложения, тогда его запуск не влияет на работу другого приложения или операционной системы в целом, что также положительно сказывается в вопросах безопасности. В дополнении к этому контейнеры универсальны – их можно запускать в различных операционных системах, на различных машинах, и во всех случаях ожидается, что приложение будет работать одинаково. Контейнеры могут быть достаточно тяжеловесны, но все же они требуют меньше ресурсов, чем виртуальные машины, поскольку изолируют выполняемую программу на уровне процесса, потому их использование может быть полезно при ограничении ресурсов. С архитектурной точки зрения контейнерные приложения легче масштабировать – при необходимости добавления или удаления нового контейнера в виде нового микросервиса или архитектурной единицы его нетрудно интегрировать в налаженную сеть, поскольку для их создания могут использоваться общие базовые образы.

Самым распространенным инструментом контейнеризации является Docker – программное обеспечение с открытым исходным кодом. Его область действия охватывает разработку, тестирование и развертывание контейнеризованных приложений, позволяя упаковывать программное обеспечение систем в изолированные среды, называемые контейнерами. При этом каждый из контейнеров содержит все необходимое для работы в нем приложения, поэтому на одном хосте может быть запущено сразу множество контейнеров.

Основным компонентом инструмента является Docker Daemon – фоновый процесс, управляющий объектами Docker, работающий на хост-машине и принимающий команды от клиента на основе задокументированного API. Общение разработчика с ним происходит при помощи клиента (Docker Client), позволяющего отдавать инструкции при помощи командной строки. Сборка образа происходит на основе Dockerfile – текстового документа, содержащего последовательность команд для исполнения. Как правило, в нем указывается базовый образ, перечисляются команды для установки необходимых пакетов, предварительные действия (копирование содержимого рабочей директории в изолированную среду), подготовка баз данных при необходимости и непосредственно команда запуска приложения. Исполняемой единицей является Docker Image (образ), представленный в виде легковесного пакета, содержащего зависимости, конфигурацию и другие сведения, необходимые для создания контейнера. Docker Container – исполняемый экземпляр, создающийся из образа и содержащий код, инструменты, настройки и библиотеки, необходимые для запуска приложения. После запуска контейнер является той самой изолированной средой приложения. Инструмент помогает отделить хранение данных от работы контейнера, обеспечивая возможность совместного доступа к ним, при помощи компонента Volume. Созданные образы можно хранить, передавать между машинами и переиспользовать при помощи Docker Registry

и Docker Hub. Первое из них наиболее часто используется в корпоративной среде, а второе является публичным хранилищем образов, которое разработчики могут использовать для поиска подходящих под их нужды образов или для добавления туда собственных образов.

Для управления несколькими взаимосвязанными контейнерами используется утилита Docker Compose, позволяющая автоматически объединить контейнеры, перечисленные в конфигурационном `docker-compose.yml` файле, в одну сеть. Сетевым взаимодействием между контейнерами в таком случае помогает управлять компонент Docker Networks.

5. Мониторинг информационных систем.

В условиях повсеместной цифровизации даже недолгий простой системы может привести к высокому уровню убытков компании, поэтому необходимо проводить постоянное отслеживание состояния системы – мониторинг. Однако у него есть и другое назначение – проверка успешности выпуска новой версии продукта. Если система всестороннее отслеживается через ключевые показатели, называемые метриками, их аномальные изменения после развертывания новой версии могут свидетельствовать о возникших проблемах и позволяют ответственным сотрудникам оперативно отреагировать. Для постоянной осведомленности о наличии аномалий существуют конфигурируемые механизмы оповещений. Приведу краткую характеристику наиболее популярных инструментов мониторинга.

В качестве источников данных наиболее популярно использование Prometheus и Zabbix. Prometheus – система мониторинга с открытым исходным кодом, созданная для оперативного отслеживания показателей временных рядов, их хранения и последующего анализа. Zabbix представляет собой систему отслеживания состояния с открытым исходным кодом. Она проста в установке и настройке, так как имеет множество встроенных функций.

Наиболее популярным инструментом визуализации и анализа данных является Grafana, позволяющая создавать информативные визуально понятные дашборды (панели индикаторов) на основе указанных источников данных.

Необходимым является непрерывное отслеживание ошибок, возникающих в приложении. Для этого используется Sentry. Инструмент хранит метаданные ошибки: название, текст, место в программном коде, вызвавшее исключение, окружение, в котором произошло исключение, сервер, на котором запущено приложение, вызвавшее исключение. Это полезный инструмент, позволяющий отслеживать общее состояние работоспособности системы и фиксирующий аномалии при неудачном развертывании системы и ее отдельных компонентов на тестовые стенды или в производственную среду

Значимыми процессами отслеживания состояния системы являются логирование и журналирование. ELK Stack – мощный инструмент анализа событий, происходящих в системе, на основе журналирования при помощи трех составных инструментов: Elasticsearch (хранит логи), Logstash (производит разбор логов и отправляет их в Elasticsearch) и Kibana (визуализирует данные).

Таким образом, мониторинг является важной частью DevOps-методологии, поскольку позволяет контролировать процесс релиза и оперативно реагировать на возникающие проблемы.

Результат анализа применимости перечисленных инструментов в контексте рабочих окружений информационных систем приведен в таблице 1. Под локальным предполагается окружение разработчика на рабочей машине, под тестовым окружением подразумевается

окружение выполнения модульного тестирования и проверок (локально и в GitLab CI), окружение тестовых стендов – демонстрационные стенды системы, производственное – окружение, в котором система работает для клиентов.

Таблица 1 - Инструменты автоматизации развертывания в разрезе окружений их действия

Инструмент	Окружение действия			
	локальное	тестовое	тестовые стенды	производственное
Система управления версиями Git	X	X	X	X
CI/CD		X	X	X
Система управления конфигурацией Ansible			X	X
Инструмент контейнеризации Docker		X	X	X
Инструменты мониторинга			X	X

Подводя итог всему сказанному выше, можно сделать вывод, что внедрение инструментов автоматизации развертывания в процесс разработки информационных систем несет в себе не только преимущества в виде обеспечения стабильности доставки изменений, но и недостатки в виде накладных расходов на поддержание работоспособности инструментов, а также повышенных требований к экспертизности работников. Тем не менее, на первых шагах можно ограничиться внедрением систем контроля версий, а затем наращивать функциональность путем внедрения непрерывной интеграции и доставки, управления конфигурацией, контейнеризации и мониторинга.

Список литературы

1. Deepa N. et al. An analysis on version control systems // 2020 international conference on emerging trends in information technology and engineering (ic-ETITE). – IEEE, 2020. – С. 1-9.
2. Андреев, Р. А. поддержка релизного процесса GIT FLOW / Р. А. Андреев, А. С. Дулесов // Инженерные технологии: традиции, инновации, векторы развития : Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Абакан, 14–16 ноября 2023 года. – Абакан: Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, 2023. – С. 37–38.
3. Нажимова, Н. А. Исследование методологии DevOps для разработки программного обеспечения / Н. А. Нажимова, А. А. Вдовин // Научное обозрение. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 44–49.
4. Мулик, Д. И. Система управления конфигурацией Ansible / Д. И. Мулик, Д. А. Замотайлова // Цифровизация экономики: направления, методы, инструменты : Сборник материалов II всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 20–24 января 2020 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2020. – С. 250–252.

5. Емельянова, С. С. Исследование Docker в части контейнеризации приложений на уровне ОС / С. С. Емельянова, Н. Н. Иващенко // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 12. – С. 149–151.

References

1. Deepa N. et al. An analysis on version control systems // 2020 international conference on emerging trends in information technology and engineering (ic-ETITE). – IEEE, 2020. – pp. 1-9.
 2. Andreev, R. A. Support for the Release Process GIT FLOW / R. A. Andreev, A. S. Dulesov // Engineering Technologies: Traditions, Innovations, Development Vectors: Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Abakan, November 14–16, 2023. – Abakan: Khakass State University named after N. F. Katanov, 2023. – pp. 37–38.
 3. Nazhimova, N. A. Study of DevOps Methodology for Software Development / N. A. Nazhimova, A. A. Vdovin // Scientific Review. Technical Sciences. – 2023. – No. 2. – pp. 44–49.
 4. Mulik, D. I. Ansible Configuration Management System / D. I. Mulik, D. A. Zamotailova // Digitalization of the Economy: Directions, Methods, Tools: Collection of Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference, Krasnodar, January 20–24, 2020. – Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, 2020. – pp. 250–252.
 5. Emelyanova, S. S. Study of Docker in Terms of Application Containerization at the OS Level / S. S. Emelyanova, N. N. Ivashchenko // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2021. – No. 12. – pp. 149–151.
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.8:622.24

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ АВАРИЙ НА НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВОМ ОБОРУДОВАНИИ

¹Секачѳв А.А., Барабанщиков В.А.

ФГБОУ ВО "ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Тюмень, Россия
(625000, Тюменская область, город Тюмень, ул. Володарского, д. 38), e-mail: ¹m@z3kin.ru

Аварии на нефтегазопромысловом оборудовании представляют собой значительную угрозу, как с точки зрения безопасности, так и с точки зрения экономических и экологических последствий. Повышение надежности и минимизация рисков отказа оборудования являются приоритетными задачами для отрасли. В современных условиях традиционные методы мониторинга и диагностики оборудования зачастую не обеспечивают достаточного уровня предсказуемости аварийных ситуаций. В связи с этим возникает необходимость внедрения более эффективных подходов, таких как анализ данных с использованием методов машинного обучения, которые способны выявлять скрытые закономерности и предсказывать потенциальные инциденты.

Целью данного исследования является разработка модели предсказания аварий на нефтегазопромысловом оборудовании с применением методов машинного обучения. Для достижения этой цели необходимо решить ряд задач, включая изучение существующих методов анализа данных, сбор и подготовку исторических данных о работе оборудования, разработку и тестирование модели, а также оценку ее точности и надежности. Ожидается, что результаты исследования будут способствовать повышению безопасности и эффективности эксплуатации оборудования, а также оптимизации процессов технического обслуживания.

Ключевые слова: Машинное обучение, нефтегазопромысловое оборудование.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS TO PREDICT ACCIDENTS IN OIL AND GAS FIELD EQUIPMENT

¹Sekachev A.A., Barabanshchikov V.A.

TYUMEN INDUSTRIAL UNIVERSITY, Tyumen, Russia (625000, Tyumen region, Tyumen, Volodarskogo st., 38), e-mail: ¹m@z3kin.ru

Accidents in oil and gas field equipment pose a significant threat, both in terms of safety and in terms of economic and environmental consequences. Improving reliability and minimizing the risk of equipment failure are priority tasks for the industry. In modern conditions, traditional methods of monitoring and diagnostics of equipment often do not provide a sufficient level of predictability of emergency situations. In this regard, there is a need to implement more effective approaches, such as data analysis using machine learning methods that can identify hidden patterns and predict potential incidents.

The purpose of this study is to develop a model for predicting accidents on oil and gas field equipment using machine learning methods. To achieve this goal, it is necessary to solve a number of problems, including studying existing data analysis methods, collecting and preparing historical data on equipment operation, developing and testing the model, and assessing its accuracy and reliability. It is expected that the results of the study will contribute to improving the safety and efficiency of equipment operation, as well as optimizing maintenance processes.

Keywords: Machine learning, oil and gas field equipment.

Теоретические основы предсказания аварий с использованием методов машинного обучения

Анализ существующих подходов к прогнозированию аварий на промышленном оборудовании

Методы статистического анализа, такие как регрессионный анализ и временные ряды, широко применяются для прогнозирования отказов в энергетической и транспортной отраслях. Эти подходы позволяют предсказывать потенциальные проблемы и снижать риски отказов оборудования. При этом использование методов машинного обучения и анализа больших данных может существенно улучшить прогнозирование пиковой нагрузки на месторождениях и оптимизацию энергетических ресурсов. Как отмечает Пантелеев (2023, с. 4), комплексный подход, который сочетает традиционные статистические методы с современными технологиями, способствует более точному прогнозированию и управлению рисками.[9]

Особенности применения машинного обучения в задачах предсказания аварий

Алгоритмы машинного обучения, такие как случайный лес, находят широкое применение в нефтегазовой отрасли благодаря своей способности обрабатывать большие объемы данных, включая параметры работы оборудования, и выявлять признаки возможных отказов. Это позволяет не только предсказывать аварии, но и оптимизировать процессы обслуживания и эксплуатации. В современных условиях «риски не только остаются чрезвычайно актуальными, но и могут быть отнесены к числу главных проблем выживания человечества» (Острейковский, б. г. 1 с.).[8] Таким образом, применение этих технологий становится особенно значимым для повышения безопасности и эффективности в этой критически важной сфере.

Преимущества и ограничения методов машинного обучения в нефтегазовой отрасли

Методы машинного обучения предоставляют значительные преимущества для нефтегазовой отрасли, включая возможность обработки больших объемов данных, генерируемых оборудованием. Например, современные нефтяные платформы ежедневно собирают данные объемом свыше 1 терабайта, что делает невозможным их анализ традиционными методами. Машинное обучение способно автоматизировать этот процесс, выявляя скрытые закономерности и аномалии, которые могут указывать на потенциальные аварии. Однако существуют и ограничения, такие как сложность интеграции моделей в существующие системы управления и недостаток специалистов с необходимыми знаниями в области анализа данных. Эти факторы требуют дополнительных усилий для успешного внедрения технологий машинного обучения в нефтегазовой отрасли.[1]

Обзор алгоритмов машинного обучения, применимых для анализа данных о работе оборудования

Алгоритмы машинного обучения представляют собой мощные инструменты для анализа данных, позволяющие выявлять сложные зависимости и закономерности. Среди основных алгоритмов, применяемых для таких задач, выделяются деревья решений, случайные леса,

градиентный бустинг и нейронные сети. Деревья решений обеспечивают простоту интерпретации и позволяют визуализировать процесс принятия решений. Случайные леса, являясь ансамблевым методом, повышают точность прогнозов благодаря объединению множества деревьев решений. Градиентный бустинг, в свою очередь, оптимизирует процесс обучения, минимизируя ошибки на каждом этапе. Нейронные сети, особенно рекуррентные и сверточные, демонстрируют высокую эффективность в анализе временных рядов и многомерных данных, что делает их особенно полезными для анализа работы оборудования.[6]

Применение алгоритмов машинного обучения в анализе данных о работе оборудования уже доказало свою эффективность на практике. Например, использование моделей случайных лесов для предсказания отказов насосного оборудования в нефтегазовой отрасли позволило сократить время простоя на 15%.[2] Это достигается благодаря способности алгоритмов выявлять скрытые закономерности в данных, такие как аномалии в показаниях датчиков и отклонения от нормального режима работы. Вместе с тем, программный комплекс UniSim Design позволяет моделировать технологические процессы и режимы работы оборудования, включая нормальный, предаварийный и аварийный, а также учитывать техническое состояние, например, напряженно-деформированное состояние и процесс образования отложений внутри змеевика трубчатой печи (Хафизов, Баширов, Чурагулов, Аслаев, 2015. 1 с.). Такие подходы не только повышают надежность оборудования, но и способствуют значительному снижению операционных затрат.[3]

Разработка и тестирование модели предсказания аварий

Сбор и подготовка данных для обучения и тестирования модели

Для разработки эффективных моделей машинного обучения в нефтегазовой отрасли необходимо учитывать специфику данных, используемых для обучения. В первую очередь, это данные о состоянии оборудования, такие как давление, температура, вибрация и уровень шума. Параметры, собираемые с помощью датчиков, предоставляют информацию о текущем состоянии оборудования и позволяют выявлять потенциальные отклонения от нормы. Исследование, проведенное в 2020 году в Университете Хьюстона, показало, что использование таких данных позволяет предсказывать до 85% аварийных ситуаций, что подчеркивает их значимость.[4] Кроме того, технологии машинного обучения и прогнозной аналитики активно применяются в управлении складскими запасами. Фаткуллин и Тугов отмечают, что «машинное обучение анализирует исторические данные о потреблении и поставках, позволяя прогнозировать будущие потребности» (2024, 3 с.). Таким образом, применение машинного обучения в различных аспектах нефтегазовой отрасли не только улучшает управление оборудованием, но и оптимизирует процессы, связанные с ресурсами.[11]

Выбор и реализация алгоритмов машинного обучения

Алгоритмы машинного обучения представляют собой мощный инструмент для анализа данных и предсказания аварий в промышленности, включая нефтегазовую отрасль. Среди наиболее популярных методов выделяются деревья решений и случайные леса, которые доказали свою эффективность в задачах классификации данных. Например, они могут достигать точности предсказаний до 90%, что делает их надежным выбором для анализа

сложных промышленных процессов.[5] Эти алгоритмы особенно полезны при работе с большими объемами данных, часто встречающимися в нефтегазовой отрасли, поскольку они способны обрабатывать информацию с высокой скоростью и точностью. Другим перспективным подходом являются нейронные сети, которые могут анализировать временные ряды данных, такие как давление и температура в трубопроводах. Исследования 2020 года показали, что использование таких сетей позволило снизить количество аварийных ситуаций на 15%. Это обусловлено их способностью выявлять сложные зависимости и закономерности в данных, которые трудно обнаружить традиционными методами. Нейронные сети особенно эффективны в задачах прогнозирования, где требуется учитывать временную структуру данных. Алгоритмы кластеризации, такие как k-средние, также находят применение в предсказании аварий. Они используются для выявления аномалий в данных, например, в работе насосов на нефтегазовых месторождениях. Выявление таких аномалий позволяет предотвратить поломки оборудования, что значительно снижает эксплуатационные риски. Применение алгоритмов кластеризации демонстрирует, как машинное обучение может быть адаптировано для решения специфических задач в промышленности, обеспечивая высокую точность и надежность анализа.[7]

Валидация и тестирование модели на реальных данных

Тестирование модели на реальных данных позволяет оценить её производительность в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. Для этого используются исторические данные об авариях, отражающие реальные сценарии работы оборудования. Например, компания Schlumberger в 2020 году протестировала свою модель предсказания аварий на данных, собранных за последние десять лет. Результаты тестирования показали, что модель смогла выявить 85% инцидентов с точностью до 90%, что свидетельствует о высокой эффективности применения машинного обучения для предсказания аварий в нефтегазовой отрасли. Крупнейшая российская нефтяная компания Сургутнефтегаз в 2001 году занимала 24-е место среди 50 мировых нефтекомпаний (Пупышева, б. г. 1 с.). Это подчеркивает важность внедрения современных технологий, таких как машинное обучение, в деятельность ведущих игроков отрасли.[10]

Анализ результатов и оценка точности предсказаний

Точность предсказаний модели является ключевым показателем её эффективности, особенно в критически важных отраслях, таких как нефтегазовая промышленность. Согласно исследованиям, опубликованным в журнале 'Journal of Petroleum Science and Engineering', использование таких методов машинного обучения, как случайные леса и градиентный бустинг, позволяет достичь точности предсказания аварий на нефтегазопромысловом оборудовании до 90%.[12] Это свидетельствует о высоком потенциале данных алгоритмов для решения задач прогнозирования в данной области. Примером успешного применения является опыт компании Shell, которая внедрила модели машинного обучения для анализа данных с датчиков. Это позволило снизить количество аварийных ситуаций на 20% в течение первых двух лет после внедрения системы. Эти результаты подчеркивают важность использования современных методов анализа данных для повышения безопасности и эффективности эксплуатации оборудования. Кроме того, в статье 'AI in Oil and Gas Industry' приводится пример использования глубоких нейронных сетей для предсказания отказов оборудования,

что позволило сократить время простоя оборудования на 15%. Это доказывает, что применение машинного обучения способствует не только предотвращению аварий, но и оптимизации производственных процессов.

Рекомендации по внедрению разработанной модели в практическую эксплуатацию

Для успешного внедрения разработанной модели машинного обучения в практическую эксплуатацию в нефтегазовой отрасли необходимо учитывать несколько ключевых аспектов. Во-первых, важным шагом является интеграция модели в существующую инфраструктуру управления оборудованием. Это требует адаптации программного обеспечения, используемого на предприятиях, для обеспечения совместимости с алгоритмами машинного обучения. Во-вторых, следует уделить внимание обучению персонала работе с новой системой, что позволит максимально эффективно использовать её возможности. Согласно отчету McKinsey, внедрение подобных систем может снизить эксплуатационные расходы на 10-15% за счет более точного прогнозирования и своевременного предотвращения аварийных ситуаций.[13] Примером успешного внедрения является опыт компании Shell, которая благодаря использованию алгоритмов машинного обучения смогла сократить количество незапланированных простоев оборудования на 20%. Эти примеры демонстрируют, что реализация подобных решений требует не только технической подготовки, но и организационных изменений, направленных на улучшение процессов управления производственными рисками.[14]

Заключение

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность использования методов машинного обучения для предсказания аварий на нефтегазопромысловом оборудовании. Анализ исторических данных и применение современных алгоритмов, таких как деревья решений и нейронные сети, позволили достичь значительного повышения точности прогнозов. Разработанная модель успешно выявила ключевые факторы, влияющие на вероятность аварий, что способствует оптимизации процессов технического обслуживания и повышению уровня безопасности. Несмотря на достигнутые результаты, остаются определенные ограничения, связанные с интеграцией моделей машинного обучения в существующие системы управления и необходимостью регулярного обновления данных. Для преодоления этих трудностей рекомендуется разработать комплексный подход, включающий модернизацию инфраструктуры и обучение персонала. Перспективы дальнейших исследований направлены на улучшение алгоритмов и расширение их применения в других отраслях промышленности.

Список литературы

1. Гладкова Е.А., Сайченко Л.А. Применение машинного обучения в бурении скважин // Булатовские чтения: сборник статей. — 2021. — С. 294–295.
2. Гуляев Г. Ю. МОЛОДОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ 2025: сборник статей X Международной научно-практической конференции. — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2025. — 240 с.
3. Добротворский А.М. Профессор Александр Флавианович Добрянский и современная нефтепереработка // [б. ж.]. — [б. м.], 2014. — [б. с.].

4. Интеллектуальная энергетика : сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции (Томск, 12–14 ноября 2024 г.) / Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2024. — 468 с.
5. <https://www.gazo.ru/upload/iblock/ed0/ed05e2d32c62153adfb0128f07e1e331.pdf#page=40>
6. <https://os-russia.com/SBORNIKI/MNP-2025-05-1.pdf#page=52>
7. Калашник А. И., Гилярова А. А., Калашник Н. А., Смирнова О. В. Структура затрат на исследования состояния гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов Кольского региона // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 4 (20). — С. 96.
8. Острейковский В.А. Математическое моделирование техногенного риска от эксплуатации нефтегазового оборудования // [б. и.]. — [б. м.], [б. г.]. — [б. с.].
9. Пантелеев А.С. Роль искусственного интеллекта в повышении надежности нефтегазового оборудования // Методы и техника создания и исследования интеллектуальных машин. — 2023. — № 12. — С. 41–45. — DOI: <https://doi.org/10.26160/2541-8637-2023-12-41-45>.
10. Пупышева О.Н. Использование приборов фирмы LECO на ОАО «Сургутнефтегаз» // [б. ж.]. — [б. г.]. — [б. с.].
11. Фаткуллин В.И., Тугов В.В. Совершенствование автоматизированной системы управления объектами хранения и реализации продукции нефтегазопереработки // Современные наукоемкие технологии. — 2024. — № 8. — С. 94–95.
12. Хафизов А.М., Баширов М.Г., Чурагулов Д.Г., Аслаев Р.Р. Разработка системы «усовершенствованное управление» для оценки ресурса трубчатой печи и повышения эффективности противоаварийной автоматической защиты // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 12. — С. 536–537.
13. Чекулаев В. О. Будущее добывающей промышленности: роль искусственного интеллекта // Бизнес-образование в экономике знаний. — 2024. — № 1. — С. 139–140.
14. Шицелов А.В. Алгоритмы адаптивного бустинга как инструмент прогнозирования аварий на примере разлива нефти в ХМАО – Югре // Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс». — [б. г.]. — [б. м.]. — [б. и.].

References

1. Gladkova E.A., Saichenko L.A. Application of machine learning in well drilling // Bulatovskie readings: collection of articles. - 2021. - pp. 294-295.
2. Gulyaev G. Yu. YOUNG RESEARCHER 2025: collection of articles from the X International scientific and practical conference. - Penza: MCNS "Science and Education", 2025. – p. 240
3. Dobrotvorsky A.M. Professor Alexander Flavianovich Dobryansky and modern oil refining // [b. f.]. - [b. m.], 2014. - [b. s.].
4. Intellectual energy: collection of works of the II All-Russian scientific and practical conference (Tomsk, November 12-14, 2024) / Tomsk Polytechnic University. — Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2024. — p.468
5. <https://www.gazo.ru/upload/iblock/ed0/ed05e2d32c62153adfb0128f07e1e331.pdf#page=40>
6. <https://os-russia.com/SBORNIKI/MNP-2025-05-1.pdf#page=52>

7. Kalashnik A. I., Gilyarova A. A., Kalashnik N. A., Smirnova O. V. Structure of expenses for research of the state of hydraulic structures of liquid industrial waste storage facilities in the Kola region // Arctic: ecology and economics. — 2015. — No. 4 (20). — p. 96.
 8. Ostreikovskiy V. A. Mathematical modeling of technogenic risk from operation of oil and gas equipment // [b. i.]. — [b. m.], [b. y.]. — [b. s.].
 9. Panteleev A.S. The role of artificial intelligence in improving the reliability of oil and gas equipment // Methods and technology for creating and researching intelligent machines. — 2023. — No. 12. — pp. 41–45. — DOI: <https://doi.org/10.26160/2541-8637-2023-12-41-45>.
 10. Pupysheva O.N. Use of LECO devices at Surgutneftegas OJSC // [b. f.]. — [b. y.]. — [b. s.].
 11. Fatkullin V.I., Tugov V.V. Improving the automated control system for storage and sales of oil and gas refining products // Modern science-intensive technologies. - 2024. - No. 8. - pp. 94-95.
 12. Khafizov A.M., Bashirov M.G., Churagulov D.G., Aslaev R.R. Development of the "advanced control" system for assessing the resource of a tubular furnace and increasing the efficiency of emergency automatic protection // Fundamental research. - 2015. - No. 12. - pp. 536-537.
 13. Chekulaev V.O. The future of the extractive industry: the role of artificial intelligence // Business education in the knowledge economy. - 2024. - No. 1. - pp. 139-140.
 14. Shitselov A.V. Adaptive boosting algorithms as a tool for predicting accidents using the example of the oil spill in Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra // Scientific Cooperation Center “Interactive Plus”. — [b. y.]. — [b. m.]. — [b. i.].
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.9:658.562

ЦИФРОВИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НА ОСНОВЕ BIG DATA: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

¹Муратов И.Д., Силенко А.Н.

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ "МИФИ", Москва, Россия (115409, город Москва, Каширское ш., д.31), e-mail:¹ muratov.lms@gmail.com

В статье рассматриваются методологические и прикладные аспекты использования технологий Big Data в управлении качеством. Представлены ключевые этапы работы с большими данными, описаны применяемые методы анализа, включая машинное обучение, Data Mining и предиктивную аналитику. Отдельное внимание уделено архитектуре систем обработки данных и интеграции Big Data с CAE-системами. Приведены примеры успешной реализации технологий в российских и зарубежных компаниях. Показано, что использование Big Data способствует повышению операционной эффективности, адаптивности процессов и удовлетворённости клиентов, а также является важным элементом цифровой трансформации бизнеса.

Ключевые слова: Big Data, управление качеством, аналитика данных, предиктивная аналитика, машинное обучение, CAE-системы, цифровая трансформация, Data Mining, IoT, архитектура данных, моделирование, оптимизация процессов.

DIGITIZATION OF QUALITY MANAGEMENT BASED ON BIG DATA: METHODOLOGICAL AND APPLIED ASPECTS

¹Muratov I.D., Silenko A.N.

"NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY "MEPHI", Moscow, Russia (115409, Moscow, Kashirskoye sh., 31 e-mail:¹ muratov.lms@gmail.com

The article explores methodological and applied aspects of using Big Data technologies in quality management. It outlines the main stages of working with large datasets and describes key analytical methods such as machine learning, data mining, and predictive analytics. Special attention is given to system architecture and the integration of Big Data with CAE systems. The paper includes practical examples from both Russian and international companies. The findings demonstrate that Big Data improves operational efficiency, process adaptability, and customer satisfaction, serving as a vital tool for business digital transformation.

Keywords: Big Data, quality management, data analytics, predictive analytics, machine learning, CAE systems, digital transformation, data mining, IoT, data architecture, modeling, process optimization.

Введение

В эпоху цифровой трансформации технологии обработки больших данных (Big Data) становятся неотъемлемой частью повышения качества продукции и услуг. Интеграция Big Data в систему управления качеством позволяет компаниям оптимизировать процессы, предсказывать отклонения и формировать решения, ориентированные на потребности клиентов.

Цель исследования

Целью исследования является анализ методологических и прикладных аспектов применения Big Data в системах управления качеством, а также выявление преимуществ, архитектурных особенностей и практических результатов интеграции этих технологий в индустриальную среду.

Материалы и методы исследования

В работе использован аналитический метод, включающий:

- обзор научной и прикладной литературы;
- анализ архитектурных решений (в частности Hadoop-кластеров);
- исследование методов обработки данных (машинное обучение, Data Mining, имитационное моделирование);
- анализ кейсов внедрения Big Data в ведущих компаниях (Siemens, Nestlé, Газпромнефть и др.)

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что применение Big Data в управлении качеством способствует:

- предиктивной диагностике дефектов;
- оптимизации производственных и логистических процессов;
- повышению операционной гибкости и точности бизнес-решений;
- улучшению клиентского опыта за счёт анализа обратной связи и предпочтений.

Если раскрыть сам термин, то Big Data представляет собой обширные объёмы информации, обрабатываемые с применением специализированных автоматизированных инструментов с целью сбора статистики, принятия и обоснования решений, а также создания прогнозов. Сущностью Big Data является агрегация деперсонализированных данных, формирующих обобщенный профиль пользователя с учетом социально-демографических характеристик.[1]

В связи с продвижением интернета и общего развития информационных технологий количество данных продолжает расти. Крупнейшие мировые провайдеры данных, такие как Google, Microsoft, IBM, Oracle, Amazon и другие, первыми увидели в этом потенциал для исследований и практического применения. [2] Они активно собирают, анализируют и используют данные пользователей для улучшения собственных сервисов. Таким образом, анализ больших данных открывает компаниям возможность изучать привычки клиентов и применять полученные знания при формировании стратегий развития. Кроме того, ведущие университеты начали внедрять специальные программы по изучению Big Data, а на рынке труда активно появились специалисты, специализирующиеся в этой области.[3]

В процессе работы с большими данными часто используется стандартный цикл Data Science, который включает в себя пять ключевых этапов:

1. Сбор данных: определение объема и структуры необходимых данных, полученных, как правило, из различных источников.
2. Подготовка данных: процесс создания архитектуры данных, в ходе которого данные проходят процесс очистки (он же Data Cleaning), в результате работы которого устраняются ошибки и удаляется нерелевантная информация.

3. Обработка данных: на этом этапе применяются математические модели и методы машинного обучения. В области Big Data часто используется метод распределенной обработки данных, такой как MapReduce.

4. Анализ данных: проводится поиск закономерностей с использованием методов Data Mining, что представляет собой интеллектуальный анализ данных для выявления паттернов и взаимосвязей.[4]

5. Коммуникация (обратная связь): создание аналитических отчетов, в которых предлагаются решения, основанные на проведенном анализе данных.

При этом в работе с большими данными возникает необходимость в обширной оперативной памяти и высоких вычислительных мощностях. Системы, предназначенные для обработки Big Data, известны как Hadoop-кластеры и оперируют инструментами Apache Hadoop. При проектировании архитектуры принято руководствоваться тремя основными принципами.

Так, горизонтальная масштабируемость является первым принципом. С увеличением объема данных Big Data система обработки должна масштабироваться горизонтально, путем добавления новых вычислительных узлов. Это означает, что, если данные увеличиваются в два раза, вычислительные ресурсы также должны быть увеличены вдвое.

Вторым принципом является отказоустойчивость. С увеличением числа вычислительных узлов в кластере возрастает вероятность сбоев в работе отдельных машин. Поэтому методы обработки Big Data должны обеспечивать стабильную работу даже при возможных отказах части вычислительных мощностей.

Третий принцип — локальность данных. В большинстве случаев данные Big Data распределены по различным вычислительным узлам. Если физически данные находятся на одном сервере, а обработка происходит на другом, расходы на передачу данных могут значительно увеличиться. Поэтому в области Big Data стремятся к тому, чтобы обработка кластера данных выполнялась на том же компьютере, где данные хранятся.

В процессе сбора и анализа данных используются разнообразные методы:

1. *Машинное обучение и нейронные сети*: Этот метод включает в себя использование нейронных сетей для анализа данных, где они обучаются на подготовленных массивах данных. Обученная нейросеть способна обрабатывать большие объемы данных с высокой точностью. Прежде чем начать работу, необходимо провести процесс машинного обучения для обучения нейросети.

2. *Смешение и интеграция данных*: Этот метод включает в себя приведение неструктурированных и разнородных данных из различных источников к единому формату, например, текстовому.

3. *Data Mining*: Данный метод представляет собой анализ данных с целью выявления закономерностей в больших неструктурированных массивах данных.

4. *Краудсорсинг*: Этот метод включает в себя привлечение людей к анализу данных. В небольших проектах Big Data, временное привлечение людей или поиск волонтеров для проверки таблиц и баз данных может оказаться более экономически эффективным, чем использование компьютерных методов.

5. *Предиктивная аналитика*: Этот метод включает в себя анализ больших данных за предыдущие периоды для прогнозирования их будущего поведения. Например, можно

исследовать данные клиентов, влияющие на продажи, с целью прогнозирования будущего спроса на товары.

6. *Имитационное моделирование*: Этот метод позволяет анализировать данные, изменяя параметры для гипотетических сценариев. Например, можно изменять цены для вычисления возможного объема продаж в различных гипотетических ситуациях.[5]

В глобальном смысле тенденции использования Big Data в управлении качеством представляют собой эволюцию подходов к контролю и улучшению качества продукции или услуг.

Например, одной из главных тенденций является интеграция Big Data с технологиями Интернета вещей (IoT), ведь в современных производствах все больше используются датчики и устройства IoT для мониторинга и сбора данных о работе оборудования. Big Data в свою очередь позволяет анализировать этот объем информации, выявлять аномалии, предсказывать отказы и оптимизировать процессы, что приводит к повышению общей эффективности и качества продукции.[6]

Следующей тенденцией принято выделять применение машинного обучения для предсказания дефектов. Работает это следующим образом: система обучается на существующих знаниях, идентифицируя паттерны и зависимости различными переменными и возможными дефектами. Когда модель машинного обучения достаточно обучена, она может анализировать текущие данные в режиме реального времени и предсказывать возможные дефекты или аномалии. Это включает в себя мониторинг ключевых параметров производственного процесса и выявление отклонений от установленных стандартов.[7]

Также анализ больших данных применяется для оптимизации процессов. Big Data позволяет более глубоко анализировать производственные процессы и выявлять потенциальные источники проблем посредством анализа данных по всему циклу производства, начиная от закупки сырья, заканчивая доставкой готовой продукции.

Наконец, Big Data позволяет собирать и анализировать данные о предпочтениях потребителей и обратной связи, что в свою очередь позволяет компаниям создавать более персонализированные продукты и услуги, соответствующие ожиданиям клиентов.

На Рисунке 1 представлена схема цикла управления большими данными.

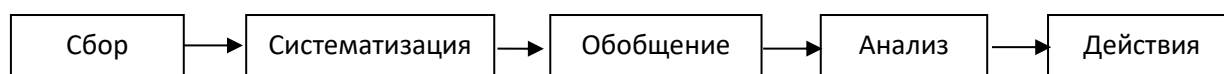


Рисунок 1 - Цикл управления Большими данными

Как можно заметить, архитектура Big Data в управлении качеством представляет собой структурированный подход к обработке и анализу больших объемов данных с целью повышения качества продукции или услуг.

Самым первым этапом является сбор данных. На этом этапе распространено использование сенсоров, датчиков, IoT-устройств и других источников для непрерывного сбора данных о производственных процессах, параметрах качества и других релевантных параметрах.

Следующей ступенью является систематизация данных. На данном этапе происходит упорядочивание данных, определение структуры, а также приведение их к формату,

пригодному для последующей обработки и использования. Этот шаг является очень важным, поскольку обеспечивает легкость доступа и понимание данных перед их анализом и использованием в принятии решений.[8]

Этап обобщения данных в цепочке работы с Big Data включает в себя создание абстракций или общих представлений на основе собранных информации. На данном этапе данные группируются для выделения ключевых паттернов, закономерностей или статистически значимых результатов. Цель обобщения данных — выявить основные тренды и выводы, которые могут быть использованы для принятия стратегических решений или оптимизации процессов.[9]

Предпоследним этапом является этап анализа данных, который включает в себя использование различных методов и инструментов для выявления закономерностей, паттернов и важной информации в объемных наборах данных. На этом этапе применяются статистические методы, машинное обучение, искусственный интеллект и другие технологии для извлечения ценных знаний, целью анализа которых является понимание процессов, оптимизация принятия решений и выявление возможности для улучшения бизнес-процессов или достижения поставленных целей.

Наконец, последним этапом является этап действий. Он представляет собой реализацию конкретных стратегий или решений на основе результатов анализа данных. На этом этапе принимаются меры для оптимизации бизнес-процессов, внедрения улучшений, корректировки стратегий или реализации инноваций в соответствии с выявленными трендами и закономерностями. Цель этого этапа — преобразовать полученные знания в конкретные действия, направленные на достижение поставленных целей и улучшение результативности.

Как правило, большинство компаний оперативно стараются изучить и, если это необходимо, внедрить новые технологии, которые появляются на рынке. Так, Большие данные сыграли ключевую роль при проектировании CAE-системы Siemens NX CAE с технологией анализа данных от Siemens Digital Industries Software. Однако, прежде чем перейти к примеру интеграции Больших данных, следует ввести обозначение CAE-систем.

Итак, CAE-системы (Computer-Aided Engineering) представляют собой программное обеспечение, предназначенное для проведения расчетов, анализа и симуляции физических процессов в различных инженерных задачах. Эти системы широко применяются в авиационной, ракетной, машиностроительной, энергетической, индустрии новых материалов, строительстве крупных инфраструктурных объектов и других отраслях. Они позволяют моделировать поведение промышленных изделий с использованием расчетных методов в условиях реальной эксплуатации.

Итак, как уже было сказано ранее, Big Data находит свое отражение в проектировании CAE-систем. К примеру, при многомасштабном моделировании и симуляции. В этом случае Big Data используется для обработки множества данных при выполнении многомасштабных моделирований, включая сложные сценарии, такие как воздействие нескольких переменных на различные аспекты продукта. Подобный подход позволяет более точно и эффективно учитывать различные влияния и сценарии в процессе проектирования и тестирования.

Специалисты также выделяют возможность оптимизации дизайна с использованием больших объемов данных. К примеру, Siemens NX CAE позволяет анализировать и оптимизировать дизайн продукта, для того чтобы избежать появления лишних деталей на том или ином изделии и оптимизировать работу производства. Также ПО учитывает и анализирует

большие объемы данных, связанные с требованиями к материалам, производственным процессам и структурным свойствам.

