

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ



УПРАВЛЕНИЕ И ВЫСОКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ

2025
№ 1 (69)



ISSN 2074-1707

АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В. Н. ТАТИЩЕВА

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2025

№ 1 (69)

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК России для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим научным специальностям.

Группа специальностей 1.2 «Компьютерные науки и информатика»:

1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).

Группа специальностей 2.2 «Электроника, фотоника, приборостроение и связь»:

2.2.4 – Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки);

2.2.11 – Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки);

2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Группа специальностей 2.3 «Информационные технологии и телекоммуникации»:

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки);

2.3.4 – Управление в организационных системах (технические науки);

2.3.5 – Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);

2.3.6 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки).

Журнал входит в базу данных Ulrich's Periodicals Directory.

Астрахань

Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева

2025

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Астраханского государственного университета имени В. Н. Татищева

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:
управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2025
№ 1 (69)

Редакционная коллегия

И.М. Азмухамедов, доктор технических наук, профессор, декан факультета цифровых технологий и кибербезопасности, профессор кафедры «Информационная безопасность» Астраханского государственного университета им. В. Н. Татищева (главный редактор)

И.В. Аникин, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы информационной безопасности» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ

А.А. Большаков, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и управления» Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)

Л.А. Демидова, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вычислительной и прикладной математики» Рязанского государственного радиотехнического университета (г. Рязань)

А.С. Катасёв, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» (г. Казань)

И.Ю. Квятковская, доктор технических наук, профессор, директор Института информационных технологий и коммуникаций Астраханского государственного технического университета

А.Г