Большие данные также способны просчитывать жизненный цикл продукта. Это происходит мониторинга качества в реальном времени, анализа обратной связи от потребителей и о производственных циклах, эксплуатационных условиях и реальной эксплуатации продукта, что важно для предсказания его надежности и долговечности.

С использованием Big Data в рассматриваемом ПО возможно создание виртуальных прототипов продуктов для тестирования различных сценариев и оценки их производительности, что позволит рассчитать срок эксплуатации того или иного изделия и производить мониторинг изделия практически в режиме реального времени. Иными словами, система на основе статистических данных строит модель, которая может показать те или иные проблемы в эксплуатации, предоставив шанс решить их еще на этапе планирования.

Причем как уже неоднократно было замечено, технологии Big Data предоставляют возможность автоматизировать технологические и бизнес-процессы, что сокращает время реакции компании на внутренние и внешние изменения. Экономический эффект достигается за счет увеличения ясности в процессах, улучшения качества планирования, внедрения системы управления на основе отклонений или целевых показателей, быстрого выявления причин отклонений, а также постоянного нормирования и стандартизации лучших методов. Внедрение Big Data направлено на реализацию динамичной модели управления бизнесом, которая позволяет компании оперативно реагировать на изменения внутри и вне организации. Адаптивная модель управления бизнесом обеспечивает быстрое приспособление к возможным стратегическим изменениям в случае возмущений, таких как нестабильность в сбыте, вариации в производственных процессах или отклонения в снабжении. Это подход позволяет компании значительно повысить свою конкурентоспособность, используя нестабильности и отклонения для постоянного улучшения своей структуры и параметров.

Производители внедряют датчики на ключевые узлы оборудования для непрерывного сбора данных в режиме реального времени. Полученная и обработанная информация передается во все подразделения предприятия для обеспечения взаимодействия между различными структурными блоками и для принятия соответствующих управленческих решений

Причем эти данные могут быть эффективно использованы для улучшения сервисного обслуживания, предотвращения простоев и выявления возможных поломок оборудования, а также для создания целевых маркетинговых предложений.

Систематический мониторинг ключевых показателей позволяет выявлять проблемы и принимать оперативные меры по их решению. Современные технологии предоставляют возможность наблюдать за технологическим процессом и выявлять воздействующие на него факторы с использованием любого веб-браузера. Эти решения превращают данные производства в информацию, необходимую для эффективного и успешного управления всем предприятием.

Однако, применение Big Data нашло себя не только на производстве. Оно также может быть полезно в маркетинге. Согласно исследованию Aberdeen Group, розничные компании, активно использующие Big Data, ежегодно увеличивают узнаваемость своего бренда на 20,1%, в то время как ритейлеры, не владеющие данными большого объема, демонстрируют прирост всего на 7,4%. Это объясняется тем, что аналитика помогает маркетологам более эффективно

определить, когда, где и перед кем размещать рекламный контент. Подобные наработки позволяют увеличить эффективность и качество рекламной кампании.

Внедрение больших данных в управлении качеством предприятия сопровождается рядом вызовов и препятствий, которые могут потребовать внимательного рассмотрения и преодоления. Как правило, специалисты выделяют следующие препятствия:

1. *Обработка и хранение объемных данных.* С большим объемом данных возникают трудности в их сборе, обработке и хранении. Предприятия должны разработать эффективные стратегии обработки больших данных, а также обеспечить соответствующую инфраструктуру для их хранения.

2. *Соблюдение правил безопасности данных.* Большие данные, часто включающие конфиденциальные информационные активы, требуют высокого уровня безопасности. Обеспечение конфиденциальности, целостности и доступности данных становится критическим аспектом.

3. *Интеграция существующих систем.* Внедрение больших данных часто встречает вызов в интеграции с уже существующими системами управления качеством, которые уже используются на предприятии. Это может потребовать дополнительную разработку ПО и тщательного планирования.

4. *Необходимость в квалифицированных кадрах.* Обработка больших данных требует специфических знаний и навыков в области аналитики данных, машинного обучения и программирования. Предприятия сталкиваются с вызовом привлечения и удержания квалифицированных специалистов в этой области.

5. *Финансовые вопросы.* Внедрение и поддержка инфраструктуры для обработки больших данных может потребовать значительных инвестиций. Предприятия должны балансировать эти расходы с ожидаемыми выгодами от использования данных.

6. *Предвзятость.* При наличии обширных результатов в исследовании становится чрезвычайно сложным сохранить объективность и выделить лишь те данные, которые действительно оказывают существенное воздействие на состояние конкретного явления.

Помимо теоретических основ, необходимо также рассматривать и практические кейсы. Так, например, очень важно рассмотреть кейсы успешного использования Big Data на примере именитых мировых компаний.

Например, немецкая компания ThyssenKrupp AG, которая является лидером в производстве лифтов, успешно внедрила систему MAX, использующую интернет вещей для сбора данных от датчиков в лифтах. Платформа, построенная на Azure Machine Learning – облачной платформы от Microsoft, предназначенной для создания, обучения, развертывания и управления моделями машинного обучения, создает модели, предсказывающие инциденты до их возникновения, и предоставляет техникам коды поломок для более быстрого обслуживания.

Следующий пример пришел из США, где компаний General Electric Oil & Gas, специализирующаяся на оборудовании для нефтегазового сектора, успешно использует Big Data для минимизации времени незапланированных остановок в нефтедобыче.

Также швейцарская транснациональная корпорация и крупнейший в мире производитель продуктов питания Nestle, воспользовавшись данными о продажах и оптимизационными алгоритмами, применяет технологии анализа больших данных для

оптимизации производственной цепочки, сокращая ошибки в прогнозировании спроса и уменьшая затраты.

Корпорация Intel, производящая компьютерные компоненты, сократила время тестирования до 19000 проверок, используя Big Data для анализа данных производственного процесса.

В свою очередь, компания Telefonica, при разработке своего продукта Smart Steps вначале ориентировалась на компании розничной торговли, используя агрегированные данные о местоположении абонентов для предоставления информации о движении людей в определенных районах города. Однако благодаря регулярной обратной связи компания приняла стратегическое решение о изменении фокуса продукта, переключив его на анализ потоков пассажиров для транспортного сектора

Наконец, в России «Газпромнефть» использует Big Data для выявления причин сбоев насосов после аварийного отключения электропитания, а «Сургутнефтегаз» автоматизировала учет и расчет цен онлайн с использованием платформы SAP HANA, увеличив эффективность бизнес-процессов.

Выводы

Использование технологий Big Data в управлении качеством позволяет значительно повысить эффективность производственных и управленческих процессов. Анализ показал, что интеграция методов машинного обучения, предиктивной аналитики и CAE-систем способствует своевременному выявлению отклонений, оптимизации процессов и повышению удовлетворённости клиентов.

Примеры успешной реализации в ведущих компаниях подтверждают практическую ценность подхода. Однако внедрение требует преодоления барьеров — от технических до организационных. В итоге Big Data становится важным инструментом цифровой трансформации и устойчивого развития предприятий.

Список литературы

1. Кичин Р. Революция данных. Большие данные, открытые данные, инфраструктура данных и их последствия / Р. Кичин. — М.: Дело, 2016. — 256 с.
2. Мэпп Б. Практика больших данных. Как ведущие компании добиваются выдающихся результатов / Б. Мэпп. — М.: Альпина Паблишер, 2017. — 320 с.
3. Russom P. Big Data Analytics // TDWI Best Practices Report. — Fourth Quarter 2011. — URL: <https://tdwi.org/research/2011/09/best-practices-report-q4-big-data-analytics.aspx> (дата обращения: 20.06.2025).
4. Manyika J. et al. Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity / McKinsey Global Institute. — 2011. — URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation> (дата обращения: 20.06.2025).
5. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models. — Geneva: ISO, 2011. — p.34
6. ISO/IEC 15288:2015. Systems and software engineering — System life cycle processes. — Geneva: ISO, 2015. — p.94

7. Davenport T.H., Harris J.G. Competing on Analytics: The New Science of Winning. — Boston: Harvard Business Press, 2007. — p.240
8. Гаврилова Т.А., Коровкин А.А. Знания. Технологии. Управление. Учебник для вузов / Т.А. Гаврилова, А.А. Коровкин. — СПб.: Питер, 2021. — 368 с.
9. Хопкинс Б. Принципы и практика Data Science / Б. Хопкинс. — М.: Диалектика, 2020. — 416 с.

References

1. Kichin R. Data Revolution. Big Data, Open Data, Data Infrastructure, and Their Consequences / R. Kichin. — Moscow: Delo, 2016. — p.256
 2. Marr B. Big Data Practices. How Leading Companies Achieve Outstanding Results / B. Marr. — Moscow: Alpina Publisher, 2017. — p.320
 3. Russom P. Big Data Analytics // TDWI Best Practices Report. — Fourth Quarter 2011. — URL: <https://tdwi.org/research/2011/09/best-practices-report-q4-big-data-analytics.aspx> (accessed: 20.06.2025).
 4. Manyika J. et al. Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity / McKinsey Global Institute. - 2011. - URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation> (access date: 06/20/2025).
 5. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models. - Geneva: ISO, 2011. - p.34
 6. ISO/IEC 15288:2015. Systems and software engineering - System life cycle processes. - Geneva: ISO, 2015. - p.94
 7. Davenport T.H., Harris J.G. Competing on Analytics: The New Science of Winning. - Boston: Harvard Business Press, 2007. - p.240
 8. Gavrilova T.A., Korovkin A.A. Knowledge. Technologies. Control. Textbook for universities / T.A. Gavrilova, A.A. Korovkin. - St. Petersburg: Peter, 2021. - p.368
 9. Hopkins B. Principles and practice of Data Science / B. Hopkins. - M.: Dialectics, 2020. - p.416
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.056:004.414.2:004.9

ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И DEVOPS В ЦИФРОВУЮ СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

¹Муратов И.Д., Силенко А.Н.

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ "МИФИ", Москва, Россия (115409, город Москва, Каширское ш., д.31), e-mail:¹ muratov.lms@gmail.com

В статье рассматриваются особенности архитектуры цифровой системы менеджмента качества (СМК), в том числе интеграция механизмов информационной безопасности и DevOps-практик. Представлена многоуровневая модель контроля, включающая автоматизированные метрики, ревью, статический и динамический анализ, а также эксплуатационный мониторинг. Акцент сделан на переходе от постфактум-контроля к сквозному и адаптивному управлению качеством. Обосновывается роль командной архитектуры и обратной связи как основы устойчивости цифровой СМК.

Ключевые слова: Цифровая СМК, DevOps, информационная безопасность, метрики, архитектура, мониторинг, CI/CD, ревью, управление качеством.

INTEGRATION OF INFORMATION SECURITY AND DEVOPS INTO THE DIGITAL QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

¹Muratov I.D., Silenko A.N.

"NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY "MEPHI", Moscow, Russia (115409, Moscow, Kashirskoye sh., 31 e-mail:¹ muratov.lms@gmail.com

The article examines the architecture of a digital Quality Management System (QMS), focusing on the integration of information security mechanisms and DevOps practices. A multi-level control model is presented, including automated metrics, peer reviews, static and dynamic testing, and production monitoring. Emphasis is placed on the shift from reactive to continuous and adaptive quality management. The role of team-based responsibility and feedback loops is highlighted as a foundation of system resilience.

Keywords: Digital QMS, DevOps, information security, metrics, architecture, monitoring, CI/CD, review, quality management.

Введение

Современные цифровые продукты требуют новых подходов к обеспечению качества, выходящих за рамки классической системы контроля на выходе. В условиях непрерывной разработки (CI/CD), высокой изменчивости требований и необходимости обеспечения безопасности становится актуальным построение цифровой системы менеджмента качества (СМК), включающей сквозные механизмы наблюдения, предикции и самообучения. [1] Одним из ключевых требований становится интеграция DevOps-практик и средств информационной безопасности в процессы контроля на всех этапах жизненного цикла.

Цель исследования

Целью исследования является разработка и описание модели цифровой СМК, обеспечивающей непрерывное управление качеством за счёт интеграции механизмов информационной безопасности, DevOps-подходов и автоматизированного мониторинга процессов.

Материалы и методы исследования

Методология базируется на системном подходе и включает:

- Анализ архитектурных принципов цифровых СМК и CI/CD-практик;
- Изучение средств автоматического тестирования, ревью и мониторинга;
- Сравнительный анализ традиционных и цифровых подходов к управлению качеством;
- Обобщение практик проектирования роли и ответственности в продуктовых командах;
- Рассмотрение средств контроля информационной безопасности (SAST, DAST, аудит).

Результаты исследования и их обсуждение

Разработана функциональная структура цифровой СМК, состоящая из четырёх контуров: организационного, операционного, эксплуатационного и аналитического. [2] Показано, что распределённая модель контроля — от юнит-тестирования и код-ревью до мониторинга в продуктивной среде — обеспечивает снижение количества дефектов, повышение прозрачности процессов и устойчивость digital-продукта. Особое внимание уделено встроенным средствам ИБ (анализ уязвимостей, аудит, контроль прав) как части предиктивной архитектуры. Установлено, что включение DevOps и SRE-практик в СМК способствует ускоренному обнаружению инцидентов и формированию обратной связи в режиме реального времени. Полученные результаты подчеркиваю

Разбирая этот вопрос более подробно, стоит отметить, что современная цифровая СМК представляет собой не просто совокупность разрозненных этапов контроля или проверок, а целенаправленно сконструированную систему управления, охватывающую все ключевые процессы создания, проверки, внедрения и сопровождения digital-продукта. Её архитектура строится не по линейному принципу, как в классических производственных СМК, а по итеративной, сквозной и адаптивной модели, в которой управление качеством осуществляется в режиме реального времени и основывается на цифровых данных, поступающих с разных уровней.[3]

Цифровая СМК по сути является управляющим контуром, в который встроены:

- механизмы ранней фильтрации и локализации рисков;
- процессы оценки функциональных и нефункциональных характеристик;
- автоматизированные средства контроля;
- информационно-аналитические инструменты;
- средства визуализации и интерпретации метрик;
- система принятия решений, опирающаяся на данные эксплуатации и пользовательского взаимодействия.[4]

В отличие от традиционной модели, где качество проверяется на выходе, цифровая СМК обеспечивает процессное и сквозное управление качеством: каждый этап жизненного цикла

продукта содержит элементы самоконтроля, ревизии, диагностики и валидации. [5] Благодаря этому удаётся не только повысить надёжность отдельных операций, но и создать устойчивую экосистему, в которой каждый участник команды вовлечён в поддержание качества — от разработчика и дизайнера до аналитика и DevOps-инженера.

Ключевой особенностью цифровой СМК как системы управления является то, что она основана на принципах адаптивности, прозрачности и обратной связи. Встроенность метрик позволяет оперативно реагировать на аномалии, прогнозировать потенциальные сбои, определять узкие места и принимать решения о приоритетах доработок. Таким образом, система управления качеством перестаёт быть статичным регламентом и превращается в живую управляемую структуру, реагирующую на изменения среды, продукта и пользовательских ожиданий.[6]

Организационно цифровая СМК реализуется через матрицу ролей и ответственности, в которой каждый блок процессов связан с определёнными исполнителями, проверяющими, стейкхолдерами и системами. В отличие от жёсткой иерархии, такая модель позволяет команде самостоятельно выявлять и устранять отклонения, инициировать улучшения и взаимодействовать на горизонтальном уровне. При этом функции контроля и управления распределены, но не размазаны: каждый этап ограничен зоной риска и сопровождается своим уровнем допусков, автоматизации и ответственности.[7]

Функционально цифровая СМК включает в себя четыре ключевых контура: организационный (структура команд, роли, допуски), операционный (процессы разработки, тестирования, релизов), эксплуатационный (мониторинг, поддержка, сбор метрик) и аналитический (интерпретация данных, принятие решений). В совокупности эти контуры образуют замкнутую управленческую систему, ориентированную не только на достижение заданного уровня качества, но и на его непрерывное поддержание и развитие в условиях изменяющихся требований, пользовательских ожиданий и внешних вызовов.



Рисунок 1 - Замкнутая управленческая система цифровой СМК

Цифровая система менеджмента качества не может эффективно функционировать без чётко выстроенной командной архитектуры. В отличие от централизованного контроля, где функция обеспечения качества сосредоточена в одном подразделении (например, отделе контроля качества), в цифровой среде происходит распределение ответственности по ролям и этапам. [8] Такой подход снижает нагрузку на конечный контроль и обеспечивает многоуровневую фильтрацию дефектов ещё до попадания к пользователю.

Первым уровнем контроля выступает сам разработчик, который отвечает не только за реализацию бизнес-логики, но и за базовую проверку корректности кода. Помимо самоотладки, он создаёт юнит-тесты — минимальные автоматические проверки, подтверждающие, что отдельные функции и модули работают корректно. [9] Уже на этом этапе задействуются инструменты статического анализа, предупреждающие об ошибках компиляции, нарушении логики, утечках памяти и других аномалиях. Таким образом, на этапе разработки устраняется значительный процент потенциальных дефектов.

Следующим уровнем фильтрации является код-ревью, где коллеги по команде проверяют реализацию до её попадания в тестовую среду. Этот процесс позволяет выявить неочевидные логические ошибки, нарушения архитектурных соглашений, потенциальные уязвимости и неэффективные решения. Код-ревью является не только способом усиления контроля, но и инструментом командного обучения и стандартизации практик разработки.

После валидации кода он передаётся в тестирование. Здесь вступают в работу автоматические тесты, охватывающие пользовательские сценарии. Их пишет не разработчик, а специалист по автоматизированному тестированию. В отличие от юнит-тестов, автотесты эмулируют поведение реального пользователя в рамках интерфейса или API. Это могут быть как простые проверки авторизации, так и комплексные цепочки действий: заполнение форм,

переход по шагам, взаимодействие с данными. Автотестирование позволяет проверить работоспособность продукта в типичных и пограничных сценариях.

Дополнительный уровень проверки обеспечивает ручное тестирование. Оно используется в двух случаях: во-первых, когда продукт слишком новый или нестабилен, чтобы его можно было покрыть автоматикой; во-вторых — когда требуется выявить нестандартные, неочевидные дефекты, не попадающие в заранее заданные сценарии. Тестировщик работает с чек-листами, тест-кейсами, но также использует исследовательское тестирование (exploratory testing), где основная задача — «сломать» систему нестандартными действиями.

Особое значение в digital-продуктах имеет дизайн-ревью. Пользовательский интерфейс является критически важной частью восприятия качества, и его оценка не ограничивается соответствием макетам. Опытный дизайнер, участвующий на всех стадиях — от проектирования до визуального контроля — проверяет не только соответствие, но и целостность визуального языка, удобство навигации, доступность компонентов. Такой подход исключает распространённую проблему: формально корректный интерфейс, который при этом неудобен или визуально неаккуратен.

Завершающим фильтром в командной структуре является приёмка на стеидже, где собранный продукт демонстрируется заказчику или продуктового менеджера. Здесь осуществляется согласование результата, фиксация отклонений и окончательное утверждение релиза. Если все проверки пройдены, продукт переходит в продуктивную среду.

На этапе эксплуатации работает ещё один слой команды — DevOps и поддержка. Они отслеживают производительность, стабильность, отклонения от нормативов, а также получают сигналы от пользователей. Их задача — оперативно реагировать на инциденты, а также формализовать информацию, поступающую с продакшена, в виде метрик и наблюдений, которые передаются обратно команде для анализа и планирования.

Таким образом, реализация цифровой СМК невозможна без слаженной работы команды, где каждый участник выполняет роль фильтра, не допускающего дефекты на следующую ступень. Эта модель усиливает надёжность продукта, локализует риски, повышает воспроизводимость качества и формирует культуру общей ответственности. Управление качеством становится не внешней функцией, а встроенной частью командной работы.

Цифровая система менеджмента качества должна обеспечивать не только стабильность и удобство продукта, но и его устойчивость к внутренним и внешним угрозам, связанным с безопасностью, инфраструктурой и непредсказуемыми поведением в эксплуатации. В условиях высокой сложности современных digital-продуктов простое функциональное тестирование уже не обеспечивает достаточного уровня контроля. Именно поэтому цифровая СМК дополняется глубоко встроенными механизмами информационной безопасности (ИБ), ревью и мониторинга, которые выполняют как превентивную, так и диагностическую функцию.

Механизмы информационной безопасности пронизывают весь цикл разработки. Одним из важнейших инструментов является SAST (Static Application Security Testing) — статический анализ кода, позволяющий выявить потенциальные уязвимости ещё на этапе написания. Эти проверки встраиваются в CI/CD-процессы и запускаются автоматически при каждом коммите или сборке. В отличие от классических ручных ревизий, SAST позволяет регулярно и масштабно анализировать кодовую базу на предмет SQL-инъекций, XSS, небезопасной работы с памятью, ошибок авторизации и других уязвимостей.

На уровне тестовых сред и stage-окружений подключается DAST (Dynamic Application Security Testing) — динамический анализ, моделирующий атаки извне. Он оценивает поведение приложения в реальном времени, выявляя недостатки в логике, уязвимости на уровне интерфейсов, API и взаимодействия компонентов. В отличие от SAST, DAST работает «чёрным ящиком», не имея доступа к коду, и позволяет оценить продукт глазами потенциального злоумышленника.

Дополнительно используется аудит доступов, конфигураций и логов, в рамках которого анализируется корректность работы с правами, целостность инфраструктурных настроек, правильность шифрования и хранения данных. Эти меры важны не только с технической, но и с юридической точки зрения — особенно при работе с персональными данными или соблюдении требований стандартов (например, GDPR, PCI DSS, ГОСТ Р 57580 и др.).

Информационная безопасность в цифровой СМК — это не внешний контроль, а встроенный слой фильтрации рисков, охватывающий как технические, так и организационные аспекты.

В дополнение к автоматике применяется код-ревью — механизм взаимной проверки кода внутри команды. В отличие от формального утверждения, ревью предполагает активную работу с содержанием: оценивается не только синтаксис, но и архитектурные решения, читаемость, повторное использование, соблюдение внутренних стандартов и лучших практик. Ревью — это и средство контроля, и способ передачи знаний, и элемент культуры качества. В некоторых проектах применяется дизайн-ревью кода — когда менторы или архитекторы дают заключение по критически важным частям системы, особенно там, где закладываются повторно используемые модули.

Ревью усиливает предиктивную компоненту СМК: оно позволяет предотвратить появление дефектов до тестирования, а не только отфильтровать уже реализованные проблемы.

Важным элементом цифровой СМК становятся метрики разработки и тестирования. Они позволяют количественно измерить устойчивость процессов, выявить аномалии и построить прогноз. Среди ключевых метрик: code coverage (процент покрытия кода тестами), test pass rate (процент успешных прогонов), time to failure (время до сбоя), time to fix (время устранения ошибки). Визуализация этих данных в CI/CD или через панели мониторинга позволяет оперативно выявлять узкие места и реагировать на снижение качества до появления инцидента.

Кроме того, анализируются продуктовые и эксплуатационные показатели: количество возвратов на доработку, процент задач с багами, среднее количество правок на задачу, длительность ревью. Эти данные дают представление о зрелости команды и устойчивости процессов.

После выкладки продукта в production, ключевую роль начинает играть мониторинг в реальном времени. Здесь СМК работает в связке с DevOps и SRE-практиками. Используются такие инструменты, как Prometheus, Grafana, Sentry, Kibana, которые отслеживают ошибки, падения, латентность, загрузку и другие технические показатели. Особенность этого уровня контроля в том, что он работает непрерывно и пассивно, не вмешиваясь в код, но постоянно фиксируя отклонения от нормы.

Сигналы мониторинга становятся частью обратной связи: если, например, после релиза резко возросло время ответа сервера или увеличилось количество отказов при авторизации,

эти данные моментально поступают в команду, и проблема устраняется до того, как станет массовой. Более того, метрики и мониторинг становятся источником обоснований для бизнес-решений: если пользовательский сценарий вызывает высокую нагрузку или приводит к ошибкам, это может повлиять на приоритет его переработки.

Подводя итог, стоит сказать, что цифровая СМК включает в себя четыре сквозных механизма контроля, которые действуют на протяжении всего жизненного цикла продукта:

- ИБ-фильтрация (на базе SAST, DAST, аудита),
- проектно-архитектурный контроль (через ревью),
- контроль процессов разработки (через метрики CI/CD),
- эксплуатационный контроль (через мониторинг и алертинг).

Выводы

В ходе исследования разработана и описана модель цифровой системы менеджмента качества, интегрирующая практики DevOps и механизмы информационной безопасности. Показано, что сквозной контроль, основанный на автоматизированных метриках, ревью, мониторинге и SAST/DAST-инструментах, обеспечивает устойчивость, предсказуемость и адаптивность цифровых продуктов. Командная архитектура и распределённая ответственность усиливают культуру качества и снижают риски на всех этапах жизненного цикла. Представленная модель может служить основой для построения эффективных систем управления качеством в высокотехнологичной среде.

Список литературы

1. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models. – Женева: ISO, 2011. – 34 с.
2. Хамбл Дж., Фарли Д. Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation. – Бостон: Addison-Wesley, 2010. – 512 с.
3. Ким Дж., Хамбл Дж., Дебуа П., Уиллис Дж. The DevOps Handbook: How to Create World-Class Agility, Reliability, & Security in Technology Organizations. – Портленд: IT Revolution Press, 2016. – 480 с.
4. Макгроу Г. Software Security: Building Security In. – Бостон: Addison-Wesley, 2006. – 448 с.
5. Шнайер Б. Практическая криптография. Алгоритмы шифрования и протоколы. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 432 с.
6. ГОСТ Р 57580.1-2017. Безопасность финансовых (банковских) операций. Защита информации финансовой организации. Основные положения. – Введ. 2018-01-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
7. Лапыгин Ю.Н., Курдюмов В.В. Системный анализ и управление проектами. – М.: Инфра-М, 2021. – 312 с.
8. Фаулер М. Refactoring: Improving the Design of Existing Code. – Бостон: Addison-Wesley, 2018. – 448 с.
9. Басс Л., Клементс П., Казман Р. Архитектура программного обеспечения: структуры и принципы. – М.: Вильямс, 2016. – 560 с.

References

1. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models. – Geneva: ISO, 2011. – p.34
 2. Humble J., Farley D. Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation. – Boston: Addison-Wesley, 2010. p.512
 3. Kim J., Humble J., Debois P., Willis J. The DevOps Handbook: How to Create World-Class Agility, Reliability, & Security in Technology Organizations. – Portland: IT Revolution Press, 2016. – p. 480
 4. McGraw G. Software Security: Building Security In. – Boston: Addison-Wesley, 2006. – p.448
 5. Schneier B. Practical cryptography. Encryption algorithms and protocols. Moscow: DMK Press, 2018. p.432
 6. GOST R 57580.1-2017. Security of financial (banking) transactions. Protection of information of a financial organization. The main provisions. – Introduction. 2018-01-01. Moscow: Standartinform, 2017. p.28
 7. Lapygin Yu.N., Kurdyumov V.V. System analysis and project management. Moscow: Infra-M, 2021. p.312
 8. Fowler M. Refactoring: Improving the Design of Existing Code. Boston: Addison-Wesley, 2018. p. 448 p
 9. Bass L., Clements P., Kazman R. Software Architecture: Structures and principles. Moscow: Williams, 2016. p.560
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.8: 519.237.8

РАЗРАБОТКА СКОРИНГОВОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Заводов М.Д.

*ФГАОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Москва, Россия
(107023, город Москва, Большая Семёновская ул., д. 38), e-mail: kiselev_zhora@bk.ru*

Оценка кредитоспособности заёмщика представляет собой ключевой элемент системы управления рисками в банковской деятельности. В современных условиях цифровизации и расширения дистанционного кредитования возрастает потребность в более точных, автоматизированных и масштабируемых методах прогнозирования платёжеспособности клиентов. Цель статьи — анализ эффективности применения алгоритмов машинного обучения при построении скоринговой модели на основе открытых данных. В работе рассмотрены традиционные и интеллектуальные подходы к кредитному скорингу, выявлены их преимущества и ограничения. В качестве материала использован датасет, содержащий данные о демографических, социальных и экономических характеристиках заёмщиков, а также историю погашения кредитов. Методы исследования включают построение моделей классификации с использованием логистической регрессии, деревьев решений, ансамблевых моделей и нейронной сети. Проведена предобработка, балансировка классов и подбор гиперпараметров. Полученные результаты показали, что модель градиентного бустинга CatBoost обеспечивает наивысшую точность при адекватной интерпретируемости. Также выполнен анализ значимости факторов с применением метода SHAP. Представленные в статье результаты демонстрируют высокую прикладную значимость и могут быть использованы в практике кредитных организаций для автоматизации процесса принятия решений и снижения уровня дефолтов.

Ключевые слова: Кредитный скоринг; платёжеспособность; машинное обучение; градиентный бустинг; банковский риск; классификация; заёмщик; анализ данных.

DEVELOPMENT OF A SCORING MODEL USING MACHINE LEARNING METHODS

Zavodov M.D.

*MOSCOW POLYTECHNIC UNIVERSITY, Moscow, Russia (107023, Moscow, Bolshaya
Semenovskaya str., 38), e-mail: kiselev_zhora@bk.ru*

The assessment of a borrower's creditworthiness is a key element in the risk management system of financial institutions. In the context of digital transformation and the development of remote lending, there is a growing need for more accurate, automated and scalable methods of predicting client solvency. The aim of this article is to analyze the effectiveness of applying machine learning algorithms to credit scoring models based on open data. The study examines both traditional and intelligent approaches to credit risk assessment, outlining their advantages and limitations. The dataset used contains demographic, social and financial characteristics of borrowers, along with their credit repayment history. The methods applied include the development of classification models using logistic regression, decision trees, ensemble algorithms and neural networks. Data preprocessing, class balancing and hyperparameter optimization were performed. The results demonstrate that the CatBoost gradient boosting model achieves the highest prediction accuracy with acceptable interpretability. Additionally, feature importance analysis was carried out using the SHAP method. The findings presented in this paper have strong practical relevance and can be applied in credit institutions to automate decision-making and reduce default risks.

Keywords: Credit scoring; solvency; machine learning; gradient boosting; banking risk; classification; borrower; data analysis.

Современный рынок кредитования характеризуется высоким уровнем конкуренции, необходимостью быстрой оценки заёмщиков и стремлением банков минимизировать кредитные риски. Учитывая активное развитие цифровых платформ и онлайн-заявок, возрастает значение точных и автоматизированных систем, позволяющих прогнозировать поведение клиентов. Кредитный скоринг, являясь системой количественной оценки вероятности возврата займа, трансформируется под влиянием технологий анализа больших данных и методов искусственного интеллекта. Традиционные модели уступают новым алгоритмам по гибкости и точности, особенно при наличии большого количества признаков и сложных взаимосвязей между ними.

Начало XXI века характеризуется активной цифровизацией финансового сектора. Автоматизация процессов, развитие онлайн-кредитования и распространение мобильного банкинга создают новые вызовы для оценки кредитных рисков. Современные финансовые организации сталкиваются с необходимостью быстрой, точной и масштабируемой оценки заёмщиков. Одним из ответов на этот вызов стал кредитный скоринг — система прогнозирования платёжеспособности клиента на основе анализа множества параметров.

Если ранее скоринговые системы опирались преимущественно на статистические модели, такие как логистическая регрессия, то сегодня всё большее распространение получают методы машинного обучения, способные учитывать сложные, нелинейные зависимости между признаками. Это особенно актуально в условиях роста объёмов данных, увеличения числа цифровых каналов и изменения поведенческих паттернов клиентов [1].

По данным Центрального банка РФ, на 2025 год около 50 млн россиян имеют кредиты, а общий объём задолженности составляет более 38 трлн рублей. При этом растёт доля просроченной задолженности, особенно в сегменте необеспеченного потребительского кредитования. В таких условиях финансовые организации нуждаются в более точных и адаптивных инструментах оценки заёмщиков [2].

Использование машинного обучения позволяет повысить точность прогнозов, учитывать больше факторов и автоматизировать процесс одобрения заявок. Это способствует как снижению кредитных рисков, так и повышению доступности кредитных продуктов для населения [3].

Целью настоящей работы является построение и сравнение моделей машинного обучения для задачи бинарной классификации платёжеспособности заёмщиков. Задача заключается в выявлении наиболее эффективных алгоритмов, обеспечивающих точное предсказание вероятности дефолта клиента на основе его социально-демографических и финансовых характеристик, а также в интерпретации значимых факторов, влияющих на итоговое решение.

Для построения модели использовался открытый датасет Credit Card Approval Prediction с платформы Kaggle [4]. Он включает два файла:

- application_record.csv — содержит социально-демографические и экономические характеристики клиентов (доход, возраст, занятость, жильё, образование и т.д.).
- credit_record.csv — содержит историю погашения кредитов, в том числе информацию о просрочках.

Целевая переменная сформирована на основе анализа кредитной истории: за дефолт считается просрочка более 90 дней в течение первых шести месяцев после открытия счёта.

Итоговая задача — бинарная классификация: клиент «надёжный» (good) или «рискованный» (bad).

Перед обучением моделей проведены следующие шаги:

- Объединение файлов по ID;
- Очистка и удаление пропусков;
- Кодирование категориальных признаков (One-Hot Encoding и Ordinal Encoding);
- Создание производных признаков (возраст, стаж, доля дохода на члена семьи);
- Балансировка классов с помощью техники SMOTE;
- Разделение выборки 80/20.

Рассматривались следующие алгоритмы:

1. Logistic Regression — базовая модель, обеспечивает интерпретируемость, но не улавливает сложные зависимости.
2. Decision Tree — дерево решений, легко интерпретируется, но склонно к переобучению [5].
3. Random Forest — ансамбль деревьев, устойчив к шуму, применим к табличным данным.
4. CatBoost — градиентный бустинг от Яндекса, эффективно работает с категориальными признаками и демонстрирует высокую точность [6].
5. MLP (Multilayer Perceptron) — нейросетевой подход, подходит для задач с высокой сложностью взаимосвязей между переменными.

Оценка моделей проводилась по следующим метрикам:

- Accuracy — общая доля верных предсказаний;
- Precision/Recall/F1-score — чувствительность и точность;
- ROC AUC — площадь под ROC-кривой, учитывающая баланс между FP и TP;
- PR AUC — особенно полезна при дисбалансе классов.

В результате были получены следующие показатели оценки моделей. Информация представлена на таблице 1.

Таблица 1 - Результаты оценки моделей по метрикам

Модель	Accuracy	F1-score	ROC AUC	PR AUC
Logistic Regression	0.81	0.56	0.78	0.49
Decision Tree	0.84	0.63	0.81	0.54
Random Forest	0.87	0.71	0.88	0.62
CatBoost	0.90	0.76	0.91	0.68
MLP (нейросеть)	0.86	0.70	0.87	0.60

Источник: анализ автора

CatBoost показал наилучшие результаты по всем ключевым метрикам. Он оказался устойчив к выбросам, корректно работал с категориальными данными без дополнительной обработки и позволил получить высокую интерпретируемость за счёт анализа важности признаков.

Для оценки вклада признаков использовался метод SHAP (SHapley Additive exPlanations), позволяющий интерпретировать “вклад” каждого признака в итоговое решение модели.

Наиболее значимыми признаками оказались:

- Возраст (DAYS_BIRTH);
- Стаж (DAYS_EMPLOYED);
- Доход (AMT_INCOME_TOTAL);
- Образование и род занятий (OCCUPATION_TYPE);
- Количество иждивенцев (CNT_CHILDREN);
- Тип жилья (NAME_HOUSING_TYPE).

Также выявлены нелинейные зависимости, например: слишком низкий или слишком высокий доход коррелирует с повышенным риском отказа, а стабильное наличие недвижимости и занятость положительно влияют на вероятность одобрения.

Выводы

Проведённое исследование показало, что скоринговые модели, основанные на методах машинного обучения, обладают высокой точностью и практической применимостью для задач оценки платёжеспособности заёмщиков. Особенно эффективной оказалась модель CatBoost, продемонстрировавшая результат выше 0.9 по метрике AUC при сохранении интерпретируемости и устойчивости к различным типам данных. Тем не менее, при внедрении таких решений необходимо учитывать ряд ограничений. Прежде всего, это относительная «непрозрачность» некоторых моделей, таких как нейронные сети и ансамбли, что затрудняет их интерпретацию как для конечных пользователей, так и для регулирующих органов. Кроме того, важным аспектом является соблюдение этических норм: автоматизированное принятие решений должно быть прозрачным и лишённым элементов дискриминации [7]. Также существенным вызовом остаётся дисбаланс классов, что требует применения специализированных методов балансировки и анализа. Несмотря на указанные ограничения, использование технологий интеллектуального анализа данных позволяет значительно повысить точность оценки заёмщиков, сократить риски просрочек и дефолтов, автоматизировать процесс рассмотрения кредитных заявок и, в конечном итоге, повысить прозрачность, справедливость и доступность финансовых услуг для широких слоёв населения.

Список литературы

1. Как банки рассчитывают кредитный скоринг / ВТБ // Хабр [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/vtb/articles/725928/> (дата обращения: 14.05.2025).
2. RBC (РБК). Российский рынок кредитования физических лиц в 2025 году: обзор и анализ [Электронный ресурс] / РБК. — 30.04.2025. — Режим доступа:

- <https://www.rbc.ru/finances/30/04/2025/6810c81e9a79476dc7c8c2e0> (дата обращения: 01.05.2025).
3. Чжен Э., Казари А. Машинное обучение. Конструирование признаков: принципы и практика [Текст] / Э. Чжен, А. Казари; пер. с англ. М. А. Райтман. — Москва: Бомбора, 2022. — 240 с.
 4. Kaggle. Credit Card Approval Prediction Dataset [Электронный ресурс] / Kaggle. — Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets/rikdifos/credit-card-approval-prediction> (дата обращения: 19.05.2025).
 5. Scikit-learn. Scikit-learn: Machine Learning in Python [Электронный ресурс] / Scikit-learn. — Режим доступа: <https://scikit-learn.org/stable/> (дата обращения: 01.05.2025).
 6. CatBoost. Официальная документация [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://catboost.ai/> (дата обращения: 11.05.2025).
 7. OECD. Этические принципы искусственного интеллекта [Электронный ресурс] / OECD. — Режим доступа: <https://oecd.ai/en/ai-principles> (дата обращения: 24.05.2025).

References

1. How banks calculate credit scoring / VTB // Habr [Electronic resource]. – 2023. – Access mode: <https://habr.com/ru/companies/vtb/articles/725928/> / (date of access: 05/14/2025).
 2. RBC (RBC). The Russian retail lending market in 2025: review and analysis [Electronic resource] / RBC. — 30.04.2025. — Access mode: <https://www.rbc.ru/finances/30/04/2025/6810c81e9a79476dc7c8c2e0> (date of request: 05/01/2025).
 3. Zheng E., Kazari A. Machine learning. Feature construction: principles and practice [Text] / E. Zheng, A. Kazari; translated from English by M. A. Reitman. Moscow: Bombora Publ., 2022, p.240
 4. Kaggle. Credit Card Approval Prediction Dataset [Electronic resource] / Kaggle. — Access mode: <https://www.kaggle.com/datasets/rikdifos/credit-card-approval-prediction> (date of access: 05/19/2025).
 5. Scikit-learn. Scikit-learn: Machine Learning in Python [Electronic resource] / Scikit-learn. — Access mode: <https://scikit-learn.org/stable/> / (date of access: 05/01/2025).
 6. CatBoost. Official documentation [Electronic resource]. — Access mode: <https://catboost.ai/> / (date of access: 05/11/2025).
 7. OECD. Ethical principles of artificial intelligence [Electronic resource] / OECD. — Access mode: <https://oecd.ai/en/ai-principles> (date of request: 05/24/2025).
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 658.5:338.246.87:004.94

ВЛИЯНИЕ САНКЦИЙ НА ТЕХНОЛОГИИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

¹Муратов И.Д., Силенко А.Н.

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
"МИФИ", Москва, Россия (115409, город Москва, Каширское ш., д.31), e-mail:¹
muratov.lms@gmail.com

В статье представлены результаты исследования, посвящённого изучению влияния санкций на российские компании, а также на их возможность внедрять технологии бережливого производства. Подробно описывается статистика по влиянию санкций на экономику РФ, посещениями России иностранных специалистов, сокращению рабочих мест в будущем, а также изменения в финансировании НИОКР со стороны российских компаний. Особое внимание уделяется изучению вопроса трудностей введения бережливого производства.

Ключевые слова: Бережливое производство, бережливое производство, оптимизация процессов, потери, эффективность работы, санкции, экономика, потребности клиентов, Lean Production.

THE IMPACT OF SANCTIONS ON LEAN PRODUCTION TECHNOLOGIES

¹Muratov I.D., Silenko A.N.

"NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY "MEPHI", Moscow, Russia (115409, Moscow, Kashirskoye sh., 31 e-mail:¹ muratov.lms@gmail.com

The article presents the results of a study on the impact of sanctions on Russian companies, as well as their ability to implement lean manufacturing technologies. Statistics on the impact of sanctions on the Russian economy, visits to Russia by foreign specialists, job cuts in the future, as well as changes in R&D financing by Russian companies are described in detail. Special attention is paid to studying the issue of the difficulties of introducing lean manufacturing.

Keywords: Lean manufacturing, lean manufacturing, process optimization, losses, work efficiency, sanctions, economy, customer needs, Lean Production.

Цель исследования: целью исследования является анализ влияния международных санкций на возможность внедрения технологий бережливого производства в российских компаниях, а также выявление ключевых препятствий и адаптационных механизмов в условиях внешнеэкономического давления.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели применялись следующие методы:

- Анализ статистических данных Центра макроэкономического анализа и прогнозирования (ЦМАКП), Минэкономразвития РФ, ВШЭ;[1]
- Сравнительный анализ корпоративных практик внедрения Lean в условиях санкций;
- Контент-анализ докладов и обзоров российских и международных организаций;

- Качественная интерпретация структурных ограничений в логистике, финансировании, кадровом обеспечении и стандартизации.[2]

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ показал, что более 60% санкций затронули отрасли, в которых Lean-подходы критичны. Внедрение бережливого производства осложняется:

- дефицитом кадров с необходимой квалификацией (вызванным снижением международного обмена);
- логистическими и технологическими барьерами;
- инфляционным давлением и сокращением импорта;
- опасениями персонала относительно автоматизации;
- отсутствием стандартизации внутри компаний.

За последние несколько лет мировая экономика столкнулась с серьёзными геополитическими изменениями, которые оказали значительное влияние на международные торгово-экономические отношения. Одним из ключевых факторов, определяющих современный экономический ландшафт, стали санкции, введённые рядом стран в отношении России. [3] Эти ограничения затронули широкий спектр сфер: финансовый сектор, торговлю, технологии, логистику, энергетическую отрасль. Санкции стали серьёзным вызовом для российской экономики, потребовав кардинального пересмотра стратегий ведения бизнеса и управления производственными процессами.

В условиях ограниченного доступа к внешним рынкам, технологиям и ресурсам особую актуальность приобрели подходы, направленные на повышение эффективности использования имеющихся ресурсов. [4] Одним из таких подходов является концепция бережливого производства, которая зарекомендовала себя как эффективный инструмент для минимизации потерь, повышения конкурентоспособности и адаптации к внешним вызовам.

Итак, само по себе бережливое производство (англ. Lean Production) – термин, зародившийся в 1950-х годах в Японии, на заводах корпорации Toyota. Оно представляет подход к управлению, направленный на минимизацию потерь при сохранении или повышении ценности продукта для клиента. [5] Основные принципы бережливого производства включают устранение всех видов потерь, создание ценности для клиента, оптимизацию потока создания ценности, внедрение тяговой системы, ориентированной на производство продукции только по мере необходимости, и непрерывное совершенствование процессов (Kaizen). При этом важным аспектом является обеспечение качества с первого раза, минимизация дефектов и ошибок на всех этапах, а также активное вовлечение сотрудников в улучшение процессов и принятие решений.[6]

Как правило, внедрение бережливого производства состоит из 7 шагов, которые стоит рассмотреть подробнее (Рисунок 1)

- Выявить и устранить ненужные процессы
- Оптимизация текущих операций
- Минимизация простоев
- Повышение эффективности
- Внедрение продуктивности
- Сократить расходы

- Способствовать постоянному совершенствованию

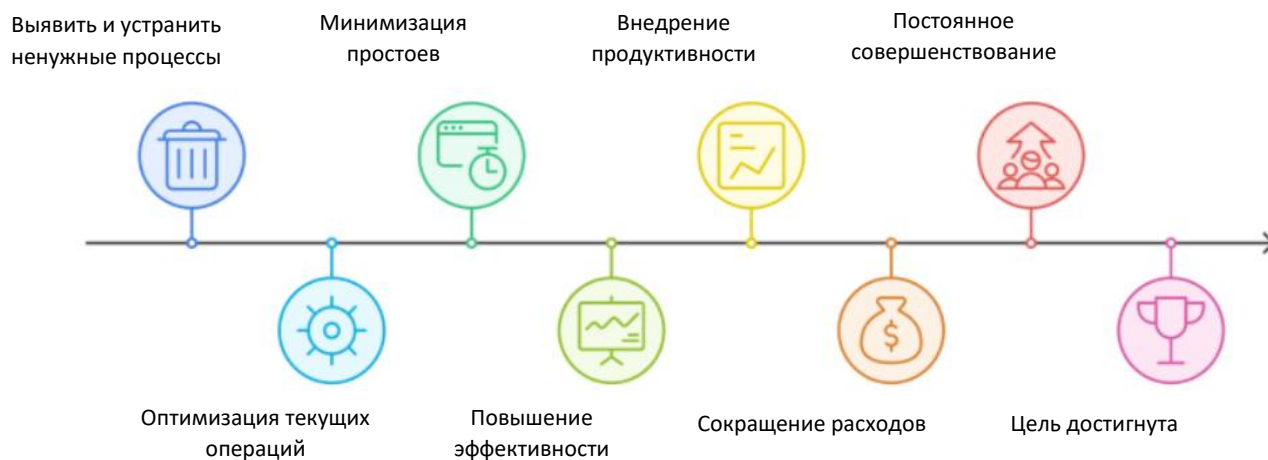


Рисунок 1 - Процесс внедрения полного цикла бережного производства

Теперь, как только мы разобрались с термином бережливого производства и что он из себя представляет, следует перейти к теме санкций и их влияние на экономику. Рассматриваемые далее примеры будут касаться санкций, введенных в отношении РФ. [7]

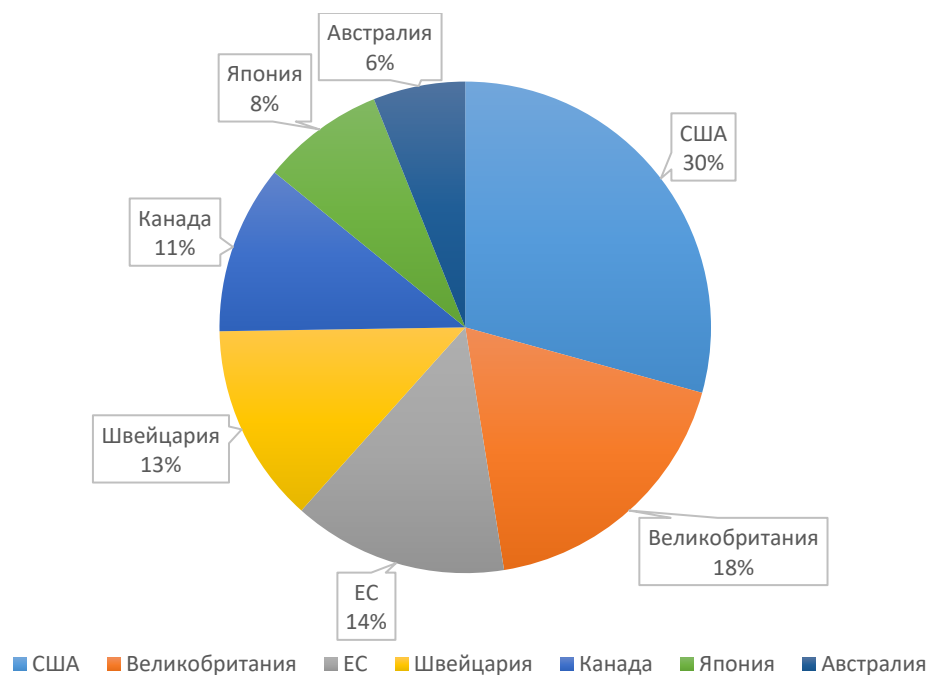


Рисунок 2 - Процент по числу введенных санкций в отношении РФ с 21 февраля 2022 года.

Итак, на текущий момент в отношении России введено 18 601 ограничительных мер. Около 30% санкций было введено от Соединенных Штатов Америки и около 18% - от Великобритании. Распределение по остальным странам представлено на Рисунке 2. В свою

очередь, процент введенных санкций в отношении различных спектров российской экономики представлено на Рисунке 3.

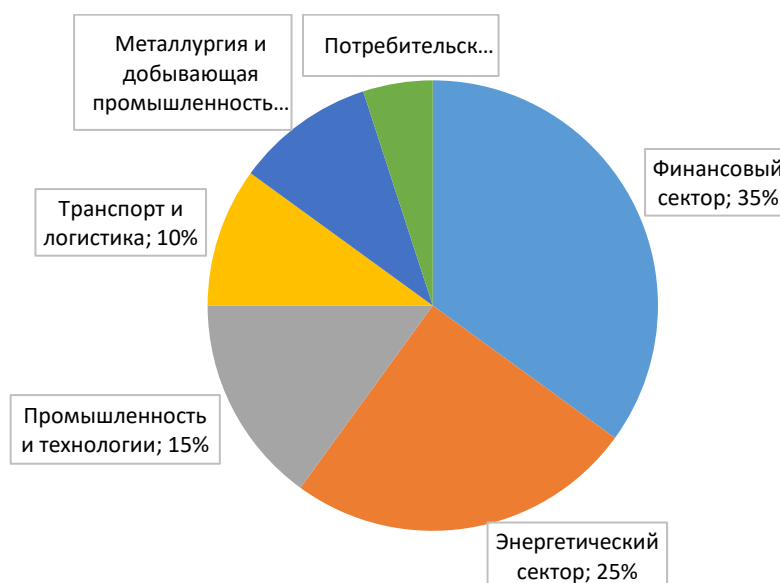


Рисунок 3 - Процентное соотношение областей экономики РФ, против которых ввели санкции с 21 февраля 2022 года.

Как правило, технологии бережливого производства активно используются в 4 из 6 областей, а именно в области промышленности и технологий, логистики и транспорта, металлургии и в энергетическом секторе. Перечисленные области составляют 60% от числа всех санкций, введенных в отношении РФ после 21 февраля 2022 года.

Санкции, при этом, привели к ряду серьезных последствий для экономики РФ. Так, специалисты Центра макроэкономического анализа и прогнозирования (ЦКАМП) выступили с докладом, где перечислили наиболее тяжелые эффекты санкций, введенных в отношении России. По словам специалистов, из-за санкций остановилась поставка полупроводников из Тайваня – главного мирового поставщика микрочипов, занимающего более 50% мирового рынка. Полупроводники необходимы в том числе для производства электроники и автомобильных деталей.[8]

Вторым немаловажным аспектом являются проблемы с логистикой, с которыми столкнулись все российские транспортные компании. Проблемы возникают на европейском направлении, и они возникают не только по товарным позициям, но и по всем операциям с Россией, поскольку таможенные органы стран Европейского Союза ужесточили режим проверки всех грузов, поступающих с территории России и «дружественных государств».

Также одним из главных факторов выступает инфляция: по оценке Минэкономразвития, среднегодовая инфляция в России с 2022 по 2024 годы составила около 12,5% против общемировой, находящейся на планке около 2% в год.[9]

Если рассматривать вопрос с точки зрения влияния санкций на основные аспекты экономики РФ, то, по словам специалистов ЦКАМП, доля импорта товаров из США, Европейского Союза, Канады, Великобритании, Японии и Южной Кореи значительно снизилась. Наибольший эффект это наложило на фармацевтическую отрасль: доля лекарств из стран, которые ввели ограничения на поставку в отношении РФ составляет почти половину

всего всего конечного потребления фармацевтической продукции в стране (48,2%). На втором месте — сфера химических веществ и продуктов (44,7% конечного потребления попало под санкции), а на третьем — производство самолетов, кораблей, железнодорожных локомотивов (32,2%).

Значительная зависимость от импорта из стран, объявивших санкции, также наблюдается в автомобилестроении (27%), изготовлении резиновых и пластмассовых изделий (26,8%), производстве бумаги (19,9%) и электрического оборудования (19,4%), следует из данных ЦМАКП.[10]

В краткосрочном периоде наиболее тяжелым последствием санкций является сокращение критического импорта — фармацевтики, продовольствия, промежуточной продукции автопрома и авиапрома.

Снижение поставок такой продукции приводит к резкому падению выпуска, а в отдельных случаях — и к остановке производства, что в конечном счете сказывается и на ВВП, и на занятости, и на доходах населения. Кроме того, эта ситуация провоцирует превышение спроса над предложением, а значит, и рост цен.

В среднесрочном периоде на первый план выходит ограничение поставок технологий. Для того чтобы повышать эффективность экономики, невозможно использовать только российское оборудование и технологии: в этих сферах Россия отстает от зарубежных партнеров, и наверстать отставание быстро нельзя. Сокращение импорта высокотехнологичных товаров неизбежно приведет к снижению темпов модернизации, заключили экономисты Центра.

Теперь, рассмотрев вопрос о влиянии санкций на экономику РФ, стоит рассмотреть, с какими проблемами сталкиваются компании при внедрении бережливого производства.

Так, например, одним из главных недостатков является нехватка квалифицированных кадров. Были проанализированы системы менеджмента качества нескольких десятков мировых компаний. Исходя из анализа, можно составить топ-9 корпораций, которые наиболее успешно внедрили бережливое производство – это поможет понять, в каких странах находится больше всего специалистов:

- Toyota (Япония)
- Amazon (США)
- Nike (США)
- Caterpillar Inc. (США)
- John Deere (США)
- Ford (США)
- General Electric (США)
- Parker Hannifin (США)

Нетрудно заметить, что из приведенного списка 8 из 9 компаний являются американскими, на основе чего можно сделать вывод о том, что США является одним из признанных лидеров по внедрению технологий бережливого производства. Первую позицию занимает японская корпорация Toyota – разработчик стратегии и официально первая компания, которая внедрила бережливое производство на свои производства.

При этом на момент 2024 года, из этих стран практически нет поступлений студентов в Россию – оно сократилось практически на 70-80%. Согласно статистике (Рисунок 4), опубликованной в январе 2022 года и ведущей подсчет пребывающих в Россию студентов, на

первом месте находится Казахстан (61 000 студентов), затем идет Узбекистан (48 700 студентов), Китай (32 600 студентов), Туркменистан (30 600 студентов), Таджикистан (23 100 студентов), Индия (16 700 студентов), Египет (12 400 студентов), Республика Беларусь (10 200 студентов), Украина (9 100 студентов) и Киргизстан (8 600 студентов). По числу пребывающих в страну студентов Россия находилась 6 месте с среднегодовым притоком в 226 431 человека, уступая первенство лишь Германии (228 тыс.), Франции (239 тыс.), Австралии (294 тыс.), Великобритании (438 тыс.) и Соединенным Штатам Америки (ок. 1.1 млн. человек ежегодно). Из приведенного списка лишь китайские компании могут похвастаться успехом при внедрении технологий и концепций бережливого производства.



Рисунок 4 - Страны, которые выбирают студенты для обучения (январь 2022)

Следующим пунктом, который мешает внедрению технологий бережливого производства, является сопротивление изменениям со стороны рядового персонала. Выражается это в боязни того, что некоторых специалистов могут заменить роботами, и они могут оказаться никому не нужны. Об этом свидетельствуют исследования, которые показывают, что к 2030 году около 49% человеческих профессий могут быть заменены машинами, технологиями или искусственным интеллектом. Под острием находятся водители, курьеры и грузчики – то есть тот самый рабочий персонал, который противится изменениям и не спешит с внедрениями конкурентов.

Еще одним важным аспектом является недостаток финансирования со стороны бизнеса и/или государства. Ведь внедрение бережливого производства требует значительного внедрения сил и средств. Однако согласно исследованию Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ и Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП) удалось установить, что российский бизнес нарастил объем инвестиций в НИОКР в среднем на 38%. Исследование основывается на результатах экспресс-опроса компаний, проведенного в августе 2024 г. в рамках деятельности Экспертного совета при Правительстве РФ. В опросе приняли участие 66 компаний, преимущественно относящихся к высокотехнологичным отраслям промышленности (производство

компьютеров, электронных и оптических изделий, готовых металлических изделий, электрического оборудования и др.), из которых 40 — компании с численностью сотрудников более 500 человек.

Большинство компаний, участвовавших в опросе, с 2021 по 2024 год занимались научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами (НИОКР). 86% из них имели такой опыт.

Чаще всего компании проводили исследования и разработки самостоятельно — об этом сообщили 91% респондентов. Привлекали внешних исполнителей 57% опрошенных: государственные вузы и НИИ — 44%, частные исследовательские организации — 33%.

Реже компании сотрудничали с совместными с университетами и НИИ базовыми кафедрами и лабораториями (18%) или зарубежными R&D-центрами (5%). Некоторые респонденты отметили дочерние организации как исполнителей НИОКР.

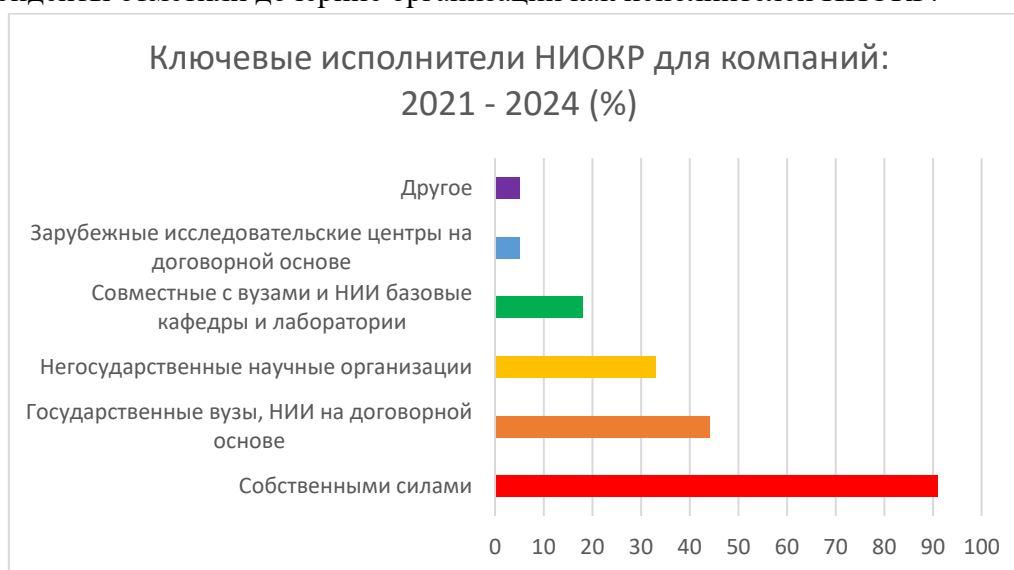


Рисунок 5 - Ключевые исполнители НИОКР для компаний в период с 2021 по 2024 год.

Примечание: сумма долей может быть больше 100, так как один респондент мог выбрать несколько вариантов ответа

За последние три года компании увеличили расходы на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР). В среднем 38% опрошенных отметили заметный рост затрат в этой области (Рисунок 6.). Ожидается, что положительная динамика сохранится и до 2027 года, но будет менее интенсивной по сравнению с текущим периодом.

Если в 2021–2023 годах примерно у четверти предприятий наблюдался умеренный рост расходов на НИОКР (до 10%), то в настоящее время и в будущем этот показатель прогнозируют более трети компаний. После 2027 года ожидается снижение темпов роста затрат на НИОКР — только 32% респондентов надеются превысить десятипроцентный порог роста.

До 2023 года существенное сокращение научных бюджетов фиксировали от 13 до 17% опрошенных, а после 2024 года такое развитие событий прогнозируют менее 4% компаний.

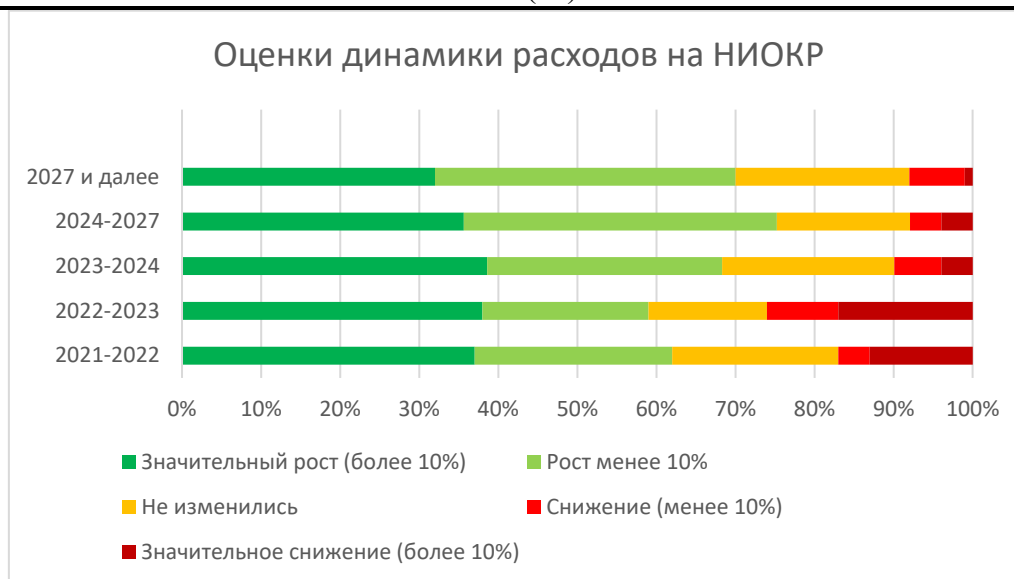


Рисунок 6 - Оценка динамики расходов на НИОКР.

Наконец, финальным пунктом является недостаток стандартизации в некоторых компаниях. Это выражается в различных подходах к качеству, так как без четких стандартов различные организации могут выполнять одну и ту же работу по-разному, что может приводить к различиям в качестве конечного продукта или услуги.

Также это может выражаться в сложностях в сравнении, что очень схоже с предыдущим пунктом, ведь если нет четко прописанной и определенной сравнительной базы, то сравнивать, казалось бы, одни и те же на первый взгляд продукты может быть довольно проблематично.

Дополнительно стоит выделить снижение эффективности, ведь без стандартов процесс может быть менее эффективным, повышая необходимость каждый раз тратить время на разработку новых методов и подходов.

Вывод

В ходе данного исследования были рассмотрены основные концепции и принципы бережного производства, а также план по его внедрению. Дополнительно был рассмотрен эффект влияния санкций на экономику России. Так, в ходе исследования удалось установить, что санкции затронули огромную часть экономики России, однако российские компании стараются минимизировать эти потери. Так, согласно исследованию, российский бизнес нарастил объем инвестиций в НИОКР в среднем на 38%, однако приток новых студентов в Россию сократился на 80%.

Также среди основных стоп-факторов при внедрении технологий бережливого производства было выделено сопротивление изменениям со стороны рядового персонала, так как около 49% бояться быть замененными роботами. Также принято решение выделить недостаток отсутствия стандартизации в некоторых компаниях.

Однако несмотря на все приведенные плюсы и минусы, можно однозначно выделить возрастающую тенденцию российского бизнеса стараться внедрить элементы lean production. Связано это, в первую очередь, с желанием сократить затраты и улучшить качество, повысить эффективность производства и других процессов, удовлетворить потребности клиентов, а

также создать более гибкую адаптивную организацию, что, в свою очередь, увеличит ее конкурентоспособность.

Российские компании активно стараются найти специалистов на рынке труда, а их нынешние работодатели, наоборот, заинтересованы в удержании полезных кадров внутри своей компании. Эта среда порождает здоровую конкуренцию, что, в свою очередь, приводит к развитию.

Список литературы

1. Вумек Джеймс П., Джонс Дэниел Т. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. — М.: Альпина Паблишер, 2018. (Дата обращения: 21.09.2024)
2. Имаи Масааки. Гемба кайдзен: Путь к снижению затрат и повышению качества. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. (Дата обращения: 20.11.2024)
3. Тайити Оно. Производственная система Тойоты: уходя от массового производства. — М.: Издательство ИКСИ, 2020. (Дата обращения: 11.05.2024)
4. Лайкер Джеффри. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира. — М.: Альпина Паблишер, 2019. (Дата обращения: 16.05.2024)
5. Центр стратегических исследований. Анализ санкций против России [отчет] / Центр стратегических исследований США [Режим доступа: <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/econographics/russia-sanctions-database/>] (дата обращения: 10.11.2024).
6. Центр стратегических исследований. Анализ санкций против России [отчет] / май 2024 / Центр стратегических исследований США [Режим доступа: <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/econographics/russia-sanctions-database-may-2024/>] (дата обращения: 01.11.2024).
7. StartUs Insights. New Lean Manufacturing Companies [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/new-lean-manufacturing-companies/> (дата обращения: 10.11.2024).
8. TAdviser. Article: International students in Russia [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://tadviser.com/index.php/Article:International_students_in_Russia#:~:text=experts%20are%20sure,-,Ministry%20of%20Education%20and%20Science%3A%20The%20number%20of%20foreign%20students,2021%20and%20reached%20351%20thousand (дата обращения: 12.01.2025).
9. Известия. Перечислены профессии, в которых людей заменят роботы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://iz.ru/1676506/2024-04-03/perechisleny-professii-v-kotorykh-liudei-zameniati-robotami> (дата обращения: 08.01.2025).
10. Высшая школа экономики. Недостаток финансирования и инвестиций российских компаний в НИОКР [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://issek.hse.ru/news/965772399.html> (дата обращения: 22.01.2025).

References

1. Womack James P., Jones Daniel T. Lean Manufacturing: How to Eliminate Waste and Make Your Company Prosper. - М.: Alpina Publisher, 2018. (Accessed: 09/21/2024)
 2. Imai Masaaki. Gemba Kaizen: The Path to Reducing Costs and Improving Quality. - М.: Alpina Business Books, 2005. (Accessed: 11/20/2024)
 3. Taiichi Ohno. Toyota Production System: Moving Away from Mass Production. - М.: Izdatelstvo IKSI, 2020. (Accessed: 05/11/2024)
 4. Liker Jeffrey. The Toyota Way: 14 Management Principles of the World's Leading Company. — М.: Alpina Publisher, 2019. (Accessed: 16.05.2024)
 5. Center for Strategic Studies. Analysis of sanctions against Russia [report] / US Center for Strategic Studies [Access mode: <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/econographics/russia-sanctions-database/>] (Accessed: 10.11.2024).
 6. Center for Strategic Studies. Analysis of sanctions against Russia [report] / May 2024 / US Center for Strategic Studies [Access mode: <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/econographics/russia-sanctions-database-may-2024/>] (Accessed: 01.11.2024).
 7. StartUs Insights. New Lean Manufacturing Companies [Electronic resource]. — Access mode: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/new-lean-manufacturing-companies/> (date of access: 11/10/2024).
 8. TAdviser. Article: International students in Russia [Electronic resource]. — Access mode: https://tadviser.com/index.php/Article:International_students_in_Russia#:~:text=experts%20are%20sure.-,Ministry%20of%20Education%20and%20Science%3A%20The%20number%20of%20foreign%20students,2021%20and%20reached%20351%20thousand (date of access: 01/12/2025).
 9. Izvestia. Professions in which people will be replaced by robots are listed [Electronic resource]. — Access mode: <https://iz.ru/1676506/2024-04-03/perechisleny-professii-v-kotorykh-liudei-zameniat-robotami> (date of access: 01/08/2025).
 10. Higher School of Economics. Lack of funding and investment of Russian companies in R & D [Electronic resource]. — Access mode: <https://issek.hse.ru/news/965772399.html> (date of access: 01/22/2025).
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.42

КРАТКИЙ АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АРХИТЕКТУР НЕЙРОСЕТЕЙ

¹Фаргиева З.С., ²Котиева П.Б.

ФГБОУ ВО «ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», Магас, Россия
(386001, Республика Ингушетия, город Магас, пр-кт И.Зязикова, д. 7), e-mail:

¹67712@mail.ru, ²kotieva.p@mail.ru

В статье представлены краткий анализ и сравнение современных архитектур нейронных сетей (НС), таких как сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN), трансформеры (Transformers) и графовые нейронные сети (GNN). Описываются их ключевые особенности, преимущества и ограничения. Приводятся результаты сравнительного анализа, основываясь на современных публикациях и практических экспериментах.

Ключевые слова: Нейронные сети, сверточные сети, рекуррентные сети, трансформеры, графовые сети, сравнение, анализ.

BRIEF ANALYSIS AND COMPARISON OF MODERN NEURAL NETWORK ARCHITECTURES

¹Fargieva Z.S., ²Kotieva P. B.

INGUSH STATE UNIVERSITY, Magas, Russia (386001, Republic of Ingushetia, Magas, I.Zyazikova Ave., 7), e-mail: ¹67712@mail.ru, ²kotieva.p@mail.ru

This article presents a brief analysis and comparison of modern neural network architectures such as Convolutional Neural Networks (CNN), Recurrent Neural Networks (RNN), Transformers, and Graph Neural Networks (GNN). Their key features, advantages, and limitations are described. The article provides comparative analysis results based on recent publications and practical experiments.

Keywords: Neural networks, convolutional networks, recurrent networks, transformers, graph networks, comparison, analysis.

Введение

В последние годы быстрые темпы развития искусственного интеллекта (ИИ) / artificial intelligence (AI) способствовали формированию и совершенствованию различных архитектур нейронных сетей — neural network architectures [1, с. 7]. Современные применения ИИ охватывают широкий спектр областей: от компьютерного зрения до обработки естественного языка и анализа сложных графовых структур [2, с. 42]. Возникает необходимость комплексного анализа и сравнения различных подходов, чтобы определить их преимущества, недостатки и возможности использования в практических задачах [3, с. 5].

Цель исследования

Целью данной работы является краткий анализ и сравнение ключевых современных архитектур нейронных сетей и их применимость в различных сферах [4, с. 11]. А так же, выявление их плюсов и минусов в ходе исследования.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования рассматриваются наиболее популярные современные архитектуры нейронных сетей, такие как:

- Сверточные нейронные сети (CNN) / Convolutional Neural Networks
- Рекуррентные нейронные сети (RNN) / Recurrent Neural Networks
- Трансформеры / Transformers
- Графовые нейронные сети (GNN) / Graph Neural

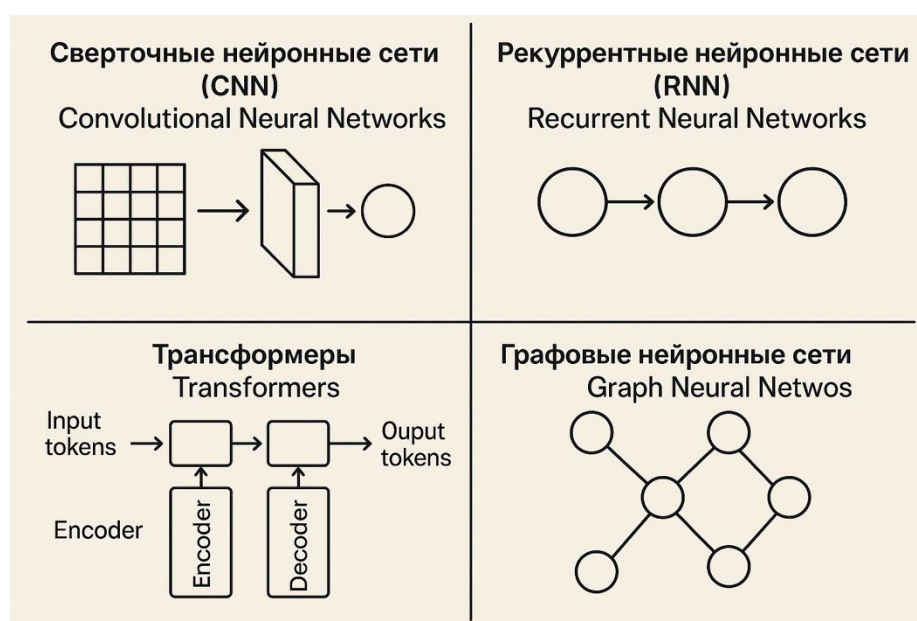


Рисунок 1 - Основные методы исследования

Методы анализа включают:

- систематический обзор публикаций последних 5 лет (2020-2024) [5, с. 3];
- проведение сравнительных экспериментов на открытых наборах данных (MNIST, CIFAR-10, IMDB, Cora) [6, с. 8];
- экспертный анализ архитектур по следующим критериям: производительность, способность к обобщению, ресурсоемкость и обучаемость [7, с. 27].

Основные архитектуры нейронных сетей / Main neural network architectures

Сверточные нейронные сети (CNN) / Convolutional Neural Networks

CNN являются одной из наиболее успешных архитектур для задач компьютерного зрения / computer vision. Основной принцип работы — использование свёрточных слоев для автоматического выделения признаков (feature extraction), что обеспечивает сокращение параметров по сравнению с полносвязными сетями [8, с. 770]. Ключевыми достоинствами CNN являются высокая эффективность при работе с изображениями и устойчивость к сдвигам и деформациям [9, с. 1101].

Так же к основным элементам относятся:

Входной слой — принимает изображение в виде массива чисел.

Сверточные слои — выполняют свёртку с различными фильтрами для выделения признаков (краёв, текстур). Каждый слой создаёт несколько карт признаков, которые передаются на следующий слой.

Слои активации — применяют функцию активации (например, ReLU) к картам признаков, добавляя нелинейность в модель.

Пулинговые слои — уменьшают размер карт признаков, сохраняя важные признаки.

Полносвязные слои — соединяют все нейроны предыдущего слоя с каждым нейроном текущего слоя, используются для окончательной классификации или регрессии.

Плюсы: способность выявлять локальные признаки на изображении;

инвариантность к перемещению — сеть распознаёт объект, даже если он перемещается, масштабируется или искажается по-разному на разных изображениях.

Минусы: требуют большого объёма данных для обучения, могут быть сложны в настройке и оптимизации.[8, с. 774]

Рекуррентные нейронные сети (RNN)

RNN применяются преимущественно для работы с последовательностями данных / sequential data, например, временными рядами или текстом. Благодаря наличию состояния памяти сеть может учитывать историческую информацию [10, с. 1736]. Тем не менее, стандартные RNN подвержены явлению исчезающего градиента (vanishing gradient), что усложняет обучение на длинных последовательностях. Эту проблему частично решают модификации – LSTM и GRU (Long Short-Term Memory, Gated Recurrent Unit)[11, с. 8].

Можно так же выделить следующие ключевые компоненты:

Скрытый слой с памятью — хранит информацию о предыдущих состояниях.

Временные шаги — каждый элемент последовательности обрабатывается на отдельном временном шаге.

Обратные связи — позволяют сети учитывать историю обработки.[10, с. 1736]

Плюсы: способность учитывать контекст и зависимости между элементами последовательности;

гибкость — RNN могут работать с последовательностями переменной длины.

Минусы: при обучении RNN могут возникать проблемы с затуханием градиентов, что затрудняет обучение на длинных последовательностях. [11, с. 12]

Трансформеры

Трансформеры — архитектура, основанная на механизме внимания (attention) [12, с. 5998]. На сегодняшний день трансформеры фактически вытеснили традиционные RNN в задачах обработки естественного языка (NLP) благодаря эффективному параллелизму и высокой производительности на больших объемах данных [13, с. 2]. Их слабая сторона – огромные вычислительные и энергетические затраты [14, с. 6].

Также имеет свои основные компоненты:

Входные представления — данные (например, слова или токены) преобразуются в векторные представления фиксированной размерности.

Механизм внимания — позволяет модели фокусироваться на различных частях входной последовательности при обработке каждого элемента.

Позиционно-зависимые полносвязные сети — после механизма внимания применяется сеть, которая обрабатывает каждый элемент последовательности независимо.

Нормализация и остаточные связи — используются для стабилизации обучения и улучшения градиентного потока.

Плюсы: параллельная обработка данных, что ускоряет обучение и позволяет эффективно использовать вычислительные ресурсы;

масштабируемость — архитектура позволяет увеличивать количество слоёв или голов внимания, улучшая точность и производительность модели.

Минусы: вычислительная сложность трансформеров растёт квадратично с увеличением длины последовательности, что делает их масштабирование на длинные данные сложной задачей.

Графовые нейронные сети (GNN)

GNN используются для анализа структурированных данных, представленных в виде графов [15, с. 5]. Они позволяют моделировать сложные взаимосвязи между объектами и находят свое применение в социальных сетях, биоинформатике и рекомендательных системах [16, с. 59].

Плюсы: способность анализировать не только сами объекты, но и их отношения;

сохранение структурной информации — каждый узел получает информацию не только о своих характеристиках, но и о соседних узлах.

Минусы: итеративно обновлять скрытые состояния узлов для фиксированной точки может быть неэффективно. [16, с. 61]

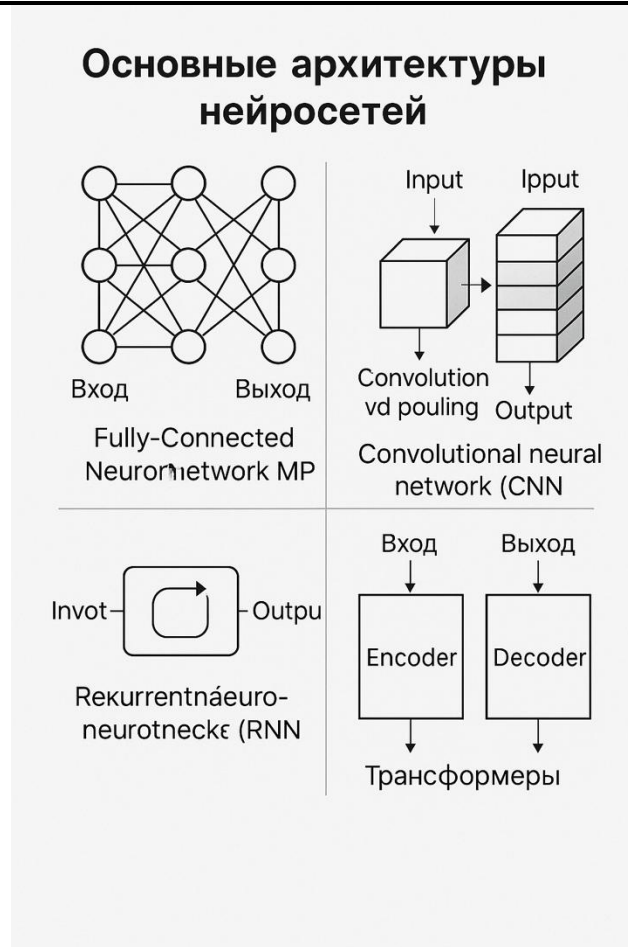


Рисунок 2 - Основные архитектуры нейросетей

Результаты и обсуждение

В ходе обзора и серии экспериментов было установлено, что CNN демонстрируют наилучшую точность на изображениях (например, CIFAR-10: точность >95% при оптимальных архетипах)[6, с. 9], а RNN превосходят по моделированию временных и логических зависимостей в текстах и сигналах [11, с. 7].

Трансформеры достигли революционных результатов в задачах NLP, например, GPT-3 показывает качество генерации текста, близкое к человеческому [13, с. 10].

Графовые нейронные сети лидируют по качеству в структурированных задачах, выигрывая у классических CNN на неевклидовых данных [15, с. 12].

Отмечено, что главные тренды развития включают рост размерности архитектур, появление гибридных и компромиссных моделей (например, сочетание CNN с трансформерами — Vision Transformers / ViT) [14, с. 3], а также развитие методов повышения интерпретируемости и уменьшения энергетических затрат [17, с. 98].

Заключение

Современные архитектуры нейронных сетей значительно расширяют возможности применения искусственного интеллекта благодаря специализации и эффективности для различных типов данных [1, с. 10]. Сверточные сети (CNN) оптимальны для изображений, рекуррентные (RNN) для последовательностей, трансформеры (Transformers) стали стандартом для текстов, а графовые сети (GNN) — для сложных структур [2, с. 44]. Выбор

конкретной архитектуры определяется задачей, доступными вычислительными ресурсами и требованиями к точности и интерпретируемости [4, с. 13].

Дальнейшие исследования будут фокусироваться на гибридизации подходов, оптимизации производительности и снижении вычислительных затрат [17, с. 103].

Список литературы

1. Леклер К. Искусственный интеллект: новые горизонты. — М.: Вильямс, 2022. — 384 с.
2. Гудфеллоу И., Бенджио Й., Курвил А. Глубокое обучение. — М.: Диасофт, 2018. — 800 с.
3. Shrestha A., Mahmood A. Review of Deep Learning Algorithms and Architectures // IEEE Access. — 2019. — Vol. 7. — pp. 53040–53065.
4. Zhang A., Lipton Z., Li M., Smola A. Dive into Deep Learning. — 2022. — URL: <https://d2l.ai>
5. Schmidhuber J. Deep Learning in Neural Networks: An Overview // Neural Networks. — 2015. — Vol. 61. — pp. 85–117.
6. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks // NeurIPS. — 2012. — pp. 1097–1105.
7. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. — New York: Springer, 2006. — p.738
8. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // Proc. CVPR. — 2016. — pp. 770–778.
9. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep Learning // Nature. — 2015. — Vol. 521. — pp. 436–444.
10. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // Neural Computation. — 1997. — Vol. 9, No. 8. — pp. 1735–1780.
11. Cho K. et al. Learning Phrase Representations using RNN Encoder–Decoder for Statistical Machine Translation // arXiv:1406.1078. — 2014.
12. Vaswani A. et al. Attention is All You Need // NeurIPS. — 2017. — pp. 5998–6008.
13. Brown T. et al. Language Models are Few-Shot Learners // arXiv:2005.14165. — 2020.
14. Dosovitskiy A. et al. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale // arXiv:2010.11929. — 2020.
15. Wu Z. et al. A Comprehensive Survey on Graph Neural Networks // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. — 2021. — Vol. 32, No. 1. — pp. 4–24.
16. Zhou J. et al. Graph Neural Networks: A Review of Methods and Applications // AI Open. — 2020. — Vol. 1. — pp. 57–81.
17. OpenAI. GPT-4 Technical Report // arXiv:2303.08774. — 2023.

References

1. Leclair K. Artificial Intelligence: New Horizons. — Moscow: Williams, 2022. — p. 384
2. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. — Moscow: Diasoft, 2018. — p. 800
3. Shrestha A., Mahmood A. Review of Deep Learning Algorithms and Architectures // IEEE Access. — 2019. — Vol. 7. — pp. 53040–53065.
4. Zhang A., Lipton Z., Li M., Smola A. Dive into Deep Learning. — 2022. — URL: <https://d2l.ai>

5. Schmidhuber J. Deep Learning in Neural Networks: An Overview // Neural Networks. — 2015. — Vol. 61. - pp. 85–117.
 6. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks // NeurIPS. - 2012. - pp. 1097–1105.
 7. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. - New York: Springer, 2006. - p.738
 8. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // Proc. CVPR. — 2016. — pp. 770–778.
 9. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep Learning // Nature. — 2015. — Vol. 521. - pp. 436–444.
 10. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // Neural Computation. - 1997. - Vol. 9, No. 8. - pp. 1735–1780.
 11. Cho K. et al. Learning Phrase Representations using RNN Encoder–Decoder for Statistical Machine Translation // arXiv:1406.1078. — 2014.
 12. Vaswani A. et al. Attention is All You Need // NeurIPS. - 2017. - pp. 5998–6008.
 13. Brown T. et al. Language Models are Few-Shot Learners // arXiv:2005.14165. — 2020.
 14. Dosovitskiy A. et al. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale // arXiv:2010.11929. — 2020.
 15. Wu Z. et al. A Comprehensive Survey on Graph Neural Networks // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. — 2021. — Vol. 32, No. 1. - pp. 4–24.
 16. Zhou J. et al. Graph Neural Networks: A Review of Methods and Applications // AI Open. — 2020. — Vol. 1. - pp. 57–81.
 17. OpenAI. GPT-4 Technical Report // arXiv:2303.08774. — 2023.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.4'2

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОБЫТИЙНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МИКРОСЕРВИСНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗВЁРТЫВАНИЯ

Чумаков А.А.

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ (ИТМО)»,
Санкт-Петербург, Россия (197101, город Санкт-Петербург, Кронверкский пр-кт, д. 49 литер
а), e-mail: chumalesha@mail.ru

В статье представлена оценка устойчивости микросервисного приложения с событийно-ориентированной архитектурой при сбоях в процессе обновления. Рассмотрены четыре стратегии развёртывания: Recreate, Rolling, Blue-Green и Canary. Основными критериями выступают продолжительность простоя, общее время обновления и способность системы восстанавливаться при ошибках. Эксперимент проведён на стенде с использованием брокера сообщений, обеспечивающего асинхронное взаимодействие сервисов. Приведены количественные метрики и качественная оценка поведения системы при сбоях. Установлено, что прогрессивные стратегии (Rolling, Blue-Green, Canary) обеспечивают непрерывную доступность и минимизируют риски при обновлении по сравнению с Recreate, но требуют более сложной инфраструктуры.

Ключевые слова: Микросервисная архитектура, стратегии развёртывания, событийно-ориентированные приложения, устойчивость системы, отказоустойчивость, развёртывание сервисов, брокер сообщений.

EVALUATION OF THE RESILIENCE OF EVENT-DRIVEN MICROSERVICE APPLICATIONS DURING DEPLOYMENT

Chumakov A. A.

NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES, MECHANICS AND
OPTICS (ITMO), St. Petersburg, Russia (197101, St. Petersburg, Kronverkskiy pr-kt, 49). e-mail:
chumalesha@mail.ru

This paper presents an evaluation of the resilience of an event-driven microservice application under deployment failures. Four deployment strategies are considered: Recreate, Rolling, Blue-Green, and Canary. The main criteria include service downtime, total deployment time, and the system's ability to recover from errors. The experiment was conducted using a testbed with a message broker enabling asynchronous communication between services. Quantitative metrics and qualitative assessments of system behavior under failure scenarios are provided. The results show that progressive strategies (Rolling, Blue-Green, Canary) ensure continuous availability and reduce risks compared to Recreate, though they require more complex infrastructure.

Keywords: Microservice architecture, deployment strategies, event-driven applications, system resilience, fault tolerance, service deployment, message broker.

Введение

Микросервисная архитектура стала широко применяться для создания масштабируемых и устойчивых к сбоям программных систем. Одним из вызовов при сопровождении микросервисных систем является непрерывное развёртывание обновлений без остановки обслуживания пользователей (Zero Downtime Deployment) [5]. Регулярные релизы новых версий требуют стратегий деплоя, минимизирующих время простоя и риски сбоев.

Правильный выбор стратегии развёртывания напрямую влияет на отказоустойчивость приложения: он определяет, будет ли обеспечена непрерывная доступность сервисов при обновлении, а также насколько просто откатить изменения при возникновении ошибок [1]. Существуют различные стратегии развёртывания, разработанные в DevOps-практике для балансировки риска и доступности.

Выбор стратегии зависит от допустимого времени простоя, стабильности новых версий и возможности быстрого отката, что подчёркивается в литературе. Важным аспектом надёжности микросервисных систем является их архитектурный стиль [3]. В событийно-ориентированной архитектуре (event-driven), где взаимодействие сервисов происходит асинхронно через брокер сообщений, система способна более эластично реагировать на перезагрузку компонентов. Асинхронные очереди сглаживают кратковременные недоступности сервисов: например, если во время обновления сервис временно отключается, сообщения могут накапливаться в брокере и быть обработаны после восстановления сервиса. Благодаря этому, даже при менее совершенной стратегии развёртывания общее поведение системы может остаться удовлетворительным. Целью данного исследования является анализ устойчивости событийно-ориентированного микросервисного приложения при использовании различных стратегий в процессе развёртывания.

Материал и методы исследования

Объектом исследования является микросервисное приложение на основе событийно-ориентированной архитектуры. Для экспериментов разработан прототип, включающий три взаимодействующих микросервиса и брокер сообщений, через который осуществляется обмен событиями (Рисунок 1). Такая архитектура моделирует типичное event-driven приложение, где компоненты обмениваются данными асинхронно, публикуя и потребляя сообщения. Каждый сервис развёртывается в контейнеризированном окружении (Kubernetes), что позволяет применить различные стратегии деплоя на уровне оркестрации. На стенде реализованы четыре стратегии обновления сервисов до новой версии: Recreate, Rolling, Blue-Green, Canary. В случае Recreate обновление каждого сервиса производится с остановкой: старый экземпляр сервиса выключается, затем запускается новый экземпляр с обновлённым кодом (образом контейнера). При стратегии Rolling используется механизм поэтапного обновления Deployment-объектов Kubernetes: новые поды запускаются по одному (или по заданной группе), проходя проверку готовности, после чего соответствующее количество старых подов выводится из работы [2].

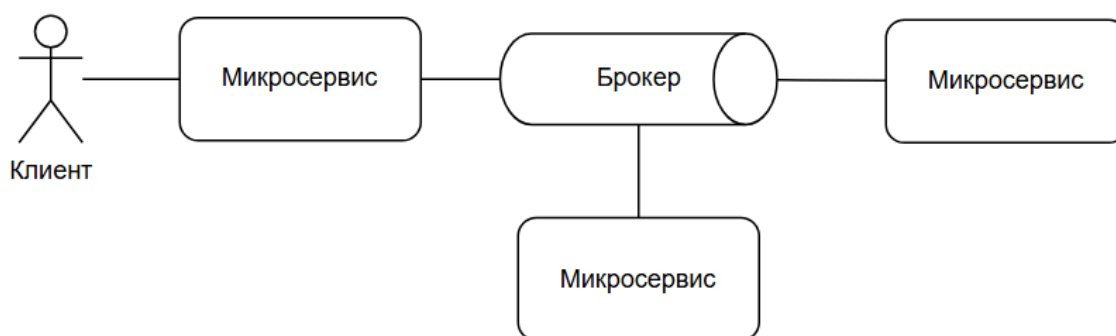


Рисунок 1 – Архитектура тестовой системы

Blue-Green реализуется путём развёртывания параллельной копии каждого сервиса (green-окружение) в дополнение к текущему (blue); после успешного запуска всех новых экземпляров осуществляется переключение всего входящего трафика на новую версию (например, обновлением маршрутов в Istio или сменой меток сервисов) [6]. Canary-развёртывание настроено с помощью постепенного переключения трафика: сперва разворачивается новая версия сервиса параллельно со старой, затем небольшой процент запросов (или сообщений) направляется на новую версию [5]. Если новая версия работает корректно, доля трафика увеличивается ступенчато до 100%, иначе трафик полностью возвращается на старую версию. Для состояния данных (брокера сообщений) стратегии Blue-Green и Canary напрямую не применялись, так как одновременная работа двух версий брокера с общим состоянием могла привести к рассогласованию данных; поэтому брокер обновлялся только стратегиями Recreate или Rolling.

Первый сценарий эксперимента – обновление всех компонентов приложения до новых версий во всех четырёх стратегиях. Измерялись два основных количественных показателя: время простоя – суммарная длительность недоступности сервисов для пользователей в процессе деплоя; общее время развёртывания – длительность процесса от начала обновления до полной подачи трафика на новую версию. Время недоступности определялось на основе метрик готовности сервисов и ответов на тестовые запросы (отсутствие ответа воспринималось как простой), а длительность развёртывания – по разнице меток времени между стартом обновления и моментом переключения трафика на новую версию (для Blue-Green и Canary – включая этап маршрутизации).

Кроме того, проводились сценарии с намеренно вызванными сбоями: моделировались ошибки во время обновления (например, некорректный образ, приводящий к падению пода) и ошибки, обнаруживающиеся после завершения деплоя (критический дефект в новой версии, проявившийся в работе).

Для оценки последствий таких сбоев вводился качественный показатель критичности – степень влияния неисправной новой версии на систему (высокая, средняя, низкая), исходя из доли пользователей, затронутых проблемой, и сложности восстановления (отката на прежнюю версию). Данный показатель определялся для каждого компонента приложения при каждой стратегии на основе характера распространения сбоя.

Результаты

По результатам эксперимента по первому сценарию получены метрики доступности приложения при полном обновлении всех сервисов. Таблица 1 показывает сравнение стратегий по наличию или отсутствию простоя и по времени, затраченному на деплой новой версии, для событийно-ориентированной архитектуры с брокером сообщений.

Таблица 1 – Метрики стратегий развёртывания (Архитектура с брокером)

	Время простоя, с	Время развёртывания, с
Recreate	36.2	31.3
Rolling	0	38.8
Canary	0	44.1 (+ 90)
Blue-green	0	44.3 (+ 90)

Как видно из Таблицы 1, стратегия Recreate сопровождается ощутимым простоем – в тестовом сценарии порядка 36 секунд суммарно, в то время как при стратегиях Rolling, Blue-Green и Canary простой отсутствует (нулевые значения). Это объясняется принципами реализации: при Rolling-обновлении и прогрессивных стратегиях старая версия продолжает обслуживать запросы, пока не будет подтверждена готовность новой версии, таким образом предотвращается разрыв в доступности сервиса. Напротив, при подходе Recreate на время перезапуска каждого сервиса его функции недоступны для пользователей.

Длительность развёртывания новой версии возрастает от простой стратегии к более сложным. Самое короткое время деплоя зафиксировано у Recreate – около 31 секунды, стратегии Blue-Green и Canary демонстрируют наибольшее время (44–45с плюс 90с), что обусловлено дополнительными этапами: для Blue-Green требуется развернуть дублирующую среду и выполнить переключение окружений, а Canary включает постепенное переключение трафика с промежуточной выдержкой на каждой стадии. В представленных данных в скобках указана дополнительная задержка 90 секунд для Canary и Blue-Green – это время, затраченное на контроль стабильности новой версии перед окончательным переводом трафика.

Второй частью исследования являлся анализ поведения системы при возникновении сбоев во время и после процесса обновления. Рассмотрены два сценария: ошибка в ходе деплоя, когда новая версия одного из сервисов не запускается корректно (например, из-за дефекта в сборке или несоответствия конфигурации); ошибка новой версии после выпуска, когда обновление завершилось успешно, но вскоре обнаруживается серьёзный дефект в логике работы нового кода. Для каждого сценария оценивалось, как различные стратегии позволяют локализовать проблему и восстановить нормальную работу системы.

Сценарий – ошибки в ходе развёртывания – если на этапе обновления происходит сбой запуска нового экземпляра сервиса, стратегии реагируют по-разному. При подходе Recreate отказ новой версии приводит к недоступности соответствующего сервиса, так как старая версия уже остановлена. В таком случае обновление прерывается, и система остаётся в деградированном состоянии до вмешательства оператора. Фактически, дефект при деплое по стратегии Recreate означает полный простой данного сервиса, а для восстановления потребуется повторный деплой старой версии, что эквивалентно ещё одному циклу развёртывания с простоем.

Стратегия Rolling более устойчива к подобным сбоям. Если один из подов новой версии не проходит проверку готовности или аварийно завершает работу, оркестратор (Kubernetes) останавливает дальнейшее развёртывание. Уже обновлённые экземпляры можно оперативно откатить до предыдущей версии (благодаря хранению истории ReplicaSet), а не обновлённые остаются на старой версии. В результате при Rolling-обновлении ошибка на ранней стадии затрагивает лишь часть экземпляров сервиса.

Blue-Green стратегия изначально предусматривает развёртывание новой версии изолированно от пользовательского трафика. При возникновении ошибки на стороне green-версии (например, сервис не проходит liveness-пробы или автоматические тесты) переключение трафика на неё не выполняется. Система просто фиксирует неуспешный релиз, продолжая обслуживать пользователей на старой (blue) версии.

В итоге сбой новой версии не приводит к видимым внешним последствиям: время простоя отсутствует, и система фактически автоматически откатывается к штатной работе на прежней версии. Администратору достаточно исправить ошибку и повторить попытку деплоя,

тогда как пользователи даже не замечают проблем, поскольку всё это время работали со стабильной старой версией.

Canary-развёртывание благодаря поэтапному включению новой версии в обслуживание также локализует эффект ошибок. Если на этапе канареечного запуска обнаруживается некорректная работа новой версии, трафик не перенаправляется дальше на неё: пользователи продолжают работать со старой версией, за исключением небольшой доли, приходящейся на канареечные экземпляры. Процесс обновления останавливается, и система оперативно возвращается к предыдущему состоянию (аналогично Blue-Green).

Таким образом, Rolling, Blue-Green и Canary стратегии обеспечивают механизм автоматической защиты от некачественного обновления: система либо остаётся частично на старой версии, либо полностью предотвращает ввод неисправной версии в эксплуатацию. Эти подходы заметно повышают надёжность релизов, в то время как Recreate не даёт подобных возможностей, что делает его рискованным для критичных сервисов.

Последний сценарий – ошибки после развёртывания – если серьёзная проблема в обновлённом сервисе проявляется уже после того, как новая версия полностью введена в эксплуатацию, последствия для системы зависят от стратегии деплоя и характера архитектуры. В данном исследовании оценивалась критичность последствий сбоя нового релиза для разных компонентов микросервисного приложения. Таблица 2 суммирует эту оценку для архитектуры с брокером (событийно-ориентированной) – указана степень влияния ошибки каждого компонента (трёх сервисов и брокера) при различных стратегиях обновления. Высокая критичность означает, что сбой компонента приводит к полной недоступности или существенным нарушениям работы системы; средняя – заметное снижение качества работы или частичная недоступность; низкая – минимальное воздействие на пользователей, локализованная проблема.

Таблица 2 – Критичность ошибок сервисов event-driven архитектуры

	Сервис 1	Брокер	Сервис 2	Сервис 3
Recreate	Высокая	Высокая	Средняя	Средняя
Rolling	Средняя	Средняя	Низкая	Низкая
Canary	Низкая	-	Низкая	Низкая
Blue-green	Низкая	-	Низкая	Низкая

Для системы наиболее критичными компонентами являются сервис 1 (условно входной сервис) и брокер сообщений, через который проходит весь трафик событий. При обновлении по стратегии Recreate, если уже после релиза выясняется, что новая версия входного сервиса или брокера содержит дефект, это имеет высокую критичность: все пользователи работают на новой (неисправной) версии компонента, поэтому последствия затрагивают всю систему. Более того, откат в этом случае не отличается от повторного деплоя старой версии с простоем – пользователи уже столкнулись с некорректной работой, и пока проблему не устранят, система фактически неисправна. Таким образом, для Recreate сбой критичного сервиса после обновления означает наихудший сценарий – полный и всеобъемлющий эффект ошибки.

При Rolling-обновлении последствия аналогичного дефекта будут средними: если обновление сервисов шло постепенно, то на момент обнаружения проблемы часть экземпляров может всё ещё работать на старой версии. Это несколько снижает масштаб негативного влияния – некоторый процент пользователей (или сообщений) всё ещё обслуживается старой версией без ошибок. Администратор может приостановить распространение новой версии и выполнить откат уже обновлённых экземпляров на предыдущую версию относительно быстро. Однако до выявления дефекта определённая доля запросов обрабатывалась неисправной новой версией, и пользователи могли получать ошибки или некорректные результаты. Для вспомогательных сервисов (сервис 1 и 2 таблице 2) критичность при Recreate оценена как средняя, поскольку их сбой нарушает работу только части бизнес-функций системы (менее заметен для пользователя, чем отказ центрального брокера или входного сервиса), однако при отсутствии плавного отката всё равно приводит к существенным проблемам. В случае Rolling сбой второстепенного сервиса имеет низкую критичность: даже если часть его экземпляров обновлена с дефектом, асинхронная природа взаимодействия и наличие старых экземпляров позволяют системе временно продолжить работу, задерживая обработку соответствующих событий.

Стратегии Blue-Green и Canary оказываются наиболее надёжными в сценарии после-релизных сбоев новой версии. Поскольку при этих подходах новая версия вводится либо параллельно с полностью сохранённой старой, либо постепенно, появляется возможность быстро вернуть трафик на предшествующую версию при малейших признаках некорректной работы. Благодаря этому, для сервисов критичность последствий при стратегиях Blue-Green и Canary оценивается как низкая: система защищена возможностью обратимого переключения.

Стоит заметить, что для брокера сообщений эти стратегии не применялись (обозначено минусов в таблице), так как брокер обновлялся только Recreate/Rolling, поскольку обладает состоянием. Поэтому устойчивость брокера при Blue-Green/Canary фактически эквивалентна Rolling-стратегии (оценена как средняя). Тем не менее, в целом прогрессивные стратегии позволяют минимизировать ущерб от выпуска дефектной версии.

Заключение

В работе проведён анализ устойчивости микросервисного приложения на базе событийно-ориентированной архитектуры при ошибках, возникающих в процессе обновления. Экспериментальные результаты показали, что стратегия Recreate приводит к простоям сервисов и наименее устойчива к сбоям: при возникновении ошибки новая версия полностью нарушает работу приложения до вмешательства операторов. Rolling-обновление позволяет избежать простоя и снижает масштаб последствий ошибок, локализуя проблему на части экземпляров сервиса. Стратегии Blue-Green и Canary обеспечивают практически непрерывную работу без остановок даже при неудачном релизе – трафик не переключается на неисправную версию, либо быстро возвращается обратно.

В сценариях с критическими дефектами после выпуска прогрессивные подходы демонстрируют значительно более высокую надёжность, чем Recreate, благодаря возможности мгновенного отката на предыдущую версию. Таким образом, для событийно-ориентированных микросервисных систем, предъявляющих высокие требования к доступности, предпочтительно применять Rolling, Blue-Green или Canary стратегии развёртывания. Полученные в работе выводы могут быть полезны DevOps-инженерам и архитекторам при проектировании конвейеров CI/CD для микросервисных приложений, требующих высокой доступности и надёжности обновлений.

Список литературы

1. Рывков С. С. Проектирование приложения на основе микросервисной архитектуры, его развёртывание и сопровождение в облачной среде // Электронные системы и технологии: сб. материалов 57-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск. – 2021. – С. 27–30.
2. Чернов А. В., Коновалов Н. С., Побойкина А. О. Стратегия развёртывания микросервисов в облаке // Вопросы развития современной науки и техники. – 2021. – № 2. – С. 74–78.
3. Niño-Martínez V. M., Ocharán-Hernández J. O., Limón X., Pérez-Arriaga J. C. Microservice Deployment // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. – 2023. – Vol. 35, No. 1. – pp. 57–72.
4. Buzachis A., Galletta A., Celesti A., Carnevale L., Villari M. Towards Osmotic Computing: a Blue-Green Strategy for the Fast Re-Deployment of Microservices // 2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Barcelona. – 2019. – pp. 1–6.
5. Nillson A. Zero-Downtime Deployment in a High Availability Architecture: Controlled experiment of deployment automation in a high availability architecture // Department of Computer Science and Media Technology (CM). – 2018. – p. 41.
6. Zhao P., Wang P., Yang X., Lin J. Towards Cost-Efficient Edge Intelligent Computing With Elastic Deployment of Container-Based Microservices // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – pp. 102947–102957.

References

1. Rybkov S. S. Proektirovanie prilozheniya na osnove mikroservisnoy arkhitektury, ego razvertyvanie i soprovozhdenie v oblachnoy srede // Elektronnyye sistemy i tekhnologii: sb. materialov 57-y nauch. konf. aspirantov, magistrantov i studentov BGUIR, Minsk. – 2021. – pp. 27–30.

2. Chernov A. V., Konovalov N. S., Poboikina A. O. Strategiya razvertyvaniya mikroservisov v oblake // Voprosy razvitiya sovremennoy nauki i tekhniki. – 2021. – No. 2. – pp. 74–78.
 3. Niño-Martínez V. M., Ocharán-Hernández J. O., Limón X., Pérez-Arriaga J. C. Microservice Deployment // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. – 2023. – Vol. 35, No. 1. – pp. 57–72.
 4. Buzachis A., Galletta A., Celesti A., Carnevale L., Villari M. Towards Osmotic Computing: a Blue-Green Strategy for the Fast Re-Deployment of Microservices // 2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Barcelona. – 2019. – pp. 1–6.
 5. Nillson A. Zero-Downtime Deployment in a High Availability Architecture: Controlled experiment of deployment automation in a high availability architecture // Department of Computer Science and Media Technology (CM). – 2018. – p. 41.
 6. Zhao P., Wang P., Yang X., Lin J. Towards Cost-Efficient Edge Intelligent Computing With Elastic Deployment of Container-Based Microservices // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – pp. 102947–102957.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

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



УДК 004.056:681.327.1:681.327.5

ИНФРАСТРУКТУРА АТАК НА МФУ И УСТРОЙСТВА ПЕЧАТИ

¹Киселева А.И., Литвинов В.В.

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: ¹a261203@mail.ru

Статья посвящена анализу уязвимостей multifunctional устройств (МФУ) и методов атак на них, включая физический доступ, беспроводные атаки через Wi-Fi Direct и эксплуатацию слабых паролей. Исследование включает теоретический анализ и практические эксперименты с использованием Kali Linux и инструмента Airededdon, демонстрирующие компрометацию МФУ. Особое внимание уделено атакам на устройства HP TS300 и Pantum, подчеркивая риски утечки данных и использования МФУ как точки входа в сеть. Результаты подчеркивают важность защиты МФУ для предотвращения угроз информационной безопасности.

Ключевые слова: МФУ, информационная безопасность, Wi-Fi Direct, Kali Linux, Airededdon, уязвимости, атаки, дефолтные пароли, ФСТЭК, защита данных.

THE INFRASTRUCTURE OF ATTACKS ON MFPs AND PRINTING DEVICES.

¹ Kiseleva A.I., Litvinov V.V.

GUBKIN RUSSIAN STATE UNIVERSITY OF OIL AND GAS (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY), Moscow, Russia, (119296, Moscow, Leninsky pr-kt, 65 k. 1), e-mail: ¹a261203@mail.ru

The article examines vulnerabilities in multifunction printers (MFPs) and attack methods, including physical access, wireless attacks via Wi-Fi Direct, and exploitation of weak passwords. The study combines theoretical analysis with practical experiments using Kali Linux and the Airededdon tool, demonstrating MFP compromise. Special focus is given to attacks on HP TS300 and Pantum devices, highlighting risks of data leaks and MFPs being used as network entry points. The findings stress the importance of securing MFPs to mitigate information security threats.

Keywords: MFP, information security, Wi-Fi Direct, Kali Linux, Airededdon, vulnerabilities, attacks, default passwords, FSTEC, data protection.

В эпоху стремительного развития технологий и всеобъемлющей цифровизации, multifunctional устройства (МФУ) становятся неотъемлемой частью повседневной жизни. Эти устройства, объединяющие в себе функции печати, копирования, сканирования и факсимильной связи, значительно упрощают рабочие процессы, способствуя экономии времени и ресурсов.

Современные МФУ являются полноценными сетевыми устройствами с операционными системами, что делает их уязвимыми к тем же атакам, что и серверы. Успешная атака на МФУ может повлечь утечку конфиденциальных документов, распространение вредоносного программного обеспечения внутри сети или использование устройства в ботнетах. В то время как классические IT-системы изучены достаточно хорошо, безопасность МФУ остаётся под

исследованной областью, и реальные инциденты, такие как атаки через протоколы SNMP или FTP, подчеркивают необходимость более глубокого анализа их уязвимостей. В условиях роста числа атак на IoT-устройства, к которым относят и МФУ, важно не просто осознавать угрозы, но и активно изучать способы их предотвращения.

Анализ угроз, связанных с МФУ, требует учёта нормативных требований, зафиксированных в руководящих документах ФСТЭК. Среди ключевых можно назвать «Приказ ФСТЭК России № 21», где оговариваются основные положения по защите информации в автоматизированных системах, а также другие приказы, регламентирующие актуальный перечень угроз для информационных систем. [1] Дополнительно необходимо учитывать Федеральный закон № 152-ФЗ «О персональных данных», если МФУ обрабатывает личную информацию, например, сканирует заявки сотрудников или печатает официальные документы. Правовая база устанавливает достаточно строгие критерии и нормы, однако многие организации всё ещё не уделяют должного внимания этой проблеме.

Чтобы представить общую модель вторжений на МФУ, целесообразно ориентироваться на двухэтапный сценарий: первоначальное проникновение к устройству (доступ), а затем развитие достигнутого успеха (компрометация) (Рисунок 1).

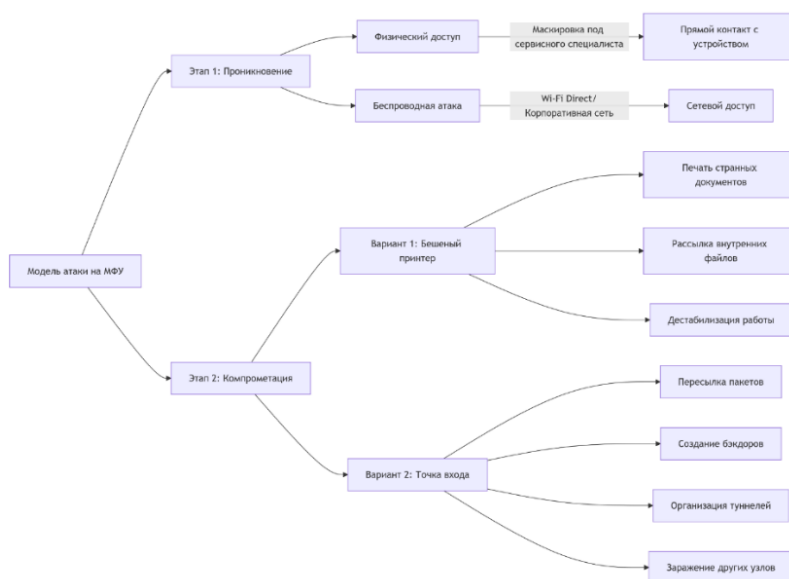


Рисунок 1 – Схема атаки на МФУ: двухэтапный сценарий компрометации

Источник: анализ авторов

Первый этап, как правило, проходит двумя путями – физическое взаимодействие или беспроводная атака. При физическом подходе злоумышленник фактически находится в зоне расположения МФУ и способен, например, замаскироваться под сервисного специалиста. При беспроводном методе используется незащищённая Wi-Fi Direct или недостаточно защищённая корпоративная сеть.

На втором этапе события развиваются по одному из двух вариантов.

1. «Бешеный принтер»: злоумышленник выводит МФУ из-под контроля, заставляет печатать странные документы, рассылать внутренние файлы, дестабилизировать работу офиса и порождать управляемый хаос;

2. Превращение МФУ в «точку входа»: устройство становится узлом сети, через который злоумышленник пересылает пакеты, организует бэкдооры, создаёт туннели и внедряет вредоносные программы в другие сегменты корпоративной инфраструктуры.

Нередко сотрудники организации не осознают угроз, связанных с неконтролируемым доступом к МФУ. Незакрытый админ-порт, пропускная флешка, забытая в USB-разъёме принтера, отсутствие простейших правил шифрования Wi-Fi Direct – всё это способствует возникновению благоприятных условий для взлома. Человеческий фактор часто оказывается решающим: даже при наличии комплексных мер защиты нарушители пользуются беспечностью персонала. К тому же во многих компаниях недооценивают необходимость регулярных проверок прошивок, вовремя не обновляют их, а иногда и вовсе не меняют заводские пароли. [2]

В рамках исследования была проведена систематизация атак на МФУ, включающая как теоретический анализ, так и практическую демонстрацию. В представленной ниже таблице обобщены основные виды атак, их механизмы, используемые инструменты, а также результаты их реализации в эксперименте. Особое внимание уделено атаке через Wi-Fi Direct, выполненной на устройствах HP TS300 и Pantum, что позволило подтвердить уязвимость МФУ с заводскими настройками.

Таблица 1 – Сводная таблица атак на МФУ

Атака	Описание	Инструменты	Потенциальные последствия	Причина нереализации (если применимо)
Pass Back	Отправка вредоносных заданий печати для перехвата данных или выполнения команд через уязвимости протоколов печати.	PRET, Metasploit	Кража данных, выполнение произвольного кода, нарушение работы МФУ.	Отсутствие подходящих уязвимостей в протоколе печати на тестируемых МФУ.
Переполнение буфера	Эксплуатация ошибок в программном обеспечении МФУ для выполнения произвольного кода через специально сформированные запросы.	Metasploit, custom exploits	Получение полного контроля над МФУ, внедрение вредоносного ПО.	Сложность поиска уязвимостей в прошивке МФУ, отсутствие документации и публичных эксплойтов.
Уязвимости CUPS	Использование ошибок в службе печати CUPS для получения привилегированного доступа или выполнения команд.	Exploit-DB, custom scripts	Доступ к системе МФУ, утечка данных, компрометация сети через протоколы печати.	Отсутствие актуальных эксплойтов для CUPS на тестируемых МФУ, сложность настройки атаки.
Wi-Fi Direct	Подключение к МФУ через незащищённую беспроводную сеть Wi-Fi Direct, перехват	Airgeddon	Доступ к веб-интерфейсу МФУ, кража данных, использование	Реализована благодаря включённому Wi-Fi Direct и

	рукопожатия и подбор пароля методом брутфорса.		МФУ как точки входа в сеть.	слабым паролям на обоих устройствах.
MITM	Перехват сетевого трафика между МФУ и другими устройствами для кражи данных или подмены команд.	Wireshark, Ettercap	Утечка конфиденциальных документов, компрометация сети.	Требуется контроль над сетевой инфраструктурой, недоступный в тестовой среде.
Физический доступ	Несанкционированное подключение через USB, использование сервисных кодов или внедрение вредоносного ПО в прошивку МФУ.	USB-накопители, прошивка tools	Установка бэкдоров, кража данных, физическое повреждение МФУ.	Ограниченный физический доступ к МФУ, высокий риск повреждения устройств.
Манипуляция прошивкой	Модификация прошивки МФУ для внедрения бэкдора, отключения защиты или скрытого сбора данных.	Binwalk, прошивка analysis tools	Полный контроль над МФУ, скрытая компрометация, нарушение работы устройства.	Отсутствие инструментов для анализа прошивок HP TS300 и Pantum.
Слабая аутентификация	Получение доступа к веб-интерфейсу МФУ через дефолтные или слабые пароли, отсутствие шифрования TLS.	Брутфорс, Burp Suite	Доступ к настройкам МФУ, изменение конфигурации устройства.	Реализована в рамках атаки Wi-Fi Direct: после взлома пароля получен доступ.
Телефонный фишинг	Использование социальной инженерии для обмана сотрудников и получения доступа к МФУ или сети.	Социальная инженерия	Доступ к МФУ или сети, утечка данных, компрометация инфраструктуры.	Не относится к техническим атакам, вне рамок эксперимента, сосредоточенного на сетевых уязвимостях.

Источник: анализ авторов

На Рисунке 2 представлена схема Wi-Fi Direct, которая в была реализован в практической части. Суть Wi-Fi Direct заключается в своеобразной замене Bluetooth. Он позволяет взаимодействовать двум устройствам напрямую, при этом без необходимости быть подключенным к Интернету.

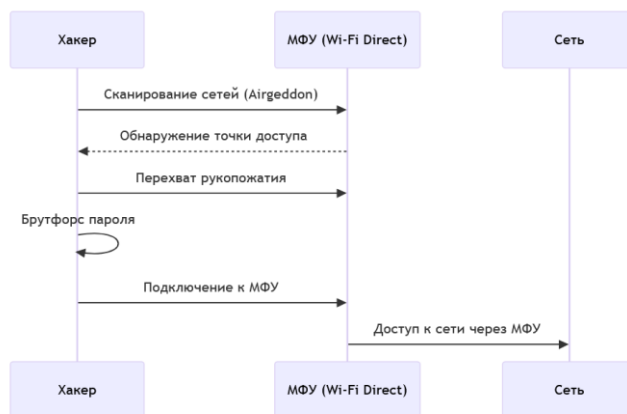


Рисунок 2 – Схема атаки через Wi-Fi Direct

Источник: анализ авторов

Объектом исследования являются multifunctional устройства (МФУ) в корпоративных и домашних сетях. Предметом исследования являются уязвимости и методы атак на МФУ, позволяющие компрометировать сеть или выполнить удалённый код.

Цель данной работы заключается в изучении и реализации атак на multifunctional устройства (МФУ).

Исследований, посвященных анализу уязвимостей multifunctional устройств (МФУ) в контексте информационной безопасности, относительно немного. В основном доступна официальная документация по используемым инструментам [1]. Также существуют статьи, описывающие общие принципы атак на беспроводные сети и устройства, подключенные к ним [2,3]. Однако исследований, непосредственно связанных с экспериментальным анализом уязвимостей МФУ с использованием инструментов для тестирования безопасности, таких как Airgeddon, практически не проводилось.

Для достижения цели был проведен анализ документации по инструментам информационной безопасности и выполнены тестовые атаки на МФУ с использованием Kali Linux и приложения Airgeddon. Для этого на компьютере с процессором 13th Gen Intel Core i9-13980HX 2.20 GHz и оперативной памятью 16,0 ГБ (доступно 15,6 ГБ) была установлена среда VirtualBox. Внутри нее была развернута виртуальная машина с операционной системой Kali Linux, настроенная для проведения атак на тестовую сеть с подключенным МФУ.[3]

В рамках эксперимента виртуальной машине с Kali Linux были выделены следующие параметры: оперативная память 2048 МБ, 2 процессора, порядок загрузки: гибкий диск, оптический диск, жесткий диск, ускорение: Nested Paging, паравиртуализация KVM, видеопамять 16 МБ, а также в качестве носителя использовался обычный VDI размером 60,00 ГБ. Эти параметры обеспечили достаточную производительность для работы инструмента Airgeddon и проведения тестовых атак на МФУ.

Результаты исследования

Для начала запустим программу Airgeddon. Выбираем сетевой интерфейс, на котором будет работать наша программа (Рисунок 3). Функционирование программы может быть нарушено в условиях отсутствия дополнительных физических сетевых интерфейсов, что обусловлено необходимостью задействования интерфейса в режиме мониторинга.

```
File Actions Edit View Help
***** Interface selection *****
**
Select an interface to work with:

1. wlan0 // 2.4Ghz, 5Ghz // Chipset: Realtek Semiconductor Corp. RTL88x2bu
2. wlan1 // 2.4Ghz, 5Ghz // Chipset: Qualcomm Atheros QCA9377 802.11ac

Hint Another way to contribute to the project is buying some merchandising (m
ugs, T-shirts, etc.). A little portion of each payment (after deducting mater
ial, printing and shipping) will be to support the project. Check the merchan
dising online shop at: https://airgeddon.creator-spring.com/

> 1
```

Рисунок 3 – Выбор сетевого интерфейса

Источник: анализ авторов

Для обнаружения доступных беспроводных сетей необходимо перевести сетевой интерфейс в режим мониторинга непосредственно после входа в меню программы (рисунок 4). Данный режим несовместим с функцией подключения к сети, так как требует исключительного использования интерфейса для сканирования радиочастотного спектра.[4]

```
File Actions Edit View Help

Select an option from menu:

0. Exit script
1. Select another network interface
2. Put interface in monitor mode
3. Put interface in managed mode

4. DoS attacks menu
5. Handshake/PMKID/Decloaking tools menu
6. Offline WPA/WPA2 decrypt menu
7. Evil Twin attacks menu
8. WPS attacks menu
9. WEP attacks menu
10. Enterprise attacks menu

11. About & Credits / Sponsorship mentions
12. Options and language menu

Hint If you have ccze installed and are experiencing display errors or glitch
as on some windows, you should disable extended colorization in the options a
nd language menu

> 2
Setting your interface in monitor mode ...

Monitor mode now is set on wlan0
Press [Enter] key to continue ...
```

Рисунок 4 – Перевод сетевого интерфейса в режим монитора

Источник: анализ авторов

Теперь приступаем к сканированию доступных нам сетей (Рисунок 5).

```
File Actions Edit View Hel
0. Return to main menu
1. Select another network interface
2. Put interface in monitor mode
3. Put interface in managed mode
4. Explore for targets (monitor mode needed)
5. Capture PMKID
6. Capture Handshake
7. Clean/optimize Handshake file
8. Decloaking by deauthentication
9. (mdk4) Decloaking by dictionary

Hint Cleaning a Handshake file is recommended only for big size file
etter to have a backup, sometimes file can be corrupted while cleaning it

> 4
***** Exploring for targets *****
**
Exploring for targets option chosen (monitor mode needed)
Selected interface wlan0 is in monitor mode. Exploration can be performed
No filters enabled on scan. When started, press [Ctrl+C] to stop...
Press [Enter] key to continue...
```

BSSID	PMR	Beacons	*Data, M/s	CH	MB	ENC	CIPHER	AUTH	ESSID	
5E:62:54:4E:81:2B	-47	11	0	0	10	65	WPA2	CCMP	PSK	H6812B-TS300series
F4:2B:8F:2D:14:21:1E	-44	14	1	0	10	130	WPA2	CCMP	PSK	NETS_GPON_2555

BSSID	STATION	PMR	Rate	Lost	Frames	Notes	Probes
-------	---------	-----	------	------	--------	-------	--------

Рисунок 5 – Сканирование доступных сетей

Источник: анализ авторов

Программное обеспечение обнаружило несколько точек доступа, включая устройство HP TS300, функционирующее в режиме Wi-Fi Direct (Рисунок 6). Оно идентифицируется в списке доступных сетей автоматически.

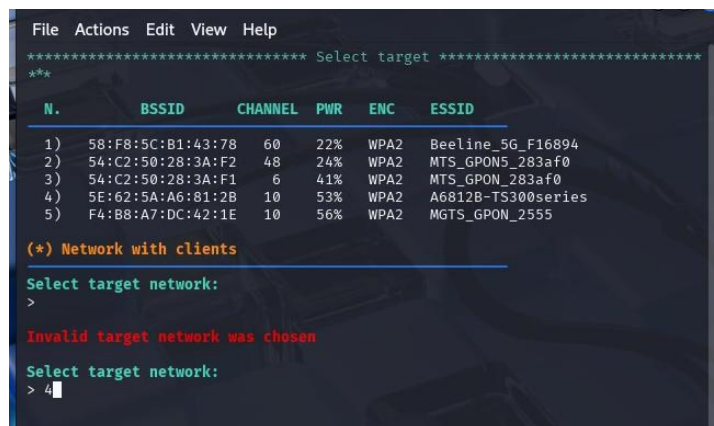


Рисунок 6 – Обнаруженные точки доступа

Источник: анализ авторов

Для реализации ее атаки осуществляется перегрузка канала точки доступа, что вынуждает её отправлять пакеты деаутентификации подключённым устройствам (Рисунок 7). После принудительного отключения целевого устройства производится повторная попытка подключения. Ее целью является перехват 4-way handshake, содержащий криптографические хэши для последующего взлома методом brute-force.

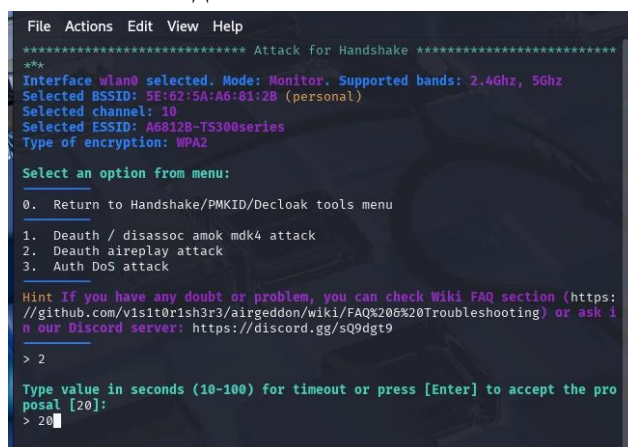
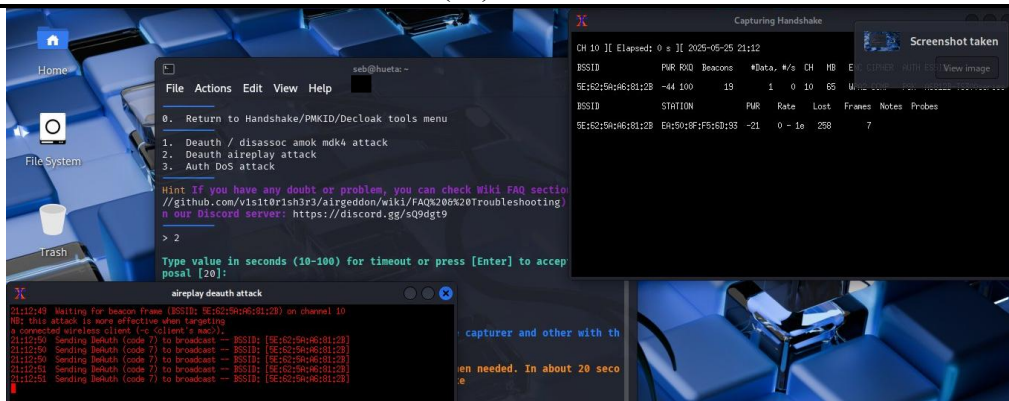


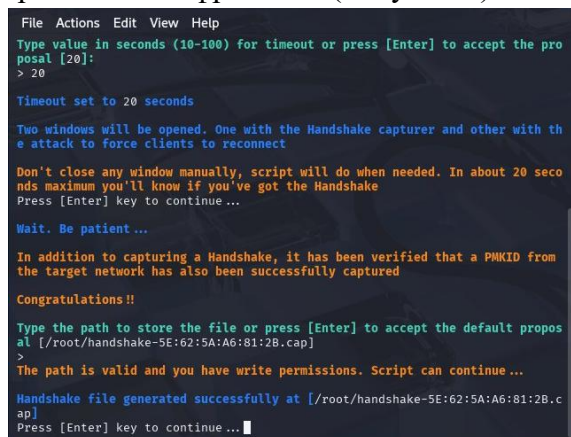
Рисунок 7 – Меню атак

Источник: анализ авторов

Далее производим непосредственную атаку сети (Рисунок 8).



Источник: анализ авторов



Источник: анализ авторов

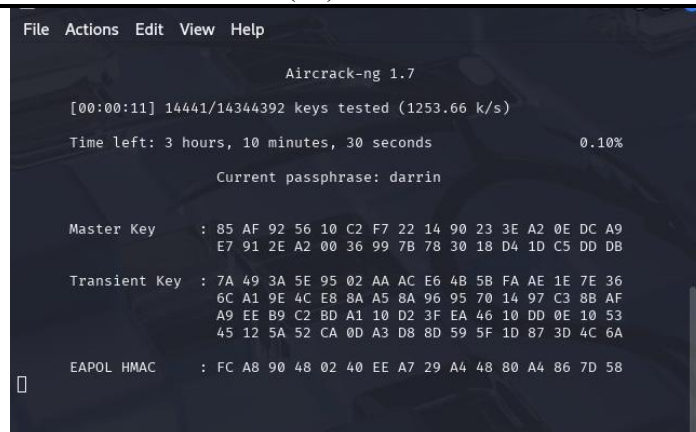


Рисунок 10 – Брутфорс

Источник: анализ авторов

Получив доступ к паролю, заходим в сеть, где находятся два устройства – мы и принтер (Рисунок 11).



Рисунок 11 – Хосты в сети

Источник: анализ авторов

В результате сканирования сетевых портов были идентифицированы активные сервисы, функционирующие на целевом печатающем устройстве (Рисунок 12). Следующим этапом исследования является получение авторизованного доступа к системе управления принтером.

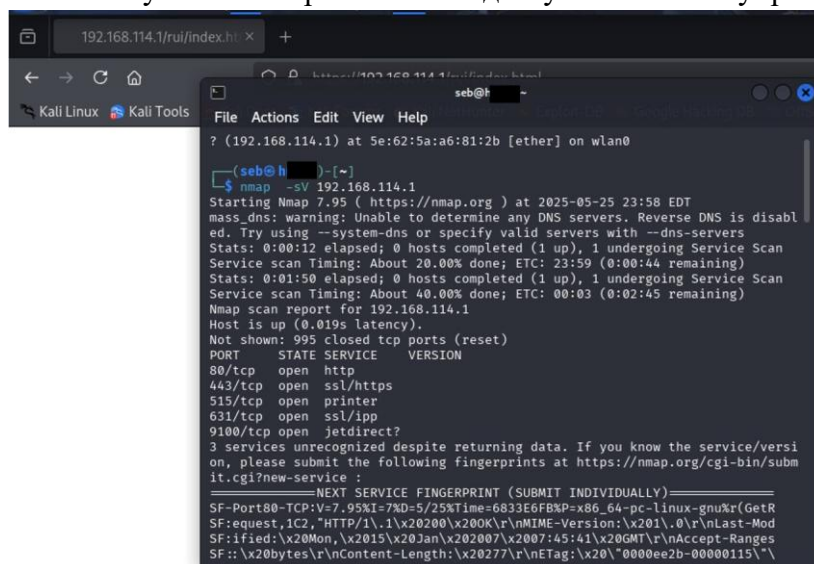


Рисунок 12 – Сканирование сети

Источник: анализ авторов

После идентификации веб-интерфейса управления устройством была предпринята попытка авторизации с использованием ранее выявленных учетных данных (Рисунок 13). В

данном случае в качестве пароля выступил серийный идентификатор устройства. Этот случай соответствует распространенной практике производителей по установке стандартных учетных данных.

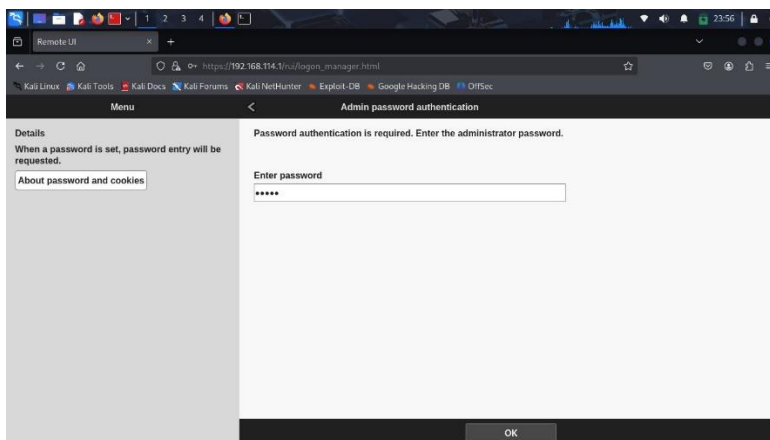


Рисунок 13 – Подключение к веб-интерфейсу

Источник: анализ авторов

После успешного получения доступа к принтеру осуществляется переход к исследованию сетевой инфраструктуры – домашней сети, к которой подключен взломанный принтер (Рисунок 14).

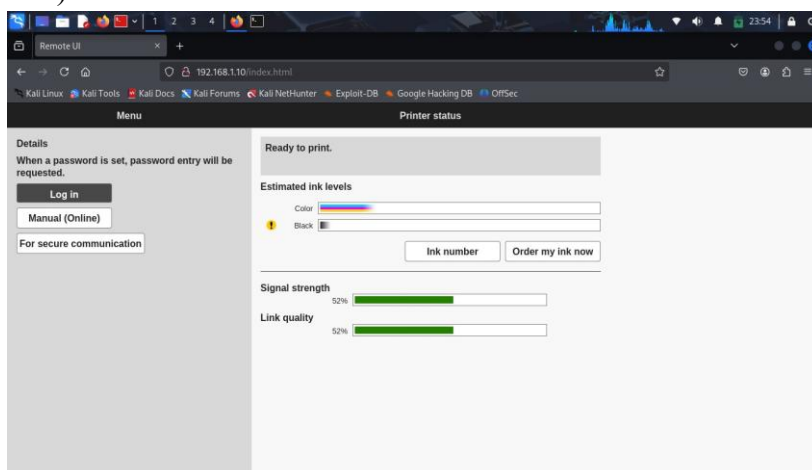


Рисунок 14 – Полученный доступ к принтеру

Источник: анализ авторов

На следующем этапе исследования была осуществлена атака на второй принтер (Рисунок 15).

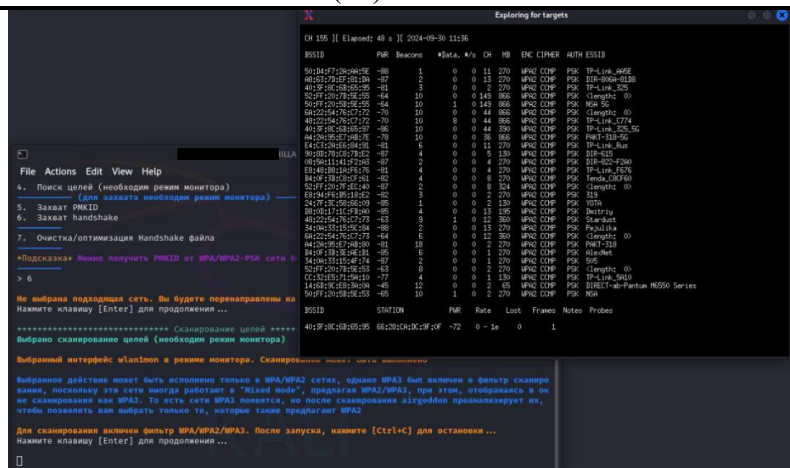


Рисунок 15 – Атака на целевое устройство (принтер №2)

Источник: анализ авторов

В ходе атаки успешно было захвачено рукопожатие (handshake), после чего определен путь его сохранения для последующего анализа (Рисунок 16, 17).

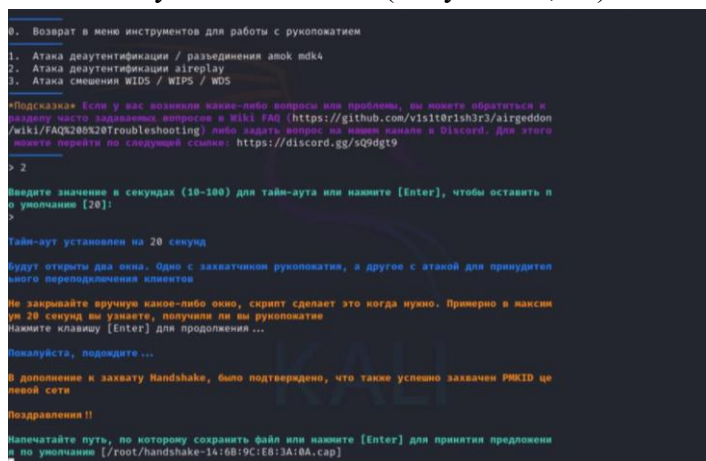


Рисунок 16 – Процесс захвата и сохранения рукопожатия

Источник: анализ авторов



Рисунок 17 – Файл перехваченного рукопожатия

Источник: анализ авторов

Полученный хеш пароля был подвергнут brute-force атаке с использованием инструмента Aircrack-ng, что привело к успешному восстановлению исходного пароля (рисунок 18, 19). Aircrack-ng – это набор инструментов с открытым исходным кодом для аудита Wi-Fi-сетей. Программа предназначена для обнаружения беспроводных сетей, перехвата передаваемого через них трафика, аудита ключей шифрования WEP и WPA/WPA2-PSK.

```
KER)-[~]  
→ sudo aircrack-ng -b 14:0b:9C:E8:3A:0A -w /home/gorillahacker/rockyou-100000.txt /root  
Reading packets, please wait...  
Opening /root/handshake-14:0b:9C:E8:3A:0A.cap  
Resetting EAPOL Handshake decoder state.  
Resetting EAPOL Handshake decoder state.  
Read 3731 packets.  
1 potential targets
```

Рисунок 18 – Запуск брутфорса хэша пароля

Источник: анализ авторов

```
Aircrack-ng 1.7  
[00:00:00] 16/100001 keys tested (1087.84 k/s)  
Time left: 1 minute, 31 seconds 0.02%  
KEY FOUND! [ 12345678 ]  
  
Master Key : 7E 4C 66 F3 FC B0 96 69 E3 0E 74 8C 3C 6F 82 D8  
6A 46 2B 85 F7 DE 83 1E E4 EC 70 DE 1F 49 9F AC  
  
Transient Key : 6E 40 C8 1E 52 00 CD DA 11 57 C6 25 CD 0C 70 FE  
9A BB 4D 4E FF 8C CF 7D CB BA BA CD 16 61 41 E1  
2E 7E 6F A2 DB 24 E6 E5 BC 80 79 90 C4 01 CC F4  
DC 92 74 9E 85 30 D7 FF E8 C8 9F F0 CF 00 00 00  
  
EAPOL HMAC : 56 40 DA A5 D2 47 09 CA A5 18 84 D5 65 7C BA 48
```

Рисунок 19 – Брутфорс хэша пароля

Источник: анализ авторов

Результаты исследования свидетельствуют о слабой парольной политике в рамках реализации технологии Wi-Fi Direct на данном устройстве. После успешного подбора пароля было установлено подключение к Wi-Fi Direct, что позволило получить доступ к веб-интерфейсу принтера (Рисунок 20).

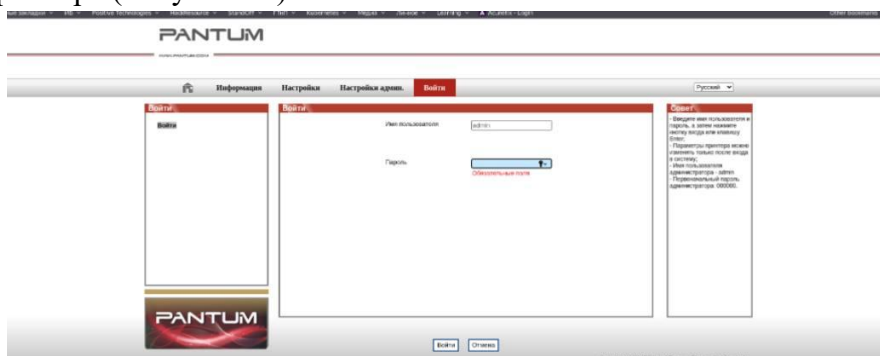


Рисунок 20 – Окно авторизации веб-интерфейса

Источник: анализ авторов

При попытке аутентификации в веб-интерфейсе были использованы стандартные учетные данные из предварительно составленной базы дефолтных паролей. Однако, поскольку пароль администратора был изменен, потребовалось применение метода brute-force для его восстановления (Рисунок 21).

4. Intruder attack of http://192.168.223.1

Results Positions Payloads Resource pool Settings

Filter: Showing all items

Request	Payload	Status code	Response	Error	Timeout	Length	Comment
14	XXXX..200	200	365			195	
0		200	302			195	
1	YWRB..200	200	101			195	
2	YWRB..200	200	402			195	
3	YWRB..200	200	498			195	
4	YWRB..200	200	595			195	
5	YWRB..200	200	595			195	
6	YWRB..200	200	992			195	
7	YWRB..200	200	795			195	
8	YWRB..200	200	993			195	
9	YWRB..200	200	893			195	
10	YWRB..200	200	1487			195	
11	YWRB..200	200	1384			195	
13	mode..XX	200	1181			195	

Request Response

pretty Raw Hex Render

HTTP/1.1 200 OK
Content-Length: 47
Expires: Thu, 01 Jan 1970 00:00:00 GMT
Content-Type: text/html
Server: HP-IL-RLD
Cache-Control: no-cache
[{"Operation": "Setting Properties", "Result": "0"}]

Рисунок 21 – Брутфорс пароля принтера

Источник: анализ авторов

В результате проведенной атаки был получен полный доступ к функционалу принтера, что подтверждает уязвимость устройства к подобным методам компрометации (Рисунок 22).

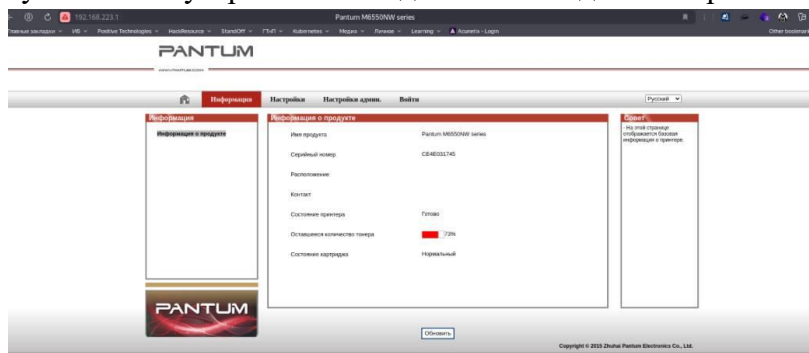


Рисунок 22 – Результат успешной атаки принтера 2

Источник: анализ авторов

В результате проведенного исследования, была составлена Таблица 2, в которой отображены наиболее часто используемые дефолтные пароли в соответствии с марками и моделями принтеров.

Таблица 2 – Таблица соответствия принтеров и паролей

Производитель	Стандартные учетные данные	Открытые порты	Специфические риски
Pantum	admin:000000	9100, 80, 23	Слабый Wi-Fi Direct, отсутствие шифрования PjL
HP	admin:admin	9100, 161, 443	Уязвимость JetDirect, SNMP-атаки
Epson	epson:epson	80, 515, 631	Открытый LPD, уязвимости CUPS
Xerox	Admin:1111	80, 443, 9220	Telnet по умолчанию, слабая аутентификация облачных сервисов
Brother	admin:access	631, 9100, 21	FTP без шифрования, уязвимости IPP
Kyocera	Admin:Admin	161, 80, 443	SNMPv1, перехват конфигураций
Canon	ADMIN:canon	80, 443, 50001	WebDAV-инъекции, устаревшие TLS-сертификаты
Ricoh	admin:password	515, 80, 443	Открытый LPD, RCE через буфер печати
TSC	admin:tsc	9100, 21	Нешифрованный трафик Ethernet, уязвимость AirPrint
Zebra	admin:1234	9100	Слабые настройки SNMP, перехват штрих-кодов
Lexmark	admin:lexmark	80, 9100	Уязвимости LPD, подделка PjL-команд
OKI	admin:okidata	80, 9100	Отсутствие шифрования HDD, CAPT-атаки
Mertech	admin:mertech	9100, 23	Открытый Telnet, отсутствие VLAN-сегментации
Honeywell	admin:123456	9100	Слабая аутентификация Wi-Fi, перехват Data Matrix
ATOL	admin:atol	9100, 80	Уязвимость RS-232, подделка RFID-меток
PayTor	paytor:paytor	9100, 23	Отсутствие WPA3, брутфорс через USB-host
Konica Minolta	supervisor:12345678	50001, 443	Уязвимости LDAPS, RCE через IPPS
Samsung	admin:sec00000	9100, 23	Устаревшая прошивка, Mirai-ботнеты
Sharp	admin:admin	443, 161	SNMP-атаки, отсутствие 2FA
Epson	EPSONWEB:admin	80, 515	СНПЧ-утечки, незащищенный Wi-Fi Direct

Заключение

Таким образом, МФУ представляют угрозу для физической и сетевой безопасности. Исследование демонстрирует, что МФУ – это не просто принтеры, а полноценные сетевые устройства, которые нужно защищать. Результаты подчеркивают важность проверки и настройки МФУ, чтобы избежать утечек данных и атак на сеть. Основные слабости – стандартные пароли, открытые порты и устаревшее программное обеспечение, из-за чего МФУ могут стать "слабым звеном" в безопасности. При правильной настройке, обслуживании

и устранении неполадок МФУ могут стать надежным и безопасным инструментом, который поможет предприятиям работать эффективнее.

Список литературы

1. Kali Linux Official Documentation. — Текст : электронный // timcore : [сайт]. — URL: <https://timcore.ru/wp-content/uploads/2021/02/oficialnaja-dokumentacija-kali-linux.pdf> (дата обращения: 16.05.2025).
2. Гольцова А. Б., Касимова А. Р., Мифтахова Л. Х. Анализ многофункциональных устройств (МФУ) с точки зрения несанкционированного доступа к компьютерной системе // Вестник Казанского технологического университета. 2016. №14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-mnogofunktsionalnyh-ustroystv-mfu-s-tochki-zreniya-nesanktsionirovannogo-dostupa-k-kompyuternoy-sisteme> (дата обращения: 12.05.2025).
3. Брендон, Д. Какую угрозу представляет старый офисный принтер / Д. Брендон // Директор информационной службы. – 2016. – № 6. – С. 45. – EDN WMODRB.
4. Уймин, А. Г. Периферийные устройства ЭВМ : Практикум / А. Г. Уймин. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 429 с. – ISBN 978-5-4497-2079-5. – EDN KQQFAG.

References

1. Kali Linux Official Documentation. — Text: electronic // timcore: [website - URL: <https://timcore.ru/wp-content/uploads/2021/02/oficialnaja-dokumentacija-kali-linux.pdf> (date of request: 05/16/2025).
 2. Goltsova A. B., Kasimova A. Pd., Miftakhova L. H. Analysis of multifunctional devices (MFPs) from the point of view of unauthorized access to a computer system // Bulletin of Kazan Technological University. 2016. No. 14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-mnogofunktsionalnyh-ustroystv-mfu-s-tochki-zreniya-nesanktsionirovannogo-dostupa-k-kompyuternoy-sisteme> (date of reference: 05/12/2025).
 3. Brandon, Dr. What kind of threat is an old office printer / D. Brandon // Director of Information Service. – 2016. – No. 6. - pp. 45. – EDN WMODRB.
 4. Uimin, A. G. Peripheral computer devices: A practical guide / A. G. Uimin - Moscow : IP Media, 2023. - p. 429– ISBN 978-5-4497-2079-5. – EDN KQQFAG.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.052

ВЕРИФИКАЦИОННОЕ ОКРУЖЕНИЕ ПО МЕТОДОЛОГИИ UVM ДЛЯ ВИДЕОИНТЕРФЕЙСА

Францев В.О.

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
"МИФИ", Москва, Россия (115409, город Москва, Каширское ш., д.31), e-mail:
frantsev28@yandex.ru

Работа посвящена исследованию проблемы верификации видеоинтерфейса на соответствие его спецификации и разработке верификационного окружения. В процессе работы проводился анализ предметной области и исследование различных архитектур и методов построения верификационного окружения по методологии UVM. В результате разработано новое конфигурируемое верификационное окружение для проверки протокола DisplayPort.

Ключевые слова: Верификационное Окружение, видеоинтерфейс, UVM методология, архитектура окружения, функциональная верификация.

UVM-BASED VERIFICATION ENVIRONMENT FOR A VIDEO INTERFACE

Frantsev V.O.

"NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY "MEPHI", Moscow, Russia (115409, Moscow,
Kashirskoye sh., 31 e-mail: frantsev28@yandex.ru

This work addresses the problem of verifying a video interface for compliance with its specification and presents the development of a verification environment. The research includes an analysis of the domain and a study of various architectures and methods for constructing a verification environment using the UVM methodology. As a result, a new configurable verification environment was developed for testing the DisplayPort protocol.

Keywords: Verification environment, video interface, UVM methodology, environment architecture, functional verification.

Введение

Согласно отчётам аналитических компаний [1, 2, 3], интерфейс DisplayPort демонстрирует устойчивый рост популярности. График проданных устройств с интерфейсом DisplayPort представлен на Рисунке 1. Значительное увеличение доли наблюдалось в 2022 году, что связано с расширением его применения в сегменте бюджетных компьютерных мониторов [3]. Существенная часть использования DisplayPort приходится на встраиваемые решения в промышленной электронике и экранах мобильных устройств, включая ноутбуки, благодаря высокой надёжности и пропускной способности интерфейса [1, 2]. Дополнительный рост обусловлен тем, что новые версии стандартов USB Type-C и Thunderbolt предусматривают обязательную поддержку режима передачи DisplayPort [4, 5].

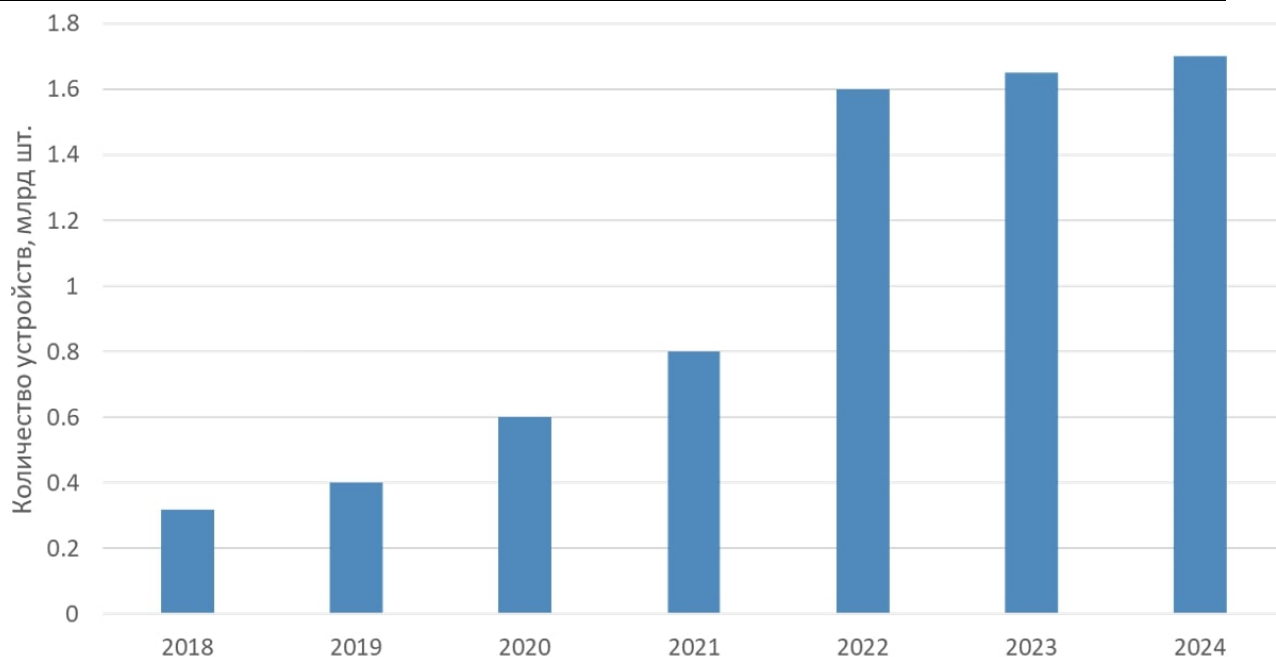


Рисунок 1 - Разработанное верификационное окружение

Рост разрешения и частоты кадров современных дисплеев требует надёжной высокоскоростной передачи видеоданных, что делает протокол DisplayPort одним из ключевых стандартов в области цифровых видеоинтерфейсов. Верификация таких протоколов становится всё более сложной задачей, поскольку необходимо обеспечить проверку широкого спектра режимов работы.

Для обеспечения воспроизводимой и масштабируемой верификации в индустрии широко применяется методология Universal Verification Methodology, базирующаяся на объектно-ориентированном подходе и стандартизированной структуре компонентов [6]. Она позволяет реализовать гибкую архитектуру testbench с использованием повторно используемых агентов, последовательностей, анализаторов и моделей регистров, обеспечивая при этом высокий уровень автоматизации процесса тестирования.

Несмотря на широкое применение UVM, верификация видеоинтерфейсов, таких как DisplayPort, требует реализации множества специфических элементов: генерации видеопотока с поддержкой таймингов, обработки управляющих символов (FS, FE, VB-ID и др.), модели канала передачи с поддержкой искажений, а также регистровой модели с доступом по каналу AUX. Стандарты VESA DisplayPort [7], и методологические руководства по верификации [8] формируют основу требований к верификационной среде.

Целью работы является разработка универсального и расширяемого верификационного окружения на основе UVM для цифрового видеоинтерфейса DisplayPort с поддержкой функционального покрытия, тестирования управляющих протокольных конструкций и конфигурации по регистровой модели. Предложенный подход может быть адаптирован под различные версии протокола.

Компоненты окружения

Иерархия компонентов UVM включает элементы, управляющие генерацией тестовых стимулов. В работах [9, 10] предложено деление генератора на независимые параллельные

зоны по интерфейсам, что улучшает модульность и ускоряет выполнение тестов. Это применимо для видеоинтерфейсов с множеством каналов, таких как DisplayPort. В отличие от монолитного подхода [11], каждый канал: MainChannel, AUX, Hot Plug обрабатывается независимо, что позволяет организовать параллельную генерацию.

Последовательности создаются через виртуальный `uvm_sequence`, формируют транзакции, и передаются через `sequencer` в драйвер. Наследование и композиция последовательностей [12, 13] позволяют повторно использовать и гибко настраивать тестовые сценарии, а `constraints` [14] ограничивают пространство генерации до реалистичных случаев. На рисунке 2 представлена предложенная архитектура верификационного окружения.

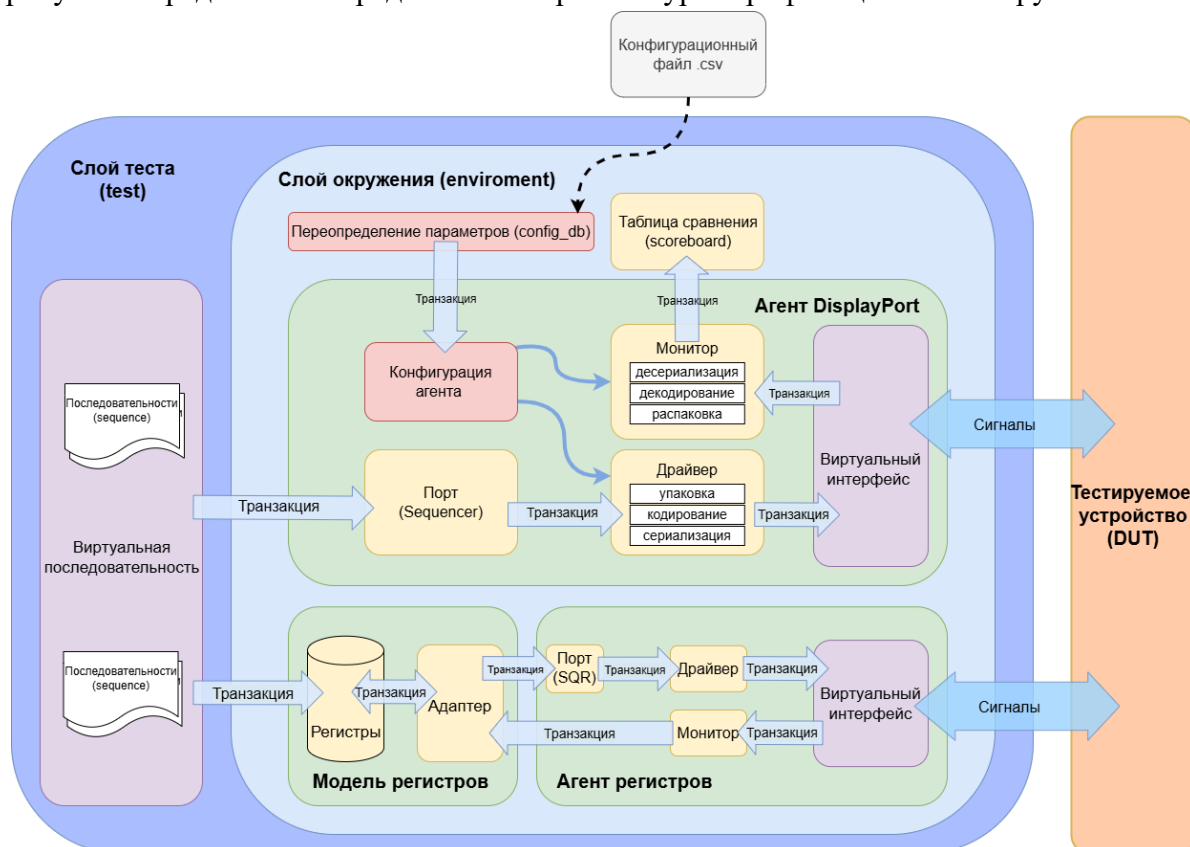


Рисунок 2 - Разработанное верификационное окружение

В методологии UVM компонент `uvm_agent` объединяет драйвер, монитор и секвенсор, формируя логически завершённый блок для работы с одним интерфейсом. Для протокола DisplayPort каждый из каналов реализован отдельным агентом с независимым секвенсором. Фактически можно выделить два агента для передачи кадров по MainChannel и управления регистрами, т.к. взаимодействие AUX и Hot Plug реализовано через них. Это позволяет обособленно генерировать стимулы для каждого направления передачи, повышая параллелизм и масштабируемость тестов [15].

Виртуальный `uvm_sequencer`, рекомендованный в работе [16], не применяется в данной реализации. Учитывая архитектурную стабильность DisplayPort и отсутствие межканального взаимодействия, его использование признано избыточным. Вместо этого виртуальные последовательности напрямую получают ссылки на конкретные секвенсоры агентов. Это снижает уровень абстракции, упрощает трассировку транзакций и устраняет накладные расходы на маршрутизацию. В результате агенты обеспечивают изоляцию каналов, точную

настройку передачи стимулов и высокую гибкость при конфигурации тестов. Специализация по каналам делает архитектуру эффективной и масштабируемой для различных версий DisplayPort без необходимости перестройки общей структуры.

Для передачи видеоданных в тестируемое устройство в драйвере принимаются транзакции пикселей из сгенерированного кадра. Пиксели передаются поэтапно в зависимости от конфигурации, формируя поток, соответствующий протоколу DisplayPort. Данный подход удобен для видеоинтерфейсов, т.к. делает возможным создания протокола DisplayPort и дальнейшее развитие из-за изменения параметров и их конфигурация.

Для тестирования устойчивости тестируемого устройства к ошибкам и проверок обработки исключительных ситуаций реализован механизм внесения искажений в видеокадры. Каждая транзакция кадра содержит структуру, описывающую тип и параметры искажений. Поддерживается одновременное моделирование нескольких типов ошибок в пределах одного кадра. Генератор искажений интегрирован в цепочку sequence передачи пикселей, искажения накладываются на данные в процессе формирования кадра. Поддерживаются нарушения структуры кадра, включая неправильную длину строк, пропуски строк, изменение высоты кадра, сбой интервала кадров и преждевременное завершение передачи. Также моделируются ошибки синхросигналов: искажение ширины импульсов горизонтальной и вертикальной синхронизации, зануление или зашумление соответствующих стробов. Искажения реализуются с помощью элементарных операций над данными кадра, включая зануление отдельных строк или сигналов, а также наложение шума посредством побитовой операции XOR. Это делает возможным проверить поведение устройства в сценариях работы, приближенным к реальным.

Регистровая модель UVM Register Abstraction Level используется для абстрагированной работы с внутренними регистрами тестируемого устройства, исключая необходимость взаимодействия с низкоуровневыми адресами и двоичными представлениями. Она строится в виде иерархии объектов `uvm_reg_block`, `uvm_reg`, `uvm_reg_field` и карт адресов [6]. Это упрощает повторное использование окружения при изменении структуры регистров и повышает читаемость тестов. Для взаимодействия с тестируемым устройством регистровая модель использует адаптер, преобразующий команды RAL в транзакции интерфейса. Благодаря этому возможно динамическое создание и конфигурация регистров под конкретную версию стандарта [17]. Поддержка фабрики `uvm_factory` позволяет заменять компоненты модели без изменения основного кода, а использование IP-XACT ускоряет генерацию кода и интеграцию в автоматизированные потоки [18, 19].

Особенности протокола DisplayPort, включая сотни DPCD-регистров, требуют точного управления транзакциями на уровне байтов. Стандартная функция `reg2bus()` отправляет команду целиком, что не всегда подходит. В работе используется модифицированный адаптер, разбивающий транзакции на части и передающий их в агент AUX. Это обеспечивает точную настройку полей регистров для сложных сценариев и совместимости между версиями [18].

Для обратного обновления модели RAL от тестируемого устройства применяется монитор, через который транзакции передаются в адаптер и далее в регистровую модель [17]. Методы `sample()` и `sample_values()` позволяют явно зафиксировать значения регистров в момент изменения, обеспечивая покрытие состояний [20].

При подаче искажённых кадров тестируемое устройство отражает возникающие ошибки в регистрах DPCD, доступных через канал AUX. Изменения фиксируются

регистровой моделью с использованием методов `read()` и `mirror()`. Эти флаги служат индикаторами нарушений протокола. Тесты анализируют значения после каждой передачи, подтверждая корректную реакцию устройства на ошибки без вмешательства мониторов. Такой подход обеспечивает формальную регистрацию сбоев и соответствие требованиям DisplayPort.

Рассматривается [21] применение Portable Stimulus Standard (PSS), ориентированного на верификацию систем с множеством взаимодействующих интерфейсов. Однако для DisplayPort такой подход нецелесообразен: протокол имеет фиксированную архитектуру, строгое разделение каналов (Main, AUX, Hot Plug) и высокую чувствительность к таймингу, что требует точного управления сигналами. В связи с этим в верификационном окружении реализован слой Bus Functional Model, обеспечивающий разделение абстрактной логики транзакций и протокол-зависимой передачи. Передача транзакций в DUT осуществляется через виртуальный интерфейс, преобразующий команды в сигналы, соответствующие спецификации DisplayPort. Такой подход позволяет сохранить точность и управляемость модели без избыточных абстракций [22].

Для обеспечения адаптируемости верификационного окружения под различные режимы работы DisplayPort реализован конфигурационный механизм. Он агрегирует параметры всех агентов, входящих в окружение, и управляется как вручную, так и через внешний файлы формата .csv. Файл конфигурации позволяет задать разрешение, частоту кадров, так и специфические для каждого канала. Каждый агент содержит компонент `cfg_manager`, получающий пакеты транзакций конфигурации через порт `uvm_analysis_export`. Эти пакеты исполняются в начале видеокадра, обеспечивая согласованную смену параметров в ходе симуляции. Такой подход позволяет динамически переключать режимы работы интерфейса без перезапуска симуляции.

Результаты

Оценка эффективности разработанного верификационного окружения проводилась на основе функционального покрытия, гибкости тестов и скорости выполнения. Были реализованы и выполнены тесты, охватывающие пять ключевых направлений. Для обеспечения гибкой трассировки и отладки тестов используются механизмы логирования UVM, отчёты покрытия и отчёты по ошибкам.

Проверялась корректность формирования последовательностей DisplayPort, включая вставку управляющих символов, скремблирование и кадрирование. По результатам симуляции не зафиксировано ни одного нарушения формата, что соответствует 100% соответствию эталонной модели. Генератор поддерживает формирование кадров с параметрами, задаваемыми через конфигурационные файлы. Протестированы стандартные форматы тайминги: 640×480@60 Гц, 800×600, 1024×768 и др. Достигнуто 100% покрытие предусмотренных форматов.

Выполнялось чтение, запись и проверка содержимого регистров DPCD через канал AUX. Все задействованные регистры были доступны из тестов, а их состояние отслеживалось через RAL-модель. Полнота задействования регистров составила 100% согласно спецификации DisplayPort 1.2.

Тесты фиксировали состояния регистров до и после транзакций с помощью методов `sample()` и `sample_values()`. Это позволило обеспечить покрытие всех критически значимых комбинаций, включая режимы с разной полосой пропускания и количеством линий передачи.

Реализованы тесты для проверки конкретных ошибок протокола. Были внесены искусственные ошибки: потеря синхронизации, неправильное чередование служебных символов, обрыв канала. Все ошибки корректно фиксировались в логах и вызывали ожидаемые реакции тестируемого устройства.

Заключение.

Разработанное верификационное окружение подтверждает эффективность применения методологии UVM для проверки видеоинтерфейсов на примере протокола DisplayPort. Архитектура среды обеспечивает модульность, параллельность и абстрагирование от конкретной реализации, что делает её удобной для расширения и повторного использования.

Поддержка генерации видеоданных, работы с регистрами по каналу AUX и фиксации состояний позволяет реализовывать сложные сценарии тестирования и отслеживать поведение тестируемого устройства с высокой точностью. Среда успешно справляется с конфигурацией различных режимов работы, включая реакции на искажения и ошибки передачи.

Показатели покрытия и производительности подтверждают, что решение готово к использованию и к интеграции в существующие среды верификации UVM.

Список литературы

1. Global HDMI and DisplayPort Market Size By Application Segment (Consumer Electronics, Computing), By End-user Segment (Residential Users, Commercial Users), By Technology Segment (HDMI Technology, DisplayPort Technology), By Distribution Channel Segment (Online Sales, Offline Sales), By Cable Length (Less than 10 meters, 10 to 20 meters), By Geographic Scope And Forecast // Verified Market Reports URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/hdmi-and-displayport-market-size-and-forecast/> (дата обращения: 27.02.2025).
2. Global DisplayPort Market Is Forecast To Reach USD 15.80 Billion by 2032 // Enterprise Apps Today URL: <https://www.enterpriseappstoday.com/news/global-displayport-market-is-forecast-to-reach-usd-15-80-billion-by-2032.html> (дата обращения: 03.03.2025).
3. DisplayPort IP Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Version (DisplayPort 1.0/1.1/1.1a, DisplayPort 1.2/1.2a, DisplayPort 1.3, DisplayPort 1.4/1.4a, DisplayPort 2.0, and DisplayPort 2.1), By Application (Consumer Electronics, Automotive, and Industrial), and Regional Forecast, 2023–2030 // Fortune Business Insights URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/displayport-ip-market-108306> (дата обращения: 03.03.2025).
4. USB Developer Days 2019 – VESA: DisplayPort Alt Mode over USB Type-C // VESA URL: <https://vesa.org/wp-content/uploads/2019/10/USB-DevDays-2019-VESA-DP-Alt-Mode-over-USB-Type-C.pdf> (дата обращения: 04.03.2025).
5. VESA – DisplayPort™ Alternate Mode on USB-C® // USB.org URL: <https://www.usb.org/document-library/vesa-displayporttm-alternate-mode-usb-cr> (дата обращения: 04.03.2025).

6. IEEE Std 1800.2-2020. IEEE Standard for Universal Verification Methodology Language Reference Manual // IEEE Standards Association URL: https://standards.ieee.org/standard/1800_2-2020.html (дата обращения: 05.03.2025).
7. VESA DisplayPort Standard 1.2 // VESA URL: <https://vesa.org/vesa-standards/> (дата обращения: 06.03.2025).
8. Golshan K. ASIC Design Implementation Process. Cham : Springer, 2024. 143 с.
9. Jagtap S., Ingale V., Gokhale A. PCIe Transaction and Data link Layers Verification IP Development using UVM // 2022 IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT). 2022. С. 1–4.
10. Zachariasova M., Bartak J., Pehnelt T., Riha J. A UVM Test-bench Skeleton Leveraging the Event Pool and Sequence Layering // DVCON. 2022. № 2022. С. 1–9.
11. Edelman R. What Does The Sequence Say? Powering Productivity with Polymorphism // DVCON. 2021. № 2021. С. 1–14.
12. Li C. M. Scalable Mixed Features Stimulus Generation for Cluster Network Using Sequence Decorator // DVCON. 2023. № 2023. С. 1–7.
13. Vintila A., Duda S. How Creativity Kills Reuse – A Modern Take on UVM/SV TB Architectures // DVCON. 2023. № 2023. С. 1–10.
14. Minhas M. K., Waris H., Farooq Y., Mohyuddin N., Baloch S. Coverage-Driven and Constrained-Randomized Sub-System Level Verification Methodology for RISC-V Based SoCs // Applied Sciences and Technology. 2023. № 20. С. 80–85.
15. Prathik R., Ramesh M., Girish K., Tony G. A UVM Multi-Agent Verification IP Architecture to Enable Next-Gen Protocols with Enhanced Reusability, Controllability and Observability // DVCON. 2024. № 2024. С. 1–8.
16. Cummings C. E., D’Onofrio S., Wilcox J., Chambers H. Advanced UVM, Multi-Interface, Reactive Stimulus Techniques // DVCON. 2021. № 2021. С. 1–8.
17. Edelman R. Register Testing – Exploring Tests, Register Model Libraries, Sequences and Backdoor Access // DVCON. 2022. № 2022. С. 1–17.
18. Edelman R. Register Modeling – Exploring Fields, Registers and Address Maps // DVCON. 2022. № 2022. С. 1–8.
19. Sinari S., McLean T., Applequist B., Rousseau V., Lallathin G. Automated Generation of RAL-based UVM Sequences // DVCON. 2020. № 2020. С. 1–6.
20. Shariff M. U., Reddy R. Functional-Coverage Sampling in UVM RAL – Use of 2 Obscure Methods // DVCON. 2023. № 2023. С. 1–7.
21. Martin R. R., Curtis A. M., Narasimhan G. L., Zhou Q. Improvement of UVM Scenario Generation, Control and Reproducibility using Portable Stimulus (PSS) for IP Validation // DVCON. 2023. № 2023. С. 1–8.
22. Krishnegowda D. Developing a Bus Functional Model for APB Slave Using Universal Verification Methodology // Proceedings of the 2021 Second International Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics (ICSTCEE). № 2021. С. 1–5.

References

1. Global HDMI and DisplayPort Market Size By Application Segment (Consumer Electronics, Computing), By End-user Segment (Residential Users, Commercial Users), By Technology Segment (HDMI Technology, DisplayPort Technology), By Distribution Channel Segment

- (Online Sales, Offline Sales), By Cable Length (Less than 10 meters, 10 to 20 meters), By Geographic Scope And Forecast // Verified Market Reports URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/hdmi-and-displayport-market-size-and-forecast/> (дата обращения: 27.02.2025).
2. Global DisplayPort Market Is Forecast To Reach USD 15.80 Billion by 2032 // Enterprise Apps Today URL: <https://www.enterpriseappstoday.com/news/global-displayport-market-is-forecast-to-reach-usd-15-80-billion-by-2032.html> (дата обращения: 03.03.2025).
 3. DisplayPort IP Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Version (DisplayPort 1.0/1.1/1.1a, DisplayPort 1.2/1.2a, DisplayPort 1.3, DisplayPort 1.4/1.4a, DisplayPort 2.0, and DisplayPort 2.1), By Application (Consumer Electronics, Automotive, and Industrial), and Regional Forecast, 2023–2030 // Fortune Business Insights URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/displayport-ip-market-108306> (дата обращения: 03.03.2025).
 4. USB Developer Days 2019 – VESA: DisplayPort Alt Mode over USB Type-C // VESA URL: <https://vesa.org/wp-content/uploads/2019/10/USB-DevDays-2019-VESA-DP-Alt-Mode-over-USB-Type-C.pdf> (дата обращения: 04.03.2025).
 5. VESA – DisplayPort™ Alternate Mode on USB-C® // USB.org URL: <https://www.usb.org/document-library/vesa-displayporttm-alternate-mode-usb-cr> (дата обращения: 04.03.2025).
 6. IEEE Std 1800.2-2020. IEEE Standard for Universal Verification Methodology Language Reference Manual // IEEE Standards Association URL: https://standards.ieee.org/standard/1800_2-2020.html (дата обращения: 05.03.2025).
 7. VESA DisplayPort Standard 1.2 // VESA URL: <https://vesa.org/vesa-standards/> (дата обращения: 06.03.2025).
 8. Golshan K. ASIC Design Implementation Process. Cham : Springer, 2024. P.143
 9. Jagtap S., Ingale V., Gokhale A. PCIe Transaction and Data link Layers Verification IP Development using UVM // 2022 IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT). 2022. pp. 1–4.
 10. Zachariasova M., Bartak J., Pehnelt T., Riha J. A UVM Test-bench Skeleton Leveraging the Event Pool and Sequence Layering // DVCON. 2022. № 2022. pp. 1–9.
 11. Edelman R. What Does The Sequence Say? Powering Productivity with Polymorphism // DVCON. 2021. № 2021. pp. 1–14.
 12. Li C. M. Scalable Mixed Features Stimulus Generation for Cluster Network Using Sequence Decorator // DVCON. 2023. № 2023. pp. 1–7.
 13. Vintila A., Duda S. How Creativity Kills Reuse – A Modern Take on UVM/SV TB Architectures // DVCON. 2023. № 2023. pp. 1–10.
 14. Minhas M. K., Waris H., Farooq Y., Mohyuddin N., Baloch S. Coverage-Driven and Constrained-Randomized Sub-System Level Verification Methodology for RISC-V Based SoCs // Applied Sciences and Technology. 2023. № 20. pp. 80–85.
 15. Prathik R., Ramesh M., Girish K., Tony G. A UVM Multi-Agent Verification IP Architecture to Enable Next-Gen Protocols with Enhanced Reusability, Controllability and Observability // DVCON. 2024. № 2024. pp. 1–8.
 16. Cummings C. E., D’Onofrio S., Wilcox J., Chambers H. Advanced UVM, Multi-Interface, Reactive Stimulus Techniques // DVCON. 2021. № 2021. pp. 1–8.

17. Edelman R. Register Testing – Exploring Tests, Register Model Libraries, Sequences and Backdoor Access // DVCON. 2022. № 2022. pp. 1–17.
 18. Edelman R. Register Modeling – Exploring Fields, Registers and Address Maps // DVCON. 2022. № 2022. pp. 1–8.
 19. Sinari S., McLean T., Applequist B., Rousseau V., Lallathin G. Automated Generation of RAL-based UVM Sequences // DVCON. 2020. № 2020. pp. 1–6.
 20. Shariff M. U., Reddy R. Functional-Coverage Sampling in UVM RAL – Use of 2 Obscure Methods // DVCON. 2023. № 2023. pp. 1–7.
 21. Martin R. R., Curtis A. M., Narasimhan G. L., Zhou Q. Improvement of UVM Scenario Generation, Control and Reproducibility using Portable Stimulus (PSS) for IP Validation // DVCON. 2023. № 2023. pp. 1–8.
 22. Krishnegowda D. Developing a Bus Functional Model for APB Slave Using Universal Verification Methodology // Proceedings of the 2021 Second International Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics (ICSTCEE). № 2021. pp. 1–5.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 541.128

СИНТЕЗ ФИШЕРА-ТРОПША: ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ, КАТАЛИЗАТОРОВ И РЕАКТОРОВ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Зиннурова О.В., ¹Фаттахов Д.А., Барахнина В.Б.

ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А.Н. ТУПОЛЕВА – КАИ», Казань, Россия (420111, Республика Татарстан, город Казань, ул. Карла Маркса, д. 10), e-mail: ¹9123250551@mail.ru

Процесс Фишера-Тропша (ФТ) есть химическая реакция, лежащая в основе синтеза жидких углеводородов из синтез-газа. Данный процесс, разработанный во время Второй мировой войны как стратегическое решение проблемы нехватки нефти, со временем стал краеугольным камнем современной химической промышленности. Его уникальная способность преобразовывать различные сырьевые материалы, такие как уголь, природный газ, биомасса и отходы, в широкий спектр продуктов — от парафинов и олефинов до ценных кислородсодержащих соединений — делает его незаменимым. В свете текущих глобальных вызовов, таких как обеспечение энергетической безопасности, ужесточение экологических норм и геополитическая нестабильность, ФТ играет особенно важную роль, поскольку дает возможность диверсифицировать энергоснабжение и производить углеродно-нейтральные виды топлива. На молекулярном уровне процесс ФТ представляет собой сложную многоступенчатую реакцию, в которой активация СО и Н₂ на поверхности металлического катализатора и последующее образование нескольких промежуточных продуктов определяют широкий спектр продуктов. Высокая экзотермичность реакции и сложность управления селективностью требуют глубокого понимания механизмов, а также тщательного проектирования катализаторов и реакторов. Вода как побочный продукт является не только ингибирующим, но и активирующим фактором, влияющим на кинетику и производительность катализатора. Выбор оптимального катализатора (железо или кобальт, в зависимости от желаемого продукта и свойств синтез-газа) и типа реактора (например, твердый или кажущийся жидким слой в случае бензина или пузырьковая колонна в случае дизельного топлива) имеет решающее значение для экономичности и устойчивости процесса. Дальнейшее развитие области ФТ зависит от разумной конструкции многокомпонентных катализаторных систем и оптимизации технологии реакторов.

Ключевые слова: Синтез Фишера-Тропша; катализаторы; углеводороды; реакторы; устойчивое развитие.

FISCHER-TROPSCH SYNTHESIS: OVERVIEW OF MECHANISMS, CATALYSTS AND REACTORS IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE ENERGY

Zinnurova O.V., ¹Fattakhov D.A., Barakhnina V.B.

KAZAN NATIONAL RESEARCH TECHNICAL UNIVERSITY. A.N. TUPOLEVA – KAI", Kazan, Russia (420111, Republic of Tatarstan, Kazan, Karl Marx st., 10), e-mail: ¹9123250551@mail.ru

The Fischer-Tropsch (FT) process is a chemical reaction that forms the basis for the synthesis of liquid hydrocarbons from synthesis gas. Developed during World War II as a strategic solution to the oil shortage, this process has become a cornerstone of the modern chemical industry. Its unique ability to convert various raw materials, such as coal, natural gas, biomass and waste, into a wide range of products — from paraffins and olefins to valuable oxygen-containing compounds — makes it indispensable. In light of current global challenges such as energy security, stricter environmental regulations and geopolitical instability, FT plays a particularly important role as it enables the diversification of energy supplies and the production of carbon-neutral fuels. At the molecular level, the FT process is a complex multi-step reaction in which the activation of CO and H₂ on the surface of a metal catalyst and the subsequent formation of several intermediate products determine a wide range of products.

The high exothermicity of the reaction and the complexity of controlling selectivity require a deep understanding of the mechanisms involved, as well as careful design of catalysts and reactors. Water as a by-product is not only an inhibiting factor but also an activating factor that affects the kinetics and performance of the catalyst. The choice of the optimal catalyst (iron or cobalt, depending on the desired product and synthesis gas properties) and reactor type (e.g., solid or fluidised bed in the case of petrol or bubble column in the case of diesel fuel) is crucial for the economic viability and sustainability of the process. Further development of the FT field depends on the intelligent design of multicomponent catalyst systems and the optimisation of reactor technology.

Keywords: Fischer-Tropsch synthesis; catalysts; hydrocarbons; reactors; sustainable development.

Процесс Фишера-Тропша (ФТ) представляет собой ряд химических реакций, в ходе которых синтетический газ (смесь оксида углерода (CO) и водорода (H₂)) эффективно преобразуется в различные жидкие углеводороды [1-2]. Исторически коммерческое использование процесса ФТ началось в 1936 году в Германии и сыграло важную роль в производстве синтетического топлива из угля во время Второй мировой войны, когда возник дефицит нефти. Производство ФТ составляло 9 % от общего объема производства военного топлива в Германии и 25 % от производства топлива для автомобилей [3].

Значение процесса ФТ выходит далеко за рамки его исторического использования в качестве источника топлива. В научной литературе процесс ФТ часто называют «важным промежуточным этапом, на котором теоретически может основываться вся химическая промышленность». Это связано с тем, что процесс ФТ может производить не только парафины и олефины, но и кислородсодержащие углеводороды, такие как спирты. Разнообразие ассортимента продукции делает процесс ФТ незаменимым для синтеза химических продуктов и подчеркивает его глубокое влияние на развитие химической промышленности.

Текущие глобальные вызовы, такие как рост потребления энергии, ужесточение экологических норм и геополитическая нестабильность, вновь выдвигают процесс ФТ на первый план. Его способность производить синтетические углеводороды из широкого спектра сырья (природный газ (GTL), уголь (CTL), биомасса (BTL) и даже отходы) является центральным элементом стратегии диверсификации энергетического баланса [3-4].

Кроме того, ФТ является важным инструментом для сокращения выбросов CO₂ и достижения целей в области устойчивого развития. Этот процесс считается особенно перспективным средством производства углеродно-нейтральных топлив при использовании возобновляемых сырьевых материалов (биомассы и отходов) или повторного использования углекислого газа (CO₂). Это выходит за рамки чисто технических или экономических аспектов и подчеркивает политическую и стратегическую значимость этой технологии. Причина заключается в том, что ФТ во многих случаях производит высококачественные, «drop-in»-совместимые топлива из возобновляемых сырьевых материалов, тем самым непосредственно способствуя снижению геополитических рисков и достижению климатических целей. Это означает, что инвестиции в ФТ основаны не только на чисто рыночных целях, но и на долгосрочных стратегических потребностях по созданию более устойчивой и независимой энергетической системы [3].

Преобразование синтез-газа в алкилуглеводороды в процессе ФТ представляет собой многоступенчатую реакцию, которая включает в себя образование нескольких промежуточных продуктов. Рост углеводородной цепи можно визуализировать как серию повторяющихся процессов, в которых атомы водорода связываются с углеродом и кислородом, разрываются связи C–O и образуются новые связи C–C.

Начальная фаза реакции включает активацию и расщепление СО и Н₂ на поверхности металлического катализатора. Лиганд СО диссоциирует и, по-видимому, распадается на оксидный лиганд и карбальный лиганд. Молекула метил-динтрикобальтокарбонола является примером восстановленной частицы, которая, по-видимому, образуется в процессе ФТ. К потенциальным фрагментам С1, образующимся на поверхности катализатора, относятся формил, гидроксикарбен, гидроксиметил, метил, метилен, метилидинил и гидроксиметилидинил.

Многоступенчатость реакции, большое количество промежуточных продуктов и разнообразные механизмы роста цепи объясняют, почему синтез ФТ приводит к широкому распределению продуктов и почему точный контроль селективности по-прежнему остается сложной задачей. Это означает, что для достижения высокой селективности в отношении определенных продуктов, таких как дизельное топливо, необходимо глубокое понимание этих механизмов и разработка высокоспециализированных катализаторов и условий реакции.

Вода является важнейшим побочным продуктом реакции ФТ. Однако ее роль в процессе не ограничивается лишь удалением. Вода является важнейшим побочным продуктом ФТ, поскольку она является сложным веществом и не только действует как ингибитор, но и может влиять на кинетику и даже повышать активность катализатора при определенных условиях. Ее присутствие может влиять на скорость реакции, распределение продуктов и скорость деактивации катализатора. Например, в случае кобальтовых катализаторов добавление воды при определенных парциальных давлениях может привести к значительному увеличению конверсии СО, что указывает на сложный кинетический эффект воды, а не только на ингибирующий эффект. Молекулы воды могут адсорбироваться на поверхности катализатора и распадаться на активные частицы (ОН⁻, Н⁺), которые могут способствовать активации СО. Это означает, что регулирование содержания воды в реакторе — это не только способ удаления воды, но и возможность оптимизировать производительность катализатора.

В процессе Фишера-Тропша в качестве катализаторов действуют четыре переходных металла: железо (Fe), кобальт (Co), никель (Ni) и рутений (Ru). Каждый металл имеет свои уникальные свойства, которые определяют его промышленное применение.

Несмотря на свою активность, никель не используется в промышленных масштабах, поскольку он производит слишком много метана, который является нежелательным продуктом. Рутений, напротив, очень активен и селективен по отношению к длинноцепочечным углеводородам, что делает его привлекательным для производства высококачественных жидких топлив. Однако из-за его чрезвычайно высокой стоимости его коммерческое использование очень ограничено. Поэтому промышленные ФТ-катализаторы в основном основаны на железе и кобальте, которые значительно дешевле и легче в приобретении.

Различные типы катализаторов, особенно на основе железа и кобальта, не являются взаимозаменяемыми, а их выбор зависит от стратегических целей в отношении состава продуктов и свойств исходного синтез-газа, что означает фундаментальный компромисс при проектировании катализаторов.

Катализаторы на основе железа могут быть стабильными при высоких температурах и низком парциальном давлении СО в отношении чрезмерного образования метана и сохраняют свою активность даже тогда, когда металлическое железо превращается в карбид железа. Они

склонны к образованию короткоцепочечных углеводородов и производят больше изомеризованных продуктов. Железо также активно в реакции водорода ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$), что делает его пригодным для газификации угля с целью производства синтез-газа с типично низким соотношением H_2/CO . Помимо спиртов, катализаторы на основе железа могут также производить значительные количества других кислородсодержащих соединений, таких как кислоты, альдегиды и кетоны. Внутренняя активность железа ниже, чем у кобальта. Активная фаза образуется в катализаторах, содержащих железо, в условиях реакции, часто в результате образования карбида железа (Fe_3C). Катализаторы, содержащие железо, могут иметь высокую скорость деактивации в традиционном ФТ. Проблемы износа, возникающие в реакторах, также типичны для Fe-катализаторов. Эти катализаторы могут работать как при высоких температурах (300–350 °C), так и при низких температурах (220–270 °C), что подходит для синтез-газов с низким соотношением H_2/CO [5].

Кобальтовые катализаторы преимущественно производят прямоцепочечные парафины и благоприятны для синтеза длинноцепочечных углеводородов. Их селективность чувствительна к изменениям парциальных давлений и температуры. Вероятность удлинения цепи увеличивается с ростом парциального давления CO для кобальта, но не для железа. Кобальт обладает более высокой скоростью гидрирования, что приводит к большему количеству парафинов. Его активность в реакции значительно ниже по сравнению с железом. Однако активность кобальтовых катализаторов может быть улучшена промоторами, такими как ZrO_2 и Ru. Используются преимущественно в низкотемпературном диапазоне (150–300°C, чаще 200–240°C) для предотвращения чрезмерного образования метана [5].

Также важна роль носителей и промоторов. Высокопористые материалы, такие как оксид алюминия (Al_2O_3) или диоксид кремния (SiO_2), используются в качестве носителей для диспергирования наноразмерных кристаллитов кобальта. Это позволяет минимизировать их контакт и значительно снижает вероятность спекания (коалесценции), тем самым повышая термическую стабильность катализатора [5].

Более того, наноразмерные островки носителя, например, оксида алюминия, на поверхности каталитически активного материала могут имитировать границу раздела металл-носитель. Эти взаимодействия активно влияют на активность и селективность катализатора, например, способствуя диссоциации CO в присутствии кислотных центров Льюиса, связанных с островками оксида алюминия. Промоторы и носители не являются пассивными компонентами, а активно участвуют в формировании каталитических свойств, позволяя тонко настраивать селективность, активность и стабильность катализатора. Например, добавление калия и меди к железосодержащим катализаторам или циркония и рутения к кобальтовым катализаторам может значительно улучшить их характеристики. Это указывает на то, что каталитический дизайн — это не просто выбор активного металла, а сложная задача мультикомпонентной оптимизации, где промоторы и носители изменяют электронные и структурные свойства активного металла, создавая новые активные центры или модифицируя существующие, а также влияя на дисперсию и термическую стабильность. Таким образом, дальнейший прогресс в ФТ будет тесно связан с рациональным дизайном многокомпонентных каталитических систем.

Высокая экзотермичность реакции Фишера-Тропша является определяющим фактором в проектировании промышленных реакторов, поскольку эффективный теплоотвод критически

важен для поддержания стабильности процесса и предотвращения деградации катализатора. Неэффективный теплоотвод может привести к локальным перегревам, что ускоряет спекание катализатора, отложение углерода и смещение селективности в сторону нежелательных легких углеводородов, таких как метан. Способность эффективно управлять выделяющимся теплом является определяющим фактором для долгосрочной стабильности и экономической эффективности установки ФТ. Выбор конкретного типа реактора является не просто инженерным решением, а стратегическим выбором, который напрямую определяет спектр и качество конечных продуктов синтеза Фишера-Тропша, влияя на экономическую ценность процесса. Различные типы реакторов обеспечивают различные режимы тепло- и массообмена, что, в свою очередь, влияет на температуру, давление и концентрации реагентов внутри реактора, а эти параметры критически важны для селективности катализатора и распределения продуктов [6].

Например, для максимизации фракции бензина оптимальным считается использование железосодержащего катализатора при высокой температуре в реакторе с неподвижным или псевдоожиженным слоем. Напротив, для максимизации фракции дизельного топлива предпочтительным является использование кобальтового катализатора в барботажной колонне. Это демонстрирует, что конструкция реактора не является универсальной, а должна быть адаптирована к конкретным целям производства [5-6].

Помимо продуктовой селективности, тип реактора также влияет на общую производительность и стабильность процесса. Реакторы с псевдоожиженным слоем и барботажные колонны, благодаря своей способности к эффективному теплоотводу и интенсивному массообмену, позволяют достигать более высоких конверсий и предотвращать локальные перегревы по сравнению с некоторыми конструкциями с неподвижным слоем. Таким образом, проектирование установки ФТ представляет собой комплексную задачу, где химические, каталитические и инженерные аспекты тесно взаимосвязаны, и их гармонизация определяет успех всего процесса [6].

Процесс Фишера-Тропша, который из военной необходимости превратился в ключевую технологию для устойчивой химии и энергетики, является хорошим примером того, как фундаментальные научные открытия в ответ на меняющиеся глобальные вызовы могут приобрести беспрецедентную актуальность. Универсальная применимость ФТ к широкому спектру сырья и продуктов, а также его потенциал для производства топлива с нулевым выбросом CO₂ делают его стратегическим инструментом для достижения энергетической независимости и климатических целей. Дальнейшие исследования, направленные на разработку более селективных и стабильных катализаторов, оптимизацию реакторных систем и углубление понимания сложных механизмов реакций, создают основу для реализации всего потенциала этой технологии и ее интеграции в циркулярную экономику будущего. Таким образом, инвестиции в процесс ФТ — это не просто экономический расчет, а вклад в более устойчивую и безопасную глобальную энергетическую и химическую промышленность.

Список литературы

1. Vonneau R. «Совершенствование производства синтез-газа» // «Нефтегазовые технологии». — 2010. — №9. — С. 88–96.

2. Хасин А. А., Кириллов В. А. «Каталитические реакторы для процесса Фишера-Тропша» // «Катализ в промышленности». — 2002. — №2. — С. 26–38.
3. Шелдон Р. А. «Химические продукты на основе синтез-газа» // М.: Химия. — 1987. — 248 с..
4. Лыков О. П. «Производство моторных топлив из природного газа» // «Химия и технология топлив и масел». — 1996. — №3. — С. 15–24.
5. Крылова А. Ю., Куликова М. В., Лapidus А. Л. «Катализаторы синтеза Фишера-Тропша для процессов получения жидких топлив из различного сырья» // «Химия твёрдого топлива». — 2014. — №4. — С. 18–21.
6. Мордкович В. З., Синева Л. В., Кульчаковская Е. В., Асалиева Е. Ю. «Четыре поколения технологии получения синтетического жидкого топлива на основе синтеза Фишера-Тропша» // «Катализ в промышленности». — 2015. — №5. — С. 23–45.

References

1. Bonneau R. 'Improving synthesis gas production' // 'Oil and Gas Technologies'. — 2010. — No. 9. — pp. 88–96.
 2. Khasin A. A., Kirillov V. A. 'Catalytic reactors for the Fischer-Tropsch process' // Catalysis in Industry. — 2002. — No. 2. — pp. 26–38.
 3. Sheldon R. A. Chemical Products Based on Synthesis Gas // Moscow: Chemistry. — 1987. — p.248
 4. Lykov O. P. 'Production of motor fuels from natural gas' // 'Chemistry and technology of fuels and oils'. — 1996. — No. 3. — pp. 15–24.
 5. Krylova A. Yu., Kulikova M. V., Lapidus A. L. 'Fischer-Tropsch synthesis catalysts for processes of obtaining liquid fuels from various raw materials' // 'Chemistry of Solid Fuels'. — 2014. — No. 4. — pp.18–21.
 6. Mordkovich V. Z., Sineva L. V., Kulchakovskaya E. V., Asalieva E. Yu. 'Four generations of technology for producing synthetic liquid fuel based on Fischer-Tropsch synthesis' // 'Catalysis in Industry'. — 2015. — No. 5. — pp. 23–45.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 621.039.8.003

ПРИНЦИПЫ И СЦЕНАРИИ БОР-НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЙТРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ

Павлюченко Н.С.

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
"МИФИ", Москва, Россия (115409, город Москва, Каширское ш., д.31), e-mail:
nikpavl18@mail.ru

Бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) относится к числу наиболее эффективных методов лечения ряда онкологических заболеваний. Изотоп бора ^{10}B вводится в злокачественные опухоли и затем облучается тепловыми нейтронами. Продукты распада бора (ядра лития и гелия) имеют малый пробег в ткани организма и разрушают клетки опухоли. В качестве источников нейтронов все большее внимание привлекают компактные нейтронные генераторы на основе ускорителей протонов или дейтронов, взаимодействие которых с охлаждаемой мишенью из специальных материалов порождает нейтроны. В мире существует более шестнадцати центров БНЗТ, основанных на компактных ускорителях, находящихся на различных стадиях разработки. В России накоплен большой опыт производства компактных нейтронных генераторов для различных отраслей промышленности, однако их использование в целях ядерной медицины только начинается. Поэтому представляет большой научный и практический интерес экономический анализ создания БНЗТ-центров. В настоящей работе предпринята попытка оценить на основе разработанной в НИЯУ МИФИ методики эффективность инвестиций в БНЗТ-центры и себестоимость медицинских услуг с использованием нейтронных генераторов. В качестве исходных данных для инвестиционного анализа БНЗТ-центров использованы опубликованные сведения о капитальных и эксплуатационных затратах ряда зарубежных медицинских центров. В результате расчетов показано, что в зависимости от величины финансовых затрат на сооружение и эксплуатацию БНЗТ-центров и от количества обслуживаемых пациентов себестоимость медицинских услуг может превышать 10–20 тыс. долл. на каждого больного.

Ключевые слова: Ядерная медицина, бор-нейтронозахватная терапия, БНЗТ, генератор нейтронов, капитальные и эксплуатационные затраты, эффективность инвестиций, себестоимость медицинских услуг, период окупаемости.

PRINCIPLES AND SCENARIOS OF BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY USING NEUTRON GENERATORS FOR NUCLEAR MEDICINE

Pavlyuchenko N.S.

"NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY "MEPHI", Moscow, Russia (115409, Moscow,
Kashirskoye sh., 31 e-mail: nikpavl18@mail.ru

Boron neutron capture therapy (BNRT) is one of the most effective methods of treating a number of oncological diseases. The boron isotope is injected into malignant tumors and then irradiated with thermal neutrons. The decay products of boron (lithium and helium nuclei) have a low pathway into body tissues and destroy tumor cells. Compact neutron generators based on proton or deuteron accelerators, whose interaction with a cooled target made of special materials generates neutrons, are attracting increasing attention as neutron sources. There are more than sixteen BNRT centers in the world based on compact accelerators at various stages of development. Russia has accumulated extensive experience in the production of compact neutron generators for various industries, but their use in nuclear medicine is just beginning. Therefore, the economic analysis of the creation of BNRT centers is of great scientific and practical interest. In this paper, an attempt is made to evaluate, based on the methodology developed at the National Research Nuclear University MPhI, the effectiveness of investments

in BNRT centers and the cost of medical services using neutron generators. Published information on the capital and operating costs of a number of foreign medical centers was used as the initial data for the investment analysis of BNRT centers. As a result of calculations, it is shown that, depending on the amount of financial costs for the construction and operation of BNRT centers and the number of patients served, the cost of medical services can exceed 10-20 thousand dollars per patient.

Keywords: Nuclear medicine, boron-neutron capture therapy, BNRT, neutron generator, capital and operational costs, investment efficiency, cost of medical services, payback period.

Введение

Одной из главных стратегических задач ГК «Росатом» является создание новых продуктов для российского и международных рынков. К таковым продуктам относятся компактные нейтронные генераторы для ядерной медицины и, в частности, для Бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ, за рубежом BNCT - Boron Neutron Capture Therapy). Лечение рецидивирующих и трудно излечимых видов рака методом БЗНТ основано на том факте, что ядро бора $^{10}_5B$ имеет очень высокое сечение захвата тепловых нейтронов ($\sigma = 3835$ барн, что почти в 4 раза выше сечения поглощения ураном-235) и распадается при поглощении нейтрона с образованием ядер лития и гелия, имеющими малую длину пробега в тканях человека (5–7 мкм) и выделяющими при торможении 2,79 МэВ энергии, распределенной, как правило, обратно пропорционально массе продуктов [2–5]:



Около 84 % энергии распада бора выделяется в одной клетке опухоли с относительно малыми повреждениями окружающих здоровых клеток. Бор предварительно вводится в злокачественные опухоли и затем облучается нейтронами [2–5]. Уровень концентрации бора в опухолевой ткани должен быть не менее 10-30 мкг/г и более чем втрое превышать концентрацию бора в окружающих тканях, а плотность потока нейтронов должна быть не менее $(2-3) \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$, чтобы длительность облучения пациента не превышала 0,5 часа.

Использование компактных нейтронных генераторов позволит создавать центры Бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ) непосредственно в медицинских центрах крупных городов, что положительно скажется на развитии, распространении и повышении эффективности БНЗТ злокачественных опухолей. Необходимость в БНЗТ обусловлена высокой долей онкологических заболеваний в России: на официальном учёте состоит около 3,3 млн. больных, а в медицинской услуге БНЗТ нуждаются ежегодно около 50 тыс. пациентов.

На пути широкого внедрения БНЗТ стоят четыре принципиальные задачи: 1) создание компактных и дешевых источников нейтронов, 2) доставка бора в раковые клетки (обычно используют боркапнат = борный сульфгидрил и борфенилаланин), 3) разработка средств диагностики и контроля результатов облучения, 4) экономическая эффективность БНЗТ.

Принципы и сценарии Бор-нейтронозахватной терапии при использовании нейтронных генераторов для ядерной медицины.

Как уже было сказано в введении, в мире существует более шестнадцати центров БНЗТ, основанных на компактных ускорителях, находящихся на различных стадиях разработки. В России накоплен большой опыт производства компактных нейтронных генераторов для различных отраслей промышленности, однако их использование в целях ядерной медицины только начинается.

На сегодняшний день в мире реализуются 24 проекта бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ) с использованием ускорителей. Основные характеристики этих установок

представлены в таблице 2. В десяти проектах нейтроны генерируются в результате ядерной реакции ${}^9\text{Be}(p, n){}^{10}\text{B}$. В Буэнос-Айресе (Аргентина) используется реакция ${}^{13}\text{C}(d, n){}^{14}\text{N}$, а в Университете Турина (Италия) — фотоядерная реакция $\text{Pb}(\gamma, n)\text{Pb}$.

Однако использование лития сопряжено с рядом технологических сложностей: низкая температура плавления ($180,54^\circ\text{C}$), относительно низкая теплопроводность (при комнатной температуре — $85\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, в жидком состоянии — $42,8\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$), высокая химическая активность, а также образование радиоактивного изотопа бериллий-7.

Однако, вопросам экономической эффективности БНЗТ уделяется мало внимания в научной литературе [10–13]. Поэтому **цель настоящей работы** – сформулировать критерии экономической эффективности БНЗТ и оценить себестоимость лечения методом БНЗТ на основе разработанной в НИЯУ МИФИ методики расчета эффективности инвестиционных проектов [14].

Критерии для оценки экономической эффективности БНЗТ.

При обосновании инвестиций в БНЗТ, как и в любой инвестиционный проект, необходимо учитывать несколько уровней (иерархию) критериев эффективности: микро-, мезо-, макро- и мега-уровень [14]. Первичным «**ядром**» системы (иерархии) критериев инвестиционных проектов является **комплекс микроэкономических критериев**, отражающий гарантированную окупаемость или прибыльность проекта. Мезо-уровень отражает интересы отрасли или региона и т.д. К рассмотрению на уровнях выше «микро-» допускаются только те проекты, прибыльность которых гарантирована на микроэкономическом уровне, поскольку убыточные проекты не позволяют достичь целей вышестоящих уровней. А из двух эффективных на микроуровне проектов предпочтение на мезо-уровне могут отдать проекту, который требует либо меньше инвестиций и быстрее окупается, или обеспечивает наибольший социально-экономический эффект и т.п.

В экономике здравоохранения к мезо-уровню можно отнести распространенный в зарубежной литературе критерий QALY (Quality-Adjusted Life Years), оценивающий «предстоящие годы жизни с поправкой на качество» или «скорректированные по качеству предстоящие годы жизни» [12, 13]. Этот критерий (показатель) используется для определения ценности медицинских вмешательств и определяется произведением продолжительности продленной жизни пациента T (лет) на коэффициент качества жизни k в течение этого времени: $\text{QALY} = kT$. Коэффициент качества жизни k колеблется от 0 (смерть) до 1 (идеальное здоровье). Промежуточным состояниям здоровья присваивается значение k от 0 до 1, основанное на оценках медицинских работников и пациента. Например, если медицинская процедура (или лекарство) продлевает жизнь пациента на $T=5$ лет с показателем качества жизни $k=0,8$, полученный эффект будет $5 \times 0,8 = 4\text{ QALY}$. Если другое медицинское вмешательство продлевает жизнь на 3 года с показателем качества жизни 0,6, то эффект будет меньше: $3 \times 0,6 = 1,8\text{ QALY}$. Затем себестоимость медицинского вмешательства C делится на полученную величину QALY. Чем меньше отношение C/QALY , характеризующее соотношение цены и качества, тем предпочтительнее может оказаться данное медицинское вмешательство.

Таким образом, для принятия решения на мезо-уровне важно знать себестоимость медицинской процедуры. Для определения себестоимости БНЗТ воспользуемся

усовершенствованной методикой расчета микроэкономических критериев эффективности инвестиций, предложенной в [14] на основе методологии UNIDO [15].

Микроэкономические критерии эффективности инвестиций в БЗНТ.

Инвестиционный анализ проекта начинается с самой важной и трудной финансово-экономической задачи – с прогнозирования денежных потоков, схематично показанных на рис. 1, на примере медицинского центра с длительностью жизненного цикла $T = T_C + T_Э + T_D$ (лет), состоящего из трех основных периодов: сооружения (включая проектирование) (T_C), эксплуатации ($T_Э$) и вывода из эксплуатации (де-комиссии, T_D). В момент времени $t=0$ начинается проектирование (привязка к площадке) и сооружение мед-центра (включая закупки оборудования), в момент времени $t=T_C$ завершается его сооружение и ввод в эксплуатацию и начинается его эксплуатация в течение $T_Э$ лет, после чего блок выводится из эксплуатации в течение T_D лет. По данным [10, 11] для ряда современных мед-центров $T_C=3-4$ года, $T_Э=20$ лет, $T_D>3$ лет. Первый год обычно посвящается планированию, а следующие 1,5–2,0 года — строительству или адаптации участка. На установку оборудования требуется около двух лет. Наконец, ввод центра в эксплуатацию может занять от шести до восемнадцати месяцев, в зависимости от местных правил и других юридических соображений [10, 11].

Положительный ежегодный денежный **приток** R_t (руб./год) возникает только на стадии эксплуатации ($t \geq T_C$) благодаря выручке от продажи услуг на лечение (Revenue или cash inflow). На всех стадиях жизненного цикла возникает ежегодный отрицательный денежный **отток** C_t (затраты, Costs или cash outflow, руб/год), который для вышеуказанных периодов жизненного цикла обозначен как капитальные затраты K_t , эксплуатационные затраты Y_t и затраты на вывод радиационного оборудования из эксплуатации D_t (де-комиссию).

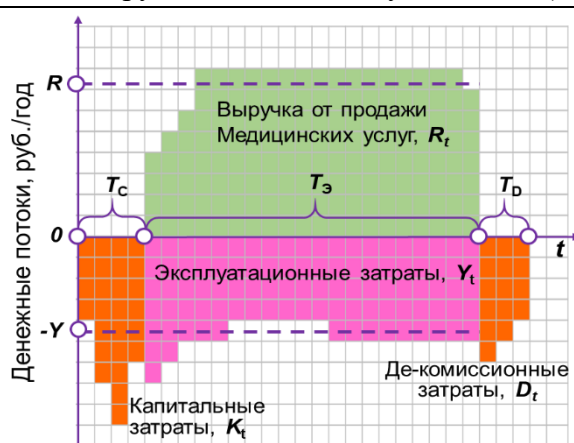


Рисунок 1 - Схема (условная) денежных потоков на разных стадиях жизненного цикла мед-центра БЗНТ

После построения графика денежных потоков легко определяются суммарные капитальные затраты K (руб) и затраты на де-комиссию D (руб) в виде сумм или интегралов (по ценам, например, на конец сооружения мед-центра), а также среднегодовые выручка R (руб/год) и эксплуатационные затраты Y (руб/год) (Рисунок 1) [14]. На следующем шаге инвестиционного анализа важно определить: при каких соотношениях между вышеперечисленными параметрами денежных потоков и стадиями жизненного цикла проект будет гарантированно прибыльным. Согласно рекомендациям экспертов организации по

промышленному развитию ООН (UNIDO) [15] главным микроэкономическим критерием эффективности (прибыльности) инвестиционного проекта служит чистый дисконтированный доход NPV (Net Present Value). Иначе говоря, NPV – это приведенная (дисконтированная) к некоторому моменту времени T_0 чистая прибыль, накопленная (суммированная) за весь период жизненного цикла проекта. Прибыль – это финансовая база развития. Нет прибыли – нет развития, нет возможности реализовать цели на мезо-, макро- и мега-уровнях. Задачей инвестиционного анализа является нахождение таких параметров проекта, при которых чистый дисконтированный доход имеет максимальное положительное значение $NPV > 0$, что означает гарантированную прибыльность проекта. При $NPV < 0$ – проект убыточен. Выражение для NPV принимает следующий вид [14]:

$$NPV = \int_{t=0}^T (R_t - C_t) e^{-r(t-T_C)} dt = -I_K + (R - Y)T_R -$$

$Dec.$ (1)

Здесь r – ставка дисконтирования для непрерывных денежных потоков, момент приведения соответствует началу эксплуатации мед-центра $T_0 = T_C$. Три слагаемых в правой части (1) получены при разбиении пределов интегрирования (от 0 до $T = T_C + T_{\Sigma} + T_D$) на три части в соответствие с тремя указанными на Рисунке 1 периодами жизненного цикла проекта. Здесь I_K – приведенные инвестиции (руб.) в проектирование, лицензирование и сооружение мед-центра, определяемые выражением

$$I_K = K\varphi_K; \quad \varphi_K = \frac{1}{K} \int_{t=0}^{T_C} K_t e^{-r(t-T_C)} dt \approx \frac{e^{rT_C} - 1}{rT_C}. \quad (2)$$

Во втором слагаемом в (1) разность $(R - Y)$ представляет собой среднегодовую прибыль (руб/год), а период времени T_R – дисконтированный период накопления положительной прибыли (лет), определяемый выражением

$$T_R = \frac{\varphi_{\Sigma}}{r}; \quad \varphi_{\Sigma} = \int_{T_C}^{T_C+T_{\Sigma}} \frac{R_t - Y_t}{R - Y} e^{-r(t-T_C)} r dt \approx 1 - e^{-rT_{\Sigma}}. \quad (3)$$

Последнее слагаемое в (1) Dec – приведенные затраты (руб.) на вывод мед-центра из эксплуатации, определяемые выражением

$$Dec = D\varphi_D; \quad \varphi_D = \frac{1}{D} \int_{T_C+T_{\Sigma}}^T D_t e^{-r(t-T_C)} dt \approx e^{-rT_{\Sigma}} \frac{1 - e^{-rT_D}}{rT_D}. \quad (4)$$

Безразмерные коэффициенты φ_K , φ_{Σ} и φ_D именуется **коэффициентами приведения**, поскольку они учитывают эффект дисконтирования денежных потоков на каждом периоде жизненного цикла БЗНТ-центра, причем, согласно положениям инвестиционного анализа, коэффициенты приведения показывают, что **ценность** прошлых денежных потоков выше ценности будущих. То есть коэффициент $\varphi_K > 1$, а коэффициенты $\varphi_{\Sigma} < 1$ и $\varphi_D < 1$. Правые части выражений (2—4) получены в предположении, что денежные потоки в каждом периоде жизненного цикла постоянны (аннуитетны), то есть $K_t = K/T_C$, $R_t - Y_t = R - Y$, $D_t = D/T_D$. Например, при $T_C = 4$ года, $T_{\Sigma} = 20$ лет, $T_D = 4$ года и $r = 7$ %/год получаем $\varphi_K = 1,15$, $\varphi_{\Sigma} = 0,753$, $\varphi_D = 0,0665$ и $T_R = 10,8$ лет. Как видно, коэффициенты φ_K и φ_{Σ} близки к 1, а коэффициент φ_D существенно меньше 1, то есть, даже при высоких суммарных затратах D на де-комиссию ее вклад в NPV может быть мал в связи с сильным дисконтированием отдаленных денежных потоков. При отсутствии дисконтирования ($r = 0$) выражение (1) представляет собой алгебраическую сумму денежных потоков на всем жизненном цикле БЗНТ-центра: $NPV = -K + (R - Y)T_{\Sigma} - D$. Отметим также, что дисконтированный период накопления положительной прибыли (3) всегда меньше периода эксплуатации ($T_R < T_{\Sigma}$), и только при очень малых ставках дисконтирования ($r \rightarrow 0$) $T_R = T_{\Sigma}$.

Из математического определения NPV (1) вытекает ряд вторичных, но важных микроэкономических критериев: внутренняя норма доходности проекта IRR, дисконтированный период окупаемости DPP, минимальная (приведенная) стоимость единицы продукции (в нашем случае – стоимость медицинской услуги) [14]. Здесь для краткости ограничимся оценкой минимальной цены процедуры БНЗТ для одного пациента. Полагая для простоты, что годовая выручка мед-центра есть произведение среднегодового количества пациентов N (чел/год), подверженных БНЗТ-терапии, на стоимость процедуры C (руб/чел), то есть $R=NC$, то, приравнявая $NPV=0$, получим из (1) искомую минимальную величину C , именуемую приведенной стоимостью БНЗТ-терапии (LCOT – Levelized Costs of Therapy по аналогии с LCOE – Levelized Costs of Electricity), в виде:

$$LCOT = \frac{AK+Y+\delta D}{N} > \frac{rK+Y}{N}. ; \quad (5)$$

$$A = r \frac{\varphi_K}{\varphi_3}; \quad \delta = r \frac{\varphi_D}{\varphi_3}. \quad (6)$$

Здесь A (1/год) и δ (1/год) – нормы амортизации капитальных затрат K (руб.) на сооружение медицинского центра БНЗТ и затрат D (руб.) на вывод центра из эксплуатации после выработки ресурса нейтронного генератора. Иначе говоря, величины AK/N и $\delta D/N$ представляют перенос стоимости основных фондов и стоимости де-комиссии, соответственно, на стоимость БНЗТ-терапии. Величины A и δ являются функциями ставки дисконтирования и длительности сооружения, эксплуатации и вывода из эксплуатации. Так для вышеприведенного примера имеем $A=10,7$ %/год и $\delta=0,62$ %/год. Малый вклад де-комиссии в приведенную стоимость БНЗТ-терапии означает, что можно накопить за период эксплуатации мед-центра необходимую сумму для вывода его из эксплуатации, если ежегодно сумму δD инвестировать с доходностью не ниже ставки дисконтирования проекта.

Оценки приведенной стоимости БНЗТ-терапии.

Капитальные затраты включают закупку и ввод в эксплуатацию устройства БНЗТ на основе ускорителя и другого оборудования, строительство объекта и оснащение центра, и оцениваются в 40–50 Мдолл. (млн долл.) [10, 11]. Ориентировочная стоимость установки БНЗТ составляет до 25 Мдолл., включая протонный ускоритель с литиевой мишенью, программное обеспечение, роботизированную кровать для пациента, оборудование для визуализации и сам процедурный кабинет. Компьютерный томограф (КТ-сканер) установлен на рельсах и во время нейтронного облучения находится за защитной дверью. Стоимость строительства зависит от того, строится ли новое здание или переоборудуется существующее, и составляет 15–25 Мдолл [10, 11]. Бункер из тяжелого бетона с радиационной защитой расположен внутри клинического здания, где около 230 м² выделено для оборудования и около 110 м² — для вспомогательных помещений (рис. 2). Компактный и хорошо оборудованный центр в китайском Сямыне занимает площадь около 1300 м² и состоит из двух подземных и двух наземных этажей с перспективой лечения до 4000 пациентов в год.

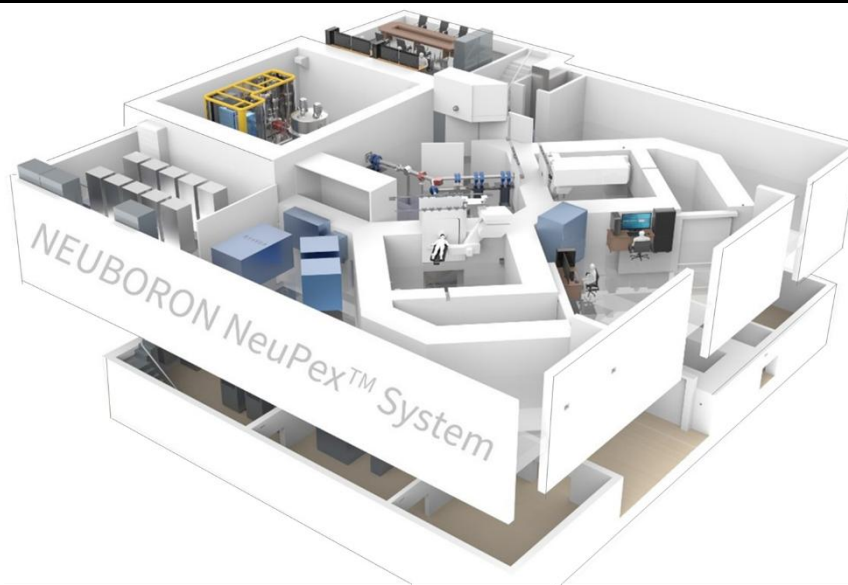


Рисунок 2 - Планировка основных помещений БНЗТ-центра в Сямыне (Китай).

Источник: [11]

Отечественные компактные нейтронные генераторы типа НГ-24, использующие пучки ускоренных дейтронов для облучения насыщенных тритием мишеней, могут быть дешевле [5–8], однако конкретных данных об этом не приводится.

Эксплуатационные затраты. Ежегодные эксплуатационные расходы включают в себя обслуживание генератора нейтронов и другой сложной техники, расходные материалы, энергию и коммунальные услуги, фонд оплаты труда, налоги, страхование, услуги поставщика нейтронного генератора и др., и могут составлять 9–12 Мдолл./год [10, 11]. Из них 2–3 Мдолл./год уходят на услуги поставщика ускорителя, около 1 Мдолл./год — затраты на повседневные операции и коммунальные услуги, а также маркетинг. Расходы на персонал медицинского центра составят 6–8 Мдолл./год. То есть фонд оплаты труда может составлять до 66% эксплуатационных затрат [10]. В клинике БНЗТ работают высококвалифицированные специалисты разных профессий. В состав врачебного персонала входят онкологи-радиологи, специалисты по ядерной медицине и рентгенологи, фармацевты (выполняющие подготовку пациента с использованием фиксирующих и иммобилизирующих устройств, измерение концентрации носителя бора-10 в крови пациента, визуализацию поглощения бора, дозировку облучения и др.). Клинике также требуются медицинские физики и дозиметристы для планирования лечения и поддержки текущего контроля качества облучения, медсестры, оператор нейтронного генератора, администраторы. В течение восьмичасового рабочего дня БНЗТ-центра будет присутствовать весь необходимый многопрофильный персонал, чтобы обслуживать до четырёх пациентов в день.

Весь процесс обслуживания направленного в БНЗТ-центр пациента занимает около двух недель. За одну-две недели до лечения команда специалистов проводит позитронно-эмиссионную томографию пациента для проверки поглощения бора опухолью пациента до начала лечения. Если поглощение достаточное, команда переходит к следующему этапу — пробному сеансу позиционирования пациента, который обычно проводится за неделю до самого сеанса, с использованием термопластичной маски для фиксации положения пациента. В день лечения пациенту вводят бор-10 за два часа до облучения и проводят окончательную

настройку оборудования [10, 11]. По прошествии часа бригада позиционирует пациента, а техник-радиолог проводит рентгенографию для проверки конфигурации облучаемой зоны. Непосредственно перед облучением нейтронами команда измеряет концентрацию бора в крови, которая определяет время облучения. После лечения БНЗТ пациент возвращается в больницу, как правило, через сутки-двое для обследования.

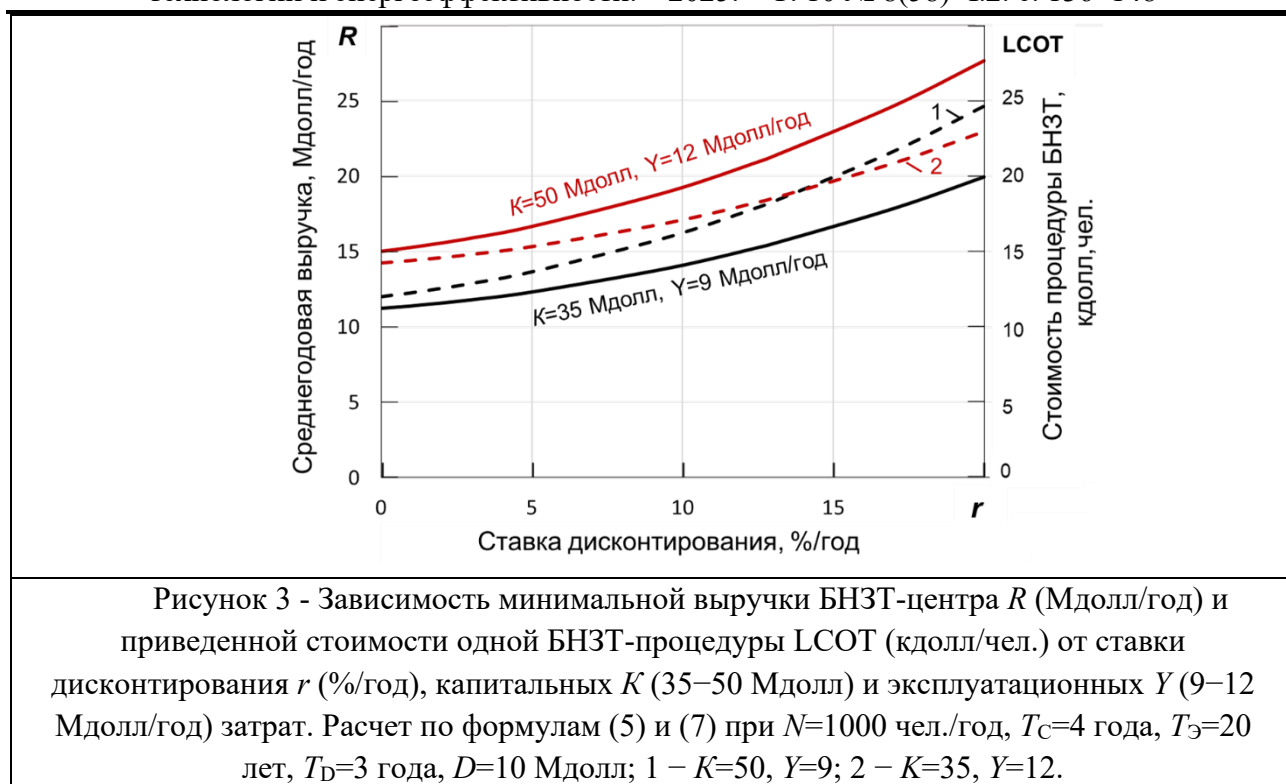
В процессе эксплуатации БНЗТ-центра среди множества расходных материалов выделяются по высокой стоимости два: носитель бора-10 (боркапнат, борфенилаланин и др.) и мишень, генерирующая нейтроны. Мишень приходится регулярно заменять (по некоторым данным ресурс работы тритиевой мишени до 500 часов). Дело в том, что в большинстве БНЗТ-центров используются протонные ускорители с энергией протонов около $E=2,5$ МэВ и током около $I=10-15$ мА, то есть мощностью $Q=IE/e=25-40$ кВт (в некоторых установках до 100 кВт), что необходимо для сокращения длительности облучения (менее 30 мин.). При таких мощностях и малых поперечных размерах пучка возникают предельно высокие плотности теплового потока на поверхности мишеней. В качестве мишени используется интенсивно охлаждаемые конструкции с нанесенным слоем лития, который участвует в реакции образования нейтронов ${}^7_3\text{Li} + p \rightarrow {}^7_4\text{Be} + n$ (или кратко ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$). В нейтронных генераторах типа НГ-24 используется ускоренный поток дейтронов (${}^2_1\text{D}$), взаимодействующий с тритием, которым насыщена мишень, по термоядерной реакции $D + T \rightarrow {}^4_2\text{He} + n$ (или кратко $D(T,n){}^4_2\text{He}$) с образованием быстрых нейтронов (14,1 МэВ). С течением времени по мере истощения ресурсов лития (или трития) мишень приходится заменять.

Оценка минимальной выручки БНЗТ-центра. Прибыльность БНЗТ-центра определяется условием $NPV > 0$. Минимальный уровень среднегодовой выручки находим из (1) при условии $NPV=0$:

$$R \geq AK + Y + \delta D. \quad (7)$$

В отсутствие дисконтирования денежных потоков ($r=0$) отсюда следует $R \geq Y + (K+D)/T_{\text{э}}$, что дает $R=15$ Мдолл/год при достаточно высоких затратах $Y=12$ Мдолл/год, $K=50$ Мдолл, $D=10$ Мдолл и $T_{\text{э}}=20$ лет. Представленные на рис. 3 (левая шкала) данные показывают, что при низких ставках дисконтирования (менее 5 %/год) минимальная выручка БНЗТ-центра находится в пределах 11-16 Мдолл/год, а при высоких ставках (15–20 %/год) — в пределах 17–27 Мдолл/год.

Оценка минимальной стоимости одной процедуры БНЗТ. Выражение (7) является числителем в определении минимальной стоимости одной процедуры БНЗТ (5). Если принять, что БНЗТ-центр обслуживает 1000 пациентов в год (4 человека за рабочий день), то приведенная стоимость БЗНТ-терапии (5) составит 11-16 тыс. долл/чел при низких ставках дисконтирования (менее 5 %/год) и 17–27 тыс. долл/чел. при высоких ставках (15–20 %/год) (рис. 3 правая шкала). Увеличение пропускной способности БНЗТ-центра до 4000 тыс. чел./год за счет разветвления пучка протонов ускорителя и оборудования дополнительного помещения для облучения позволяет снизить себестоимость медицинской процедуры до нескольких тысяч долл./чел. Как видно, стоимость лечения методом БНЗТ в любом случае довольно высока для обеспечения его окупаемости. Поэтому в ряде стран национальные системы медицинского страхования возмещают расходы на лечение.



О выборе ставки дисконтирования. Ставка дисконтирования, существенно влияющая на стоимость лечения, характеризует в инвестиционных проектах желаемую доходность проекта по аналогии с доходностью банковского депозита. Чем выше ставка дисконтирования (доходность проекта), тем выгоднее инвестировать в такой проект, как и в банковский депозит. Однако, величина накопленной чистой дисконтированной прибыли (NPV) как в случае депозита, так и в случае инвестиций в реальный сектор экономики, уменьшается с ростом ставки дисконтирования согласно (1). Кроме того, величина доходности (ставки дисконтирования) инвестиционного проекта ограничена сверху так называемой **внутренней нормой доходности** (IRR) – такой доходностью, при которой $NPV(r=IRR) = 0$. При $r > IRR$ проект убыточен. Поэтому для оценки условий прибыльности проекта удобно использовать величину так называемой **рентабельности инвестиций** NPV/I_K , равной отношению накопленной дисконтированной прибыли NPV к приведенным инвестициям $I_K = K \Phi_K$ (рис. 4). Например, выбирая $NPV/I_K=1$, получаем для кривых 2 и 3 ставку дисконтирования $r \approx 6\%$ /год. Величина рентабельности $NPV/I_K=1$ означает, что за время жизненного цикла проекта накоплена прибыль, достаточная для инвестиций в аналогичный проект. При ставке дисконтирования 6 %/год приведенная стоимость лечения методом БНЗТ составляет, согласно рис. 3, $LCOT=13-17$ тыс. долл/чел.

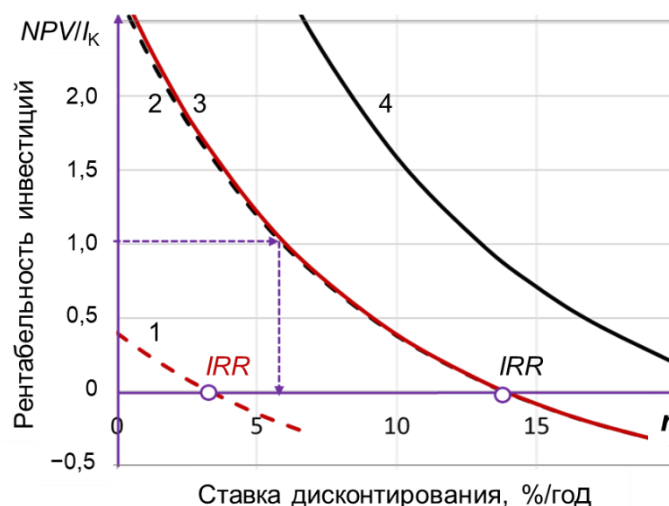


Рисунок 4 - Зависимость рентабельности инвестиций NPV/I_K в БНЗТ-центр от ставки дисконтирования r (0–20 %/год) и от среднегодовой выручки: 1, 2 – $R=16$ Мдолл/год; 3, 4 – $R=22$ Мдолл/год. Расчет по формулам (1)–(4) при параметрах БНЗТ-центра: 1, 3 – $K=50$ Мдолл, $Y=12$ Мдолл/год; 2, 4 – $K=35$ Мдолл, $Y=9$ Мдолл/год; $D=10$ Мдолл, $T_C=T_D=4$ года, $T_3=20$ лет. Точками на рисунке обозначены значения внутренней нормы доходности IRR .

Оценка периода окупаемости. Из аналитического определения NPV (1) вытекает еще один вторичный, но важный микроэкономический критерий – дисконтированный период окупаемости (Discounted Payback Period - DPP), который целесообразно иметь наименьшим как в интересах инвестора, так и в интересах повышения конкурентоспособности продукции и снижения экономических рисков, возрастающих с увеличением периода окупаемости. Очевидно, что окупаемость проекта возможна на стадии эксплуатации БНЗТ-центра, когда есть притоки выручки за оказанные медицинские услуги. Учитывая, что в момент окупаемости проекта $NPV=0$ при $t-T_C=DPP$, получаем выражение для оценки DPP (период окупаемости отсчитывается от начала эксплуатации БНЗТ-центра) в виде

$$DPP = -\frac{1}{r} \ln \left(1 - \frac{r}{IRR_0} \varphi_K \right). \quad (8)$$

В этом выражении $IRR_0=(R-Y)/K$ представляет максимально возможное значение внутренней нормы доходности проекта. Как следует из рис. 5, величина DPP существенно зависит от ставки дисконтирования и среднегодовой выручки при заданных капитальных и эксплуатационных затратах. При $r=6$ %/год проект БНЗТ-центра с параметрами $K=35$ Мдолл, $Y=9$ Мдолл/год и $R=22$ Мдолл/год окупается за 3 года, а при снижении выручки до 16 Мдолл/год (например, за счет снижения числа пациентов) период окупаемости возрастает до 7 лет.

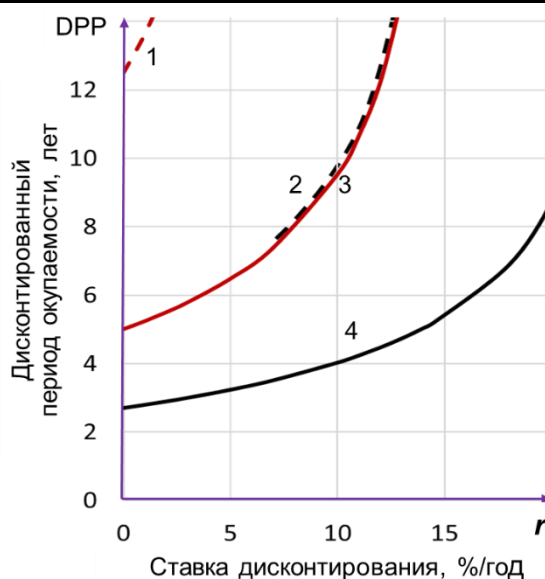


Рисунок 5 - Зависимость дисконтированного периода окупаемости инвестиций в БНЗТ-центр DPP (лет от начала эксплуатации центра) от ставки дисконтирования $r=0-20$ %/год и от среднегодовой выручки: 1, 2 – $R=16$ Мдолл/год; 3, 4 – $R=22$ Мдолл/год. Расчет по формуле (8) при параметрах БНЗТ-центра: 1, 3 - $K=50$ Мдолл, $Y=12$ Мдолл/год; 2, 4 - $K=35$ Мдолл, $Y=9$ Мдолл/год; $T_C=4$ года, $T_3=20$ лет.

Заключение.

Приведенная в работе методология оценки эффективности инвестиций в медицинский центр для лечения онкологических заболеваний методом бор-нейтронозахватной терапии позволяет оценить минимальную стоимость лечения одного больного и период окупаемости инвестиций в зависимости от капитальных, эксплуатационных и де-комиссионных затрат, а также от количества обслуживаемых пациентов. При умеренных капитальных затратах (до 40 млн долл), эксплуатационных затратах (до 10 млн долл/год) и пропускной способности (около 1000 чел./год) БНЗТ-центра стоимость лечения одного пациента обойдется в 11–16 тыс. долл/чел. и более. Часть стоимости услуг БНЗТ-центра может покрывать страхование. Снижение стоимости лечения возможно при развитии технологий БНЗТ, уменьшения стоимости нейтронных генераторов и средств доставки бора в опухолевые клетки, повышения пропускной способности БНЗТ-центра.

Список литературы

1. Публичный отчет 2023. Госкорпорация «Росатом». – 172 с. https://report.rosatom.ru/go/rosatom/go_rosatom_2023/app/rosatom_2023_1.pdf
2. Бикчурина М.И., Касатов Д.А., Колесников Я.А., Соколова Е.О., Таскаева Ю.С., Таскаев С.Ю. Бор-нейтронозахватная терапия: физические аспекты. // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. – 2024. – №7(4). – С.75–83. <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2024-7-4-75-83>
3. Advances in Boron Neutron Capture Therapy. IAEA, Vienna. – 2023. – 416 P. ISBN 978–92–0–132623–2 (pdf)

4. Hiroaki Kumada, Takeji Sakae & Hideyuki Sakurai. Current development status of accelerator-based neutron source for boron neutron capture therapy // EPJ Techniques and Instrumentation. – 2023. – V.10. – № 18. – pp. 2–15. <https://doi.org/10.1140/epjti/s40485-023-00105-5>
5. А.А. Липенголец, Е.Ю. Григорьева, С.М. Иванов, В.Н. Кулаков, И.Н. Шейно. Современное состояние клинической нейтрон-захватной терапии // Онкологический журнал. – 2018. – Том 1. – № 1. – С. 15-18.
6. Чернуха А.Е., Сабуров В.О., Адарова А.И., Соловьев А.Н., Кизилова Я.В., Корякин С.Н. Трехмерные модели и дополнение геометрии для оценки доз в лучевой кабине нейтронной терапии на базе генератора НГ-24МТ. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2022. – № 3. – С. 158-167. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.3.14>.
7. Голубев С. В., Изотов И. В., Разин С. В., Сидоров А. В., Скалыга В. А. Компактный источник нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии // Изв. вузов. Радиофизика. – 2016. – Т. 59. – № 8/9. – С. 760–768.
8. Корякин С.Н., Кайдан Н.А., Исаева Е.В., Ульяненко Л.Н., Лычагин А.А., Ульяненко С.Е. Опыт применения портативного отечественного нейтронного генератора в схемах гамма-нейтронной терапии домашних животных со злокачественными новообразованиями // Радиация и риск. – 2018. – Том 27. – № 1. – С. 94-106. DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-1-94-106
9. Иванов А.А., Смирнов А.Н., Таскаев С.Ю. и др. Ускорительный источник нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии // Успехи физических наук. – 2022. – Т. 192. – №8. – С. 893–912. DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2021.02.038940>
10. David Pahor. Designing, Financing and Operating a BNCT Center. – Cosylab, 19 July 2023. <https://cosylab.com/medical/designing-operating-and-financing-a-bnct-center/>
11. The Xiamen BNCT Center and Neuboron BNCT Group. – Neuboron News. – 2021. <https://en.neuboron.com/news/293.html>
12. Martti Kulvik, Raine Hermans, Ismo Linnoosmaa, Joel Shalowitz. An economic model to assess the cost-benefit of BNCT // Applied Radiation and Isotopes. – 2015. – V. 106. – С. 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2015.08.021>
13. Prash Raval. Quality-adjusted life years (QALYs) // Jun 17, 2024. <https://invezz.com/definitions/quality-adjusted-life-years-qalys/#>
14. Семенов Е.В., Семенова Д.Ю., Харитонов В.В. Усовершенствованная модель расчета микроэкономических критериев эффективности инвестиций в энергетические проекты // Микроэкономика. – 2024. – № 3. – С. 41–68. doi: 10.33917/mic-3.116.2024.41–68
15. Manual for evaluation of industrial projects. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Vienna, 1986. - p.139

References

1. Public Report 2023. State Corporation Rosatom. – 172 p. https://report.rosatom.ru/go/rosatom/go_rosatom_2023/app/rosatom_2023_1.pdf
2. Bikchurina M.I., Kasatov D.A., Kolesnikov Ya.A., Sokolova E.O., Taskaeva Yu.S., Taskaev S.Yu. Boron Neutron Capture Therapy: Physical Aspects. // Oncological Journal: Radiation Diagnostics, Radiation Therapy. – 2024. – No. 7(4). – pp.75–83. <https://doi.org/10.37174/258775932024747583>

3. Advances in Boron Neutron Capture Therapy. IAEA, Vienna. – 2023. – 416 p. ISBN 978–92–0–132623–2 (pdf)
 4. Hiroaki Kumada, Takeji Sakae & Hideyuki Sakurai. Current development status of accelerator-based neutron source for boron neutron capture therapy // EPJ Techniques and Instrumentation. – 2023. – V.10. – № 18. – pp. 2–15. <https://doi.org/10.1140/epjti/s40485-023-00105-5>
 5. A.A. Lipengolts, E.Yu. Grigorieva, S.M. Ivanov, V.N. Kulakov, I.N. Sheino. Current state of clinical neutron capture therapy // Oncological journal. – 2018. – Vol. 1. – No. 1. – pp. 15-18.
 6. Chernukha A.E., Saburov V.O., Adarova A.I., Soloviev A.N., Kizilova Ya.V., Koryakin S.N. Three-dimensional models and geometry supplementation for dose assessment in a neutron therapy beam cabin based on the NG-24MT generator. // Bulletin of universities. Nuclear energy. – 2022. – No. 3. – pp. 158-167. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.3.14>.
 7. Golubev S. V., Izotov I. V., Razin S. V., Sidorov A. V., Skalyga V. A. Compact neutron source for boron neutron capture therapy // Izvestiya Universiteta. Radiophysics. – 2016. – Vol. 59. – No. 8/9. – pp. 760–768.
 8. Koryakin S. N., Kaidan N. A., Isaeva E. V., Ulyanenko L. N., Lychagin A. A., Ulyanenko S. E. Experience of using a portable domestic neutron generator in gamma-neutron therapy schemes for domestic animals with malignant neoplasms // Radiation and Risk. – 2018. – Volume 27. – No. 1. – pp. 94-106. DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-1-94-106
 9. Ivanov A.A., Smirnov A.N., Taskaev S.Yu. and others. Accelerator neutron source for boron neutron capture therapy // Advances in Physical Sciences. – 2022. – T. 192. – No. 8. – pp. 893–912. DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2021.02.038940>
 10. David Pahor. Designing, Financing and Operating a BNCT Center. – Cosylab, July 19, 2023. <https://cosylab.com/medical/designing-operating-and-financing-a-bnct-center/>
 11. The Xiamen BNCT Center and Neuboron BNCT Group. – Neuboron News. – 2021. <https://en.neuboron.com/news/293.html>
 12. Martti Kulvik, Raine Hermans, Ismo Linnosmaa, Joel Shalowitz. An economic model to assess the cost-benefit of BNCT // Applied Radiation and Isotopes. – 2015. – V. 106. – pp. 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2015.08.021>
 13. Prash Raval. Quality-adjusted life years (QALYs) // Jun 17, 2024. <https://invezz.com/definitions/quality-adjusted-life-years-qalys/#>
 14. Semenov E.V., Semenova D.Yu., Kharitonov V.V. Improved model for calculating microeconomic criteria for the effectiveness of investments in energy projects // Microeconomics. - 2024. - No. 3. - pp. 41–68. doi: 10.33917/mic-3.116.2024.41–68
 15. Manual for evaluation of industrial projects. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Vienna, 1986. – p.139.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 621.914.1

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ

¹ Гаврилов А.В., ²Яковлев М.Г.

^{1,2} ФГАОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "СТАНКИН", Москва, Россия (127055, город Москва, Вадковский пер., д.3а), e-mail: ¹www.alexandrgavrilow.ru@gmail.com

²"АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ" НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ДВИГАТЕЛЕЙ (ФИЛИЛАЛ), Москва, Россия (105118, город Москва, пр-кт Будённого, д. 16 к. 182),

В данной статье рассматриваются некоторые из последних достижения в области подавления вибраций при фрезеровании конструкций с низкой жесткостью. Представлены современные методы снижения колебаний технологической системы, в том числе основанные на моделировании процесса обработки. В заключении обсуждаются текущие вызовы и перспективные направления для дальнейших исследований в этой области.

Ключевые слова: Фрезерование, вибрации, подавление вибраций.

REVIEW OF RESEARCH ON METHODS AND MEANS FOR REDUCING VIBRATIONS IN TECHNOLOGICAL SYSTEMS DURING MILLING

¹ Gavrilov A.V., ²Yakovlev M.G.

^{1,2}MOSCOW STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY "STANKIN", Moscow, Russia (127055, Moscow, Vadkovsky per., 3a), e-mail: ¹www.alexandrgavrilow.ru@gmail.com

²"JOINT STOCK COMPANY "UNITED ENGINE CORPORATION" RESEARCH INSTITUTE OF ENGINE TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF ENGINE PRODUCTION (FILILAL), Moscow, Russia (105118, Moscow, Budyonnogo Ave., 16, room 182).

This article reviews some of the latest advancements in vibration suppression during milling of low-rigidity structures. Modern methods for reducing oscillations in machining systems are presented, including those based on process modeling. The conclusion discusses current challenges and promising directions for future research in this field.

Keywords: Milling, chatter vibrations, vibration suppression.

Введение

Фрезерование играет ключевую роль в обработке маложестких конструкций в аэрокосмической и авиационной отраслях. Однако из-за недостаточной жесткости заготовок в процессе обработки часто возникают нежелательные вибрации, которые значительно снижают качество обработки, точность и производительность. Борьба с колебаниями становится критически важной задачей, так как их возникновение может привести к

разрушению инструмента, ухудшению качества поверхности и получению бракованных изделий.

Для борьбы с этой проблемой применяются два основных подхода: прогнозирование и активное подавление колебаний. Эти методы активно исследуются и внедряются в промышленности. В данной статье рассматриваются некоторые из последних достижений в области подавления вибраций при фрезеровании конструкций с низкой жесткостью. Представлены современные технологии подавления колебаний. В заключении обсуждаются текущие вызовы и перспективные направления для дальнейших исследований в этой области.

1. Подавление колебаний при фрезеровании конструкций

Математически такой процесс часто описывается **дифференциальным уравнением с запаздывающим аргументом**, отражающим зависимость текущих колебаний от предыдущих состояний системы (1).

$$M\ddot{Q}(t) + C\dot{Q}(t) + KQ(t) = F_s(t) + F_d(t, (t - \tau)) + F_p(t, \dot{Q}(t)), \quad (1)$$

где M , C и K обозначают матрицы массы, демпфирования и жесткости фрезерной системы (станок и заготовка). $\ddot{Q}(t)$, $\dot{Q}(t)$ и $Q(t)$ представляют собой векторы ускорения, скорости и перемещения фрезерной системы (станок и заготовка). F_s , F_d и F_p обозначают статическую силу резания, динамическую силу резания и силу демпфирования процесса соответственно. τ — это элемент задержки времени в процессе фрезерования.

Прогнозирование колебаний позволяет определить стабильную зону резания, что помогает правильно подобрать параметры обработки и избежать вибраций. Однако использование диаграмм устойчивости (SLD - Stability Lobe Diagram) для выбора режимов резания и максимизации скорости съема материала (MRR - Material Removal Rate) имеет ограничения, поскольку стабильная область фиксируется после определения динамических характеристик системы.

Поэтому, помимо оптимизации параметров резания на основе SLD, исследователи и инженеры применяют активные методы подавления колебаний и специализированные устройства. Эти решения позволяют не только предотвращать вибрации, но и значительно увеличивать скорость съема металла. Несмотря на эффективность существующих методов, разработка более универсальных и адаптивных технологий подавления колебаний остается актуальной задачей для различных сценариев обработки.

2. Методы подавления колебаний при фрезеровании маложестких деталей

Для подавления вибраций в процессе фрезерования можно использовать три основных подхода, основанных на уравнении (1):

1. Изменение временной задержки динамической силы резания:

- изменение временной задержки при помощи специальной геометрии режущего инструмента (например, переменного шага зубьев);
- изменение временной задержки при помощи методов изменения скорости шпинделя (VSS – Variable Spindle Speed).

2. Увеличение демпфирования процесса фрезерования:

- применение режущих инструментов с оптимизированной геометрией кромки, повышающей демпфирование, способствует улучшению устойчивости процесса.

3. Корректировка динамических параметров системы (М, С, К):

- повышение жесткости (К) и демпфирования (С) системы «станок–инструмент–заготовка» позволяет эффективно подавлять вибрации при обработке конструкций с малой жесткостью.

Для подавления колебаний путём модификации временной задержки (τ) динамической силы резания исследователи разработали функциональные режущие инструменты с нестандартной геометрией (Рисунок 1).

discrete delays		continuous delays	
helical tools	$\tau = \frac{60}{N Z}$	variable helix tools	$\tau(z)$ linear distribution
variable pitch tools	τ_f	harmonically varied helix (crest) tools	$\tau(z)$ nonlinear distribution
serrated tools	$\tau_f(\text{feed})$	spindle speed variation	$\tau(t)$

Рисунок 1 – Модификация временной задержки в зависимости от геометрии режущего инструмента [1]

Спиральные фрезы отличаются от прямых тем, что их конструкция создаёт угловую задержку в точках резания вдоль осевой оси инструмента, обусловленную частотой прохождения зубьев. Эта задержка смягчает пики силы резания, снижая вибрации. При добавлении спиральной формы к прямой канавке среднее значение динамической силы остаётся неизменным, но гармоники динамической силы, связанные с вибрациями, уменьшаются. Средняя динамическая сила вызывает традиционный чаттер, связанный с бифуркацией Хопфа, тогда как гармоники провоцируют чаттер удвоенного периода, обусловленный бифуркацией удвоения [2-4]. Таким образом, спиральная геометрия эффективно подавляет чаттер удвоенного периода, что особенно заметно в прерывистых операциях фрезерования, где такие вибрации преобладают [3, 5, 6].

Фрезы с переменным шагом зубьев [7] подавляют вибрации за счёт нарушения фазовой связи между текущими и предыдущими колебаниями благодаря неравномерному распределению канавок. В работе [8] теоретически показано, что такие инструменты могут удваивать допустимую глубину резания, что было подтверждено экспериментально [9]. Однако их эффективность ограничена зоной высоких скоростей (зона С) и промежуточными режимами (зона В) [10-12], тогда как в зоне демпфирования (зона А) результаты противоречивы (Рисунок 2).

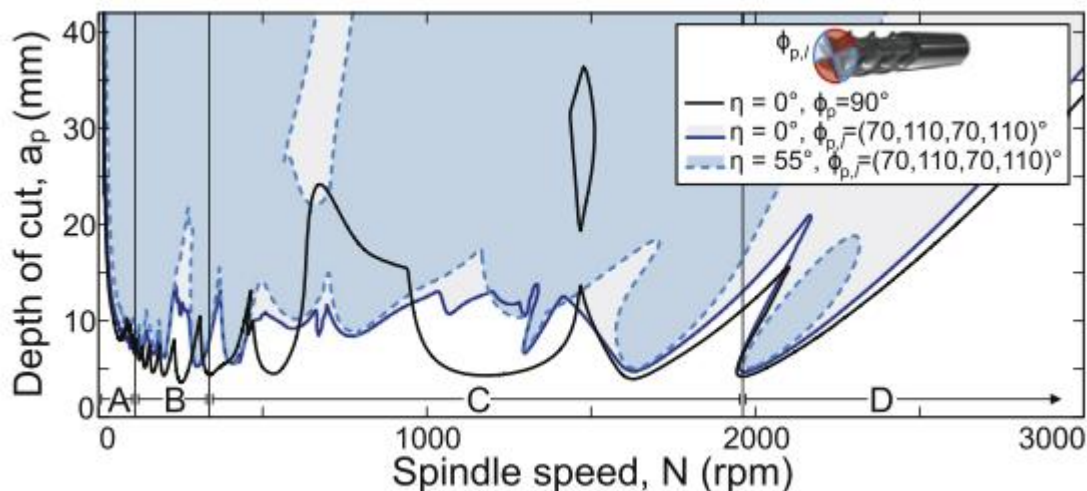


Рисунок 2 – Эффект от применения фрез с переменным шагом

Зубчатые инструменты с волнообразными канавками, предложенные Страсманом [11], создают переменные локальные радиусы и углы резания, что увеличивает количество временных задержек и подавляет регенеративные вибрации [11, 13]. При малых подачах (когда толщина стружки меньше амплитуды волн) они демонстрируют повышенную устойчивость, позволяя увеличить глубину резания в Z раз по сравнению с обычными фрезами [14], но теряют это преимущество при больших подачах [15]. Хотя такие фрезы улучшают стабильность обработки [14, 16] и создают дополнительные зоны резонансной устойчивости [17], их основной недостаток - низкое качество поверхности из-за профиля кромок [11], что частично решается трапецевидными модификациями [18]. Оптимальные параметры зубцов требуют учета нагрузок на стружку и износа.

В отличие от методов, основанных на изменении геометрии инструмента, некоторые исследования [19-20] предлагают подавлять вибрации путем увеличения процессного демпфирования с помощью специальных режущих кромок. Как показано на Рис. 3, модификация геометрии кромки (например, увеличение радиуса закругления) может значительно повысить демпфирование процесса и стабильность обработки, что экспериментально подтверждено работами [22] и [23].

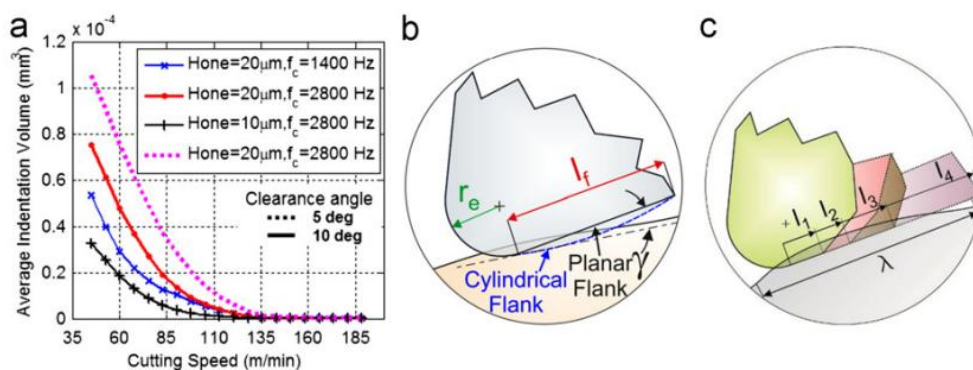


Рисунок 3 - Влияние геометрии режущего инструмента на демпфирование в процессе фрезерования [23]

Для повышения стабильности обработки деталей с низкой жесткостью исследователи также разработали несколько типов устройств, модифицирующих динамические характеристики системы "станок-инструмент-заготовка":

1. Изменение массы:

- дополнительные массы [24-26] корректируют динамические свойства заготовки, расширяя зону стабильного резания.

2. Увеличение жесткости:

- фиксированные крепления [27-29] обеспечивают дополнительную поддержку заготовки;
- подвижные крепления [30-32] адаптивно изменяют жёсткость в зависимости от положения заготовки.

3. Демпфирование:

- вязкие жидкости [33-35], нанесённые на поверхность или залитые в полости заготовки, гасят колебания.

Эти методы позволяют увеличить скорость съёма материала за счёт подавления вибраций без снижения качества обработки.

Заключение

Конструкции с малой жесткостью, широко применяемые в аэрокосмической и двигателестроительной отраслях для снижения массы и повышения эффективности, остаются сложными для обработки из-за возникновения вибраций. Несмотря на существующие методы, промышленности требуется простое и универсальное решение для подавления колебаний, сочетающее:

- прогнозирование и активное подавление — для оптимального подбора параметров резания.
- реализацию компактных устройств — легко интегрируемых в производственные процессы.
- системы детекции вибраций в реальном времени — позволяющие корректировать режимы обработки до развития сильных колебаний.

Ключевые направления исследований:

- разработка гибридных систем, комбинирующих прогнозирование и активное демпфирование.
- создание алгоритмов мониторинга, использующих виброакустические сигналы или данные датчиков силы.
- специальная геометрия инструментов (например, спиральные фрезы с переменным шагом) для пассивного подавления вибраций.

Такие решения позволят повысить скорость съема материала и снизить брак при обработке тонкостенных деталей.

Список литературы

1. Муноа Дж., Бодерт Х., Домбовари З. и др. Методы подавления вибрации при резке металла. CIRP Annals-Технология производства, 2016; 65 С. 785-808.
2. Балачандран Б., Чжао М.Х. (2000) Модель, основанная на механике, для изучения динамики операций фрезерования. Meccanica 35 (2): С.89-109.

3. Затарайн М., Муноа Дж., Пенье Г., Инспергер Т. (2006) Анализ влияния угла наклона винтовой линии мельницы на устойчивость к дребезжанию. CIRP Annals 5(1): С. 365-368.
4. Шридхар Р., Хон Ре, Лонг Г.У. (1968) Алгоритм обеспечения стабильности для общего процесса фрезерования: вклад в исследование вибрации станков-7. Журнал машиностроения для промышленности, 90 (2): С. 330-334.
5. Патель Б., Манн Б., Янг К. (2008) Неизведанные острова неустойчивости вибрации при измельчении. Международный журнал станкостроения и производства 48: 124-134. Инженерия для промышленности 90 (2): С. 330-334.
6. Инспергер Т., Муноа Дж., Затарайн М., Пенье Г. (2006) Нестабильные участки на Диаграмме стабильности процессов фрезерования, обусловленные Углом наклона спирали. 2-я Международная конференция CIRP по высокопроизводительному резанию, Ванкувер, Канада.
7. Хан Р.С. (1952) Дребезжание при резке металла и его устранение. Публикации ASME 74: С. 1073-1080.
8. Славичек Дж. (1965) Влияние неравномерного шага зубьев на стабильность фрезерования. Материалы 6-й конференции MTDR, С. 15-22.
9. Опитц Х., Дреггер Е.Ю., Розе Х. (1966) Повышение динамической стабильности процесса фрезерования за счет неравномерного шага зубьев. Материалы конференции Adv MTDR 7, С. 213-227.
10. Селлмайер В., Денкена Б. (2011) "Островки стабильности" в Таблице стабильности процессов фрезерования Из-за неравного шага зубьев. Международный журнал станкостроения и производства, 51 (2), С. 152-164.
11. Стоун Би Джей (2014) Компания Chatter & Machine Tools, Спрингер, Швейцария.
12. Алтинтас И., Энгин С., Будак Е. (1999) Аналитическое прогнозирование стабильности и проектирование фрез с переменным шагом. Научно-технический журнал "Производство", 121 (2), С. 173-178.
13. Стоун Б.Дж. (1970) О влиянии фрез с различными углами наклона спирали на соседних зубьях на поведение станков при дребезжании. Материалы 11-й конференции MTDR, Macmillan, С. 169-180.
14. Мердол С.Д., Алтинтас Ю. (2004) Механика и динамика зубчатых цилиндрических и конических концевых фрез. Научно-технический журнал "Производство", 126 (2), С. 317-326.
15. Wang JJ, Yang CS (2003) Модели сил в угловой и частотной областях для черновой концевой фрезы с синусоидальным профилем кромки. Международный журнал станкостроения и производства, 43, С. 1509-1520.
16. Домбовари З., Алтинтас Ю., Степан Г. (2010) Влияние зазубренности на механику и стабильность фрез. Международный журнал станкостроения и производства, 50(6), С. 511-520.
17. Степан Г., Муноа Дж., Инспергер Т., Сурико М., Бахрати Д., Домбовари З. (2014) Цилиндрические фрезерные инструменты: сравнительное исследование стабильности процесса на реальном примере. Анналы CIRP 63(1), С. 385-388.

18. Пай С. Дж., Стоун Б.Дж. (1980) Критическое сравнение некоторых высокопроизводительных фрез. Международная конференция по технологическому инжинирингу, Мельбурн, Австралия, 11-15 сентября.
19. Сиссон Т.Р., Кегг Р.Л. Объяснение эффектов низкоскоростного дребезжания. Публикации ASME Journal of Engineering for Industry, 1969; 91, С. 951-958
20. Тласти Дж., Исмаил Ф. Особые аспекты дребезжания при фрезеровании. Публикации ASME Journal of Vibration, Acoustics, Stress и Reliability в журнале "Вибрация, акустика, напряжение и надежность" за 1983 год; 105, С. 24-32.
21. Тласти Дж. Анализ состояния исследований в области динамики резания. Анналы CIRP, 1978, 27, С. 583-589.
22. Юсофф А.Р., Тернер С., Тейлор С. и др. Роль геометрии инструмента в процессе фрезерования с демпфированием. Международный журнал передовых производственных технологий, 2010, 50, С. 883-895.
23. Тунц Л., Будак Э. Влияние условий резания и геометрии инструмента на демпфирование процесса механической обработки. Международный журнал станкостроения и производства, 2012, 57, С. 10-19.
24. Коллуру К., Аксинте Д., Беккер А. Решение для минимизации вибраций при фрезеровании тонкостенных корпусов за счет применения демпферов на поверхности обрабатываемой детали. CIRP Annals-Технология производства, 2013, 62, С. 415-418.
25. Коллуру К., Аксинте Д. Новое вспомогательное устройство для минимизации вибраций при обработке тонкостенных узлов. Международный журнал станкостроения и производства, 2014, 85, С. 79-86.
26. Ши Дж.Х., Сонг К.Х., Лю Ц.К. и др. Частичный поверхностный демпфер для подавления вибрации при фрезеровании тонкостенных пластин. Китайский журнал машиностроения, 2017, 30, С. 632-643.
27. Аояма Т., Какинума Ю. Разработка крепежных устройств для тонких и податливых заготовок. CIRP Annals-Технология производства, 2005, 54, С. 325-328.
28. Ван ХJ, Чжан И, Хуан XD. Исследование влияния расположения крепежа на динамические характеристики тонкостенной многорамной заготовки при механической обработке. Международный журнал станкостроения и производства, 2013, 75, С. 87-99.
29. Ван Си Джей, Чжан Ю. Новый подход к оптимизации расположения крепежных элементов для обеспечения максимальной динамической обрабатываемости. Международный журнал станкостроения и производства, 2013, 70, С. 32-44.
30. Фэй Дж. Х., Лин Б., Сяо Дж.Л. и др. Исследование влияния подвижного приспособления на подавление деформации в процессе фрезерования тонкостенных конструкций. Журнал производственных процессов, 2018, 32, С. 403-411.
31. Фэй Дж. Х., Лин Б., Ян С. и др. Снижение шума с помощью подвижной заслонки. Журнал "Звук и вибрация", 2017, 410, С. 49-63.
32. Барриос А., Мата С., Фернандес А. и др. Прогнозирование частотной характеристики для роботизированной обработки. Журнал MM Science, 2019, 4, С. 3099-3106.
33. Чжан Ц., Ли Х.Г., Лю Х.Б. и др. Снижение вибрации при фрезеровании тонкостенных заготовок. Международный журнал механических наук, 2018, С.138-139, С. 262-271.

34. Чжан Ц., Ли Х.Г., Мэн Г. и др. Подавление вибрации при фрезеровании в вязкой жидкости: технико-экономическое обоснование. Международный журнал станкостроения и производства, 2017, 120, С. 20-26.
35. Ма Джей Джей, Чжан Д.Х., Ву Б.Х. и др. Повышение стабильности и подавление вибрации тонкостенной заготовки в процессе фрезерования с помощью гибкого приспособления с магнитореологической жидкостью. Международный журнал передовых производственных технологий, 2017, 88, С. 1231-1242.

References

1. Munoa J, Beudaert X, Dombovari Z, et al. Chatter suppression techniques in metal cutting. CIRP Annals-Manufacturing Technology 2016, 65, pp. 785-808.
2. Balachandran B, Zhao MX (2000) A Mechanics Based Model for Study of Dynamics of Milling Operations. Meccanica 35(2) pp.89–109.
3. Zatarain M, Munoa J, Peigne' G, Insperger T (2006) Analysis of the Influence of Mill Helix Angle on Chatter Stability. CIRP Annals 5(1), pp. 365–368.
4. Sridhar R, Hohn RE, Long GW (1968) A Stability Algorithm for the General Milling Process: Contribution to Machine Tool Chatter Research-7. Journal of Engineering for Industry 90(2), pp. 330–334.
5. Patel B, Mann B, Young K (2008) Uncharted Islands of Chatter Instability in Milling. International Journal of Machine Tools & Manufacture 48:124–134. Engineering for Industry 90(2), pp. 330–334.
6. Insperger T, Munoa J, Zatarain M, Peigne' G (2006) Unstable Islands in the Stability Chart of Milling Processes Due To the Helix Angle. CIRP 2nd International Conference on High Performance Cutting, Vancouver, Canada.
7. Hahn RS (1952) Metal-Cutting Chatter & Its Elimination. Transactions of ASME 74, pp. 1073–1080.
8. Slavicek J (1965) The Effect of Irregular Tooth Pitch on Stability of Milling. Proceedings of the 6th MTDR Conference, pp. 15–22.
9. Opitz H, Dregger EU, Roesse H (1966) Improvement of the Dynamic Stability of the Milling Process by Irregular Tooth Pitch. Proceedings of the Adv MTDR Conference 7, pp. 213–227.
10. Sellmeier V, Denkena B (2011) Stable Islands in the Stability Chart of Milling Processes Due To Unequal Tooth Pitch. International Journal of Machine Tools & Manufacture 51(2), pp. 152–164.
11. Stone BJ (2014) Chatter & Machine Tools, Springer, Switzerland.
12. Altintas Y, Engin S, Budak E (1999) Analytical Stability Prediction & Design for Variable Pitch Cutters. Journal of Manufacturing Science & Engineering 121(2), pp. 173–178.
13. Stone BJ (1970) The Effect on the Chatter Behaviour of Machine Tools of Cutters with Different Helix Angles on Adjacent Teeth. Proceedings of the 11th MTDR Conference, Macmillan, pp. 169–180.
14. Merdol SD, Altintas Y (2004) Mechanics & Dynamics of Serrated Cylindrical & Tapered End Mills. Journal of Manufacturing Science & Engineering 126(2), pp. 317–326.
15. Wang JJJ, Yang CS (2003) Angle & Frequency Domain Force Models for a Roughing End Mill with a Sinusoidal Edge Profile. International Journal of Machine Tools & Manufacture 43, pp. 1509–1520.

16. Dombovari Z, Altintas Y, Stepan G (2010) The Effect of Serration on Mechanics & Stability of Milling Cutters. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 50(6), pp. 511–520.
17. Stepan G, Munoa J, Insperger T, Surico M, Bachrathy D, Dombovari Z (2014) Cylindrical Milling Tools: Comparative Real Case Study for Process Stability. *CIRP Annals* 63(1), pp. 385–388.
18. Pye CJ, Stone BJ (1980) A Critical Comparison of Some High Performance Milling Cutters. *International Conference on Manufacturing Engineering*, Melbourne, Australia, pp. 11–15.
19. Sisson TR, Kegg RL. An explanation of low-speed chatter effects. *Transactions of ASME Journal of Engineering for Industry* 1969, 91, pp. 951-958
20. Tlustý J, Ismail F. Special aspects of chatter in milling. *Transactions of ASME Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design* 1983, 105, pp. 24-32.
21. Tlustý J. Analysis of the state of research in cutting dynamics. *Annals of the CIRP* 1978, 7, pp. 583-589.
22. Yusoff AR, Turner S, Taylor C, et al. The role of tool geometry in process damped milling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2010, 50, pp. 883-895.
23. Tunc L, Budak E. Effect of cutting conditions and tool geometry on process damping in machining. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2012, 57, pp. 10-19.
24. Kolluru K, Axinte D, Becker A. A solution for minimising vibrations in milling of thin-walled casings by applying dampers to workpiece surface. *CIRP Annals-Manufacturing Technology* 2013, 62, pp. 415-418.
25. Kolluru K, Axinte D. Novel ancillary device for minimizing machining vibrations in thin wall assemblies. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2014, 85, pp. 79-86.
26. Shi JH, Song QH, Liu ZQ, et al. Partial surface damper to suppress vibration for thin-walled plate milling. *Chinese Journal of Mechanical Engineering* 2017, 30, pp. 632-643.
27. Aoyama T, Kakinuma Y. Development of fixture devices for thin and compliant workpieces. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2005, 54, pp. 325-328.
28. Wan XJ, Zhang Y, Huang XD. Investigation of influence of fixture layout on dynamic response of thin-wall multi-framed work-piece in machining. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2013, 75, pp. 87-99.
29. Wan XJ, Zhang Y. A novel approach of fixture layout optimization on maximizing dynamic machinability. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2013, 70, pp. 32-44.
30. Fei JX, Lin B, Xiao JL, et al. Investigation of moving fixture on deformation suppression during milling process of thin-walled structures. *Journal of Manufacturing Processes* 2018, 32, pp. 403-411.
31. Fei JX, Lin B, Yan S, et al. Chatter mitigation using moving damper. *Journal of Sound and Vibration* 2017, 410, pp. 49-63.
32. Barrios A, Mata S, Fernandez A, et al. Frequency response prediction for robot assisted machining. *MM Science Journal* 2019, 4, pp. 3099-3106.
33. Zhang Z, Li HG, Liu XB, et al. Chatter mitigation for the milling of thin-walled workpiece. *International Journal of Mechanical Sciences* 2018, pp. 138-139, pp. 262-271.
34. Zhang Z, Li HG, Meng G, et al. Milling chatter suppression in viscous fluid: A feasibility study. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2017, 120, pp. 20-26.

Гаврилов А.В., Яковлев М.Г. Обзор исследований в области методов и средств снижения вибраций технологических систем при фрезерной обработке// Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2025. – Т. 10 № 8(58) Ч.2.с. 149–158

35. Ma JJ, Zhang DH, Wu BH, et al. Stability improvement and vibration suppression of the thin-walled workpiece in milling process via magnetorheological fluid flexible fixture. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2017, 88, pp. 1231-1242.



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 621.039:339.9

РОЛЬ АТОМНО-ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ГЛОБАЛЬНОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ПЕРЕХОДЕ

Роботко А.А.

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
"МИФИ", Москва, Россия (115409, город Москва, Каширское ш., д.31), e-mail:
robotko.anna@gmail.com

В статье исследуется проблема нерационального использования избыточной электроэнергии атомных станций в периоды низкого спроса. Предложена интеграция водородных комплексов для преобразования энергии в водород как экологичный энергоноситель. На примере Кольской АЭС проанализированы технологические, экономические и экологические аспекты внедрения электролизных установок. Показано, что проект снижает потери электроэнергии, повышает гибкость энергосистемы и способствует декарбонизации. Экономическая оценка подтверждает выгоду инициативы при условии снижения затрат на производство водорода и интеграции с государственными программами поддержки.

Ключевые слова: Атомно-водородная энергетики, Кольская АЭС, электролиз, избыточная электроэнергия, декарбонизация.

ROLE OF ATOMIC-HYDROGEN ENERGY IN THE GLOBAL ENERGY TRANSITION

Robotko A.A.

"NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY "MEPHI", Moscow, Russia (115409, Moscow,
Kashirskoye sh., 31 e-mail: robotko.anna@gmail.com

The article examines the problem of inefficient use of excess electricity from nuclear power plants (NPPs) during periods of low demand. It proposes integrating hydrogen complexes to convert surplus energy into hydrogen as an eco-friendly energy carrier. Using the Kolskaya NPP as a case study, the technological, economic, and environmental aspects of implementing electrolysis systems are analyzed. The study demonstrates that the project reduces electricity losses, enhances the flexibility of the energy system, and promotes decarbonization. An economic assessment confirms the initiative's viability, provided hydrogen production costs are reduced and integrated with state support programs.

Keywords: Nuclear-hydrogen energy, Kolskaya NPP, electrolysis, excess electricity, decarbonization.

Современный мир сталкивается с множеством вызовов, связанных с изменением климата, истощением природных ресурсов и необходимостью перехода к устойчивым источникам энергии. В условиях глобального энергетического перехода, который подразумевает переход от традиционных углеводородных источников к более чистым и возобновляемым, атомно-водородная энергетика занимает особое место. Водород, как универсальный носитель энергии, обладает высоким потенциалом для снижения углеродных выбросов и обеспечения энергетической безопасности. В 2023 году инициатива Совета по водороду подчеркивает важность водородной энергетики в контексте декарбонизации и устойчивого развития, что делает данную тему особенно актуальной.

Актуальность работы заключается в том, что в условиях глобального потепления и экологических катастроф, вызванных деятельностью человека, необходимо искать новые пути для обеспечения энергетических потребностей населения и промышленности. Водородная энергетика, в сочетании с атомной, может стать ключевым элементом в создании устойчивой энергетической системы, способной обеспечить надежное и чистое энергоснабжение. В рамках данной работы будет рассмотрен контекст глобального энергетического перехода, в котором водородная энергетика играет важную роль, а также проанализированы преимущества и вызовы, с которыми сталкивается эта отрасль.

В работе будут освещены несколько ключевых тем. Во-первых, будет рассмотрен контекст глобального энергетического перехода, включая основные тенденции и факторы, способствующие переходу к водородной энергетике. Это позволит понять, как водород может вписаться в существующую энергетическую инфраструктуру и какие изменения необходимы для его интеграции. Во-вторых, будет проведен анализ преимуществ атомно-водородной энергетики, таких как высокая эффективность, низкие углеродные выбросы и возможность использования существующих технологий. В-третьих, работа затронет вызовы, с которыми сталкивается водородная энергетика, включая проблемы хранения и транспортировки водорода, а также необходимость разработки новых технологий и стандартов.

Кроме того, в рамках работы будет уделено внимание инновационным решениям, таким как установка солнечных панелей и переход на чистую энергетику, которые подчеркивают необходимость диверсификации источников энергии. Важно отметить, что водородная энергетика не является единственным решением, а должна рассматриваться в контексте комплексного подхода к энергетической безопасности и устойчивому развитию. В заключение, работа будет направлена на формулирование рекомендаций по развитию атомно-водородной энергетики в условиях глобального энергетического перехода, что позволит более эффективно использовать водород как источник энергии и способствовать достижению целей по снижению углеродных выбросов.

Таким образом, данная работа представляет собой попытку систематизировать знания о роли атомно-водородной энергетики в глобальном энергетическом переходе, выявить ключевые аспекты, преимущества и вызовы, а также предложить пути для дальнейшего развития этой важной области.

Контекст глобального энергетического перехода

Глобальный энергетический переход на 2023 год стоит перед множеством вызовов, как экономических, так и технологических. Одной из ключевых тенденций является устойчивая трансформация в сторону возобновляемых источников энергии. ООН подчеркивает, что развитие таких источников представляет собой единственно возможный путь для замедления климатических изменений. При этом, многие страны сталкиваются с необходимостью уменьшения инвестиционного потока в традиционные формы энергии, что вызывает обеспокоенность у экономик, зависящих от углеводородов [4].

В 2023 году общий объем инвестиций в проекты чистой энергии превысил 500 миллиардов долларов, что отказ от ископаемых видов топлива становится ощутимым признаком изменений на энергетическом рынке [1]. Однако переход требует комплексной стратегии, чтобы не усугубить финансовую нестабильность стран, зависящих от

углеводородов. Проблемы финансирования и политической нестабильности могут тормозить достигнутый прогресс [2].

Как показывают сценарии, разработанные учеными, если текущая политическая динамика не изменится, мир рискует не достичь установленных целей по снижению температуры. Например, консервативный сценарий предполагает возможность повышения температуры на 2,9°C к 2100 году [5]. Эти прогнозы разъясняют, что в зависимости от того, как быстро и эффективно страны смогут адаптировать свои энергетические стратегии, результат может меняться от умеренных до катастрофических.

В условиях текущего мирового энергетического кризиса некоторые аналитики выявляют проблемы с перегревом спроса на природный газ, несмотря на мировое стремление к зеленой энергетике. Подобный парадокс ставит под вопрос целесообразность революции на энергетическом фронте и показывает, что переход будет потребовать значительных объемов природных ресурсов в краткосрочной перспективе для обеспечения стабильной энергетической системы [3].

На фоне этих вызовов индекс энергетического перехода Всемирного экономического форума демонстрирует признаки стагнации, что сигнализирует о необходимости переосмысления новых подходов к устойчивому развитию. При этом важно, чтобы усилия по переходу к чистым источникам энергии не вызывали экономические кризисы в государствах, которые исторически зависели от углеводородов [4][2].

Таким образом, стратегия перехода к новым источникам энергии должна быть более глубокой и учитывать возможность перехода на водородную энергетику, которая может стать основой для реализации устойчивого, чистого энергетического будущего. В этом контексте, понимание роли атомно-водородной энергетики становится все более актуальным для формулирования эффективной политики на уровне стран и международных организаций.

Заключение

В заключение данной работы следует подчеркнуть, что атомно-водородная энергетика занимает все более значимое место в контексте глобального энергетического перехода, который на сегодняшний день является одной из наиболее актуальных тем в области энергетики и экологии. В условиях нарастающих угроз изменения климата, истощения традиционных источников энергии и необходимости перехода к устойчивым формам производства и потребления энергии, водородная энергетика представляет собой многообещающее направление, способное существенно изменить энергетический ландшафт.

Атомно-водородная энергетика, как синергия двух мощных технологий, открывает новые горизонты для обеспечения энергетической безопасности и снижения углеродного следа. Водород, будучи универсальным носителем энергии, может быть получен из различных источников, включая возобновляемые, такие как солнечная и ветровая энергия, а также из ядерной энергии. Это создает возможности для создания гибридных систем, которые могут эффективно использовать преимущества каждого из источников, обеспечивая надежное и устойчивое энергоснабжение.

В 2023 году инициатива Совета по водороду демонстрирует активные шаги в направлении декарбонизации, что подчеркивает важность водородной энергетики в глобальных усилиях по борьбе с изменением климата. Создание новых водородных проектов и внедрение передовых технологий, таких как электролиз воды с использованием

возобновляемых источников энергии, становятся ключевыми факторами в достижении целей по снижению выбросов парниковых газов. Эти инициативы не только способствуют улучшению экологической ситуации, но и открывают новые возможности для экономического роста и создания рабочих мест в сфере высоких технологий.

Однако, несмотря на все преимущества, атомно-водородная энергетика сталкивается с рядом вызовов. К ним относятся высокие затраты на производство и хранение водорода, необходимость в развитии инфраструктуры для его транспортировки и распределения, а также вопросы безопасности, связанные с его использованием. Решение этих проблем требует комплексного подхода, включающего как научные исследования и разработки, так и активное сотрудничество между государственными и частными секторами.

Важным аспектом является также необходимость диверсификации источников энергии. В условиях глобальных изменений климата и нестабильности на энергетических рынках, reliance на один источник энергии может привести к серьезным последствиям. Водородная энергетика, в сочетании с другими возобновляемыми источниками, может стать основой для создания устойчивой и гибкой энергетической системы, способной адаптироваться к изменениям и вызовам.

Таким образом, атомно-водородная энергетика представляет собой ключевой элемент в процессе глобального энергетического перехода. Она не только способствует снижению углеродных выбросов, но и открывает новые возможности для экономического развития и технологических инноваций. Важно продолжать исследовать и развивать это направление, чтобы обеспечить устойчивое будущее для следующих поколений. В заключение, можно сказать, что успех атомно-водородной энергетики будет зависеть от совместных усилий всех заинтересованных сторон, включая правительства, научные учреждения и бизнес, направленных на создание эффективной и безопасной энергетической системы, способной удовлетворить потребности современного общества.

Список литературы

1. В глобальный энергопереход в 2023 году... | Report.az [Электронный ресурс] // report.az - Режим доступа: <https://report.az/ru/energetika/s-p-v-globalnyj-energoperehod-v-2023-godu-vlozhenopoltrillionadollarov/>, свободный. - Загл. с экрана
2. Telegram: View @ESGpost [Электронный ресурс] // t.me - Режим доступа: <https://t.me/esgpost/2396>, свободный. - Загл. с экрана
3. Готов ли мир к «Великому энергетическому переходу»? [Электронный ресурс] // strangeplanet.ru - Режим доступа: <https://strangeplanet.ru/2023/06/08/готов-ли-мир-к-великому-энергетическ/>, свободный. - Загл. с экрана
4. "Зелёная" политика: просчеты глобального энергетического... [Электронный ресурс] // repost.press - Режим доступа: <https://repost.press/news/zelyonaya-politika-proschety-globalnogo-energeticheskogo-perehoda>, свободный. - Загл. с экрана
5. Перспективы глобальной энергетики на 2023 год | McKinsey [Электронный ресурс] // tr-page.yandex.ru - Режим доступа: <https://tr-page.yandex.ru/translate?lang=en-ru&url=https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023>, свободный. - Загл. с экрана

References

1. In the global energy transition in 2023... | Report.az [Electronic resource] // report.az - Access mode: <https://report.az/ru/energetika/s-p-v-globalnyj-energoperehod-v-2023-godu-vlozhenopoltrilliona-dollarov/>, free. - Header from the screen
 2. Telegram: View @ESGpost [Electronic resource] // t.me - Access mode: <https://t.me/esgpost/2396>, free. - Header from the screen
 3. Is the world ready for the "Great Energy Transition"? [Electronic resource] // strangeplanet.ru - Access mode: <https://strangeplanet.ru/2023/06/08/год-ли-мир-к-велкому-Электриске/>, free. - Header. from the screen
 4. "Green" policy: miscalculations of the global energy... [Electronic resource] // repost.press - Access mode: <https://repost.press/news/zelyonaya-politika-proschety-globalnogo-energeticheskogo-perehoda>, free. - Title from the screen
 5. Global energy prospects for 2023 | McKinsey [Electronic resource] // tr-page.yandex.ru - Access mode: <https://tr-page.yandex.ru/translate?lang=en-ru&url=https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023>, free. - Title from the screen
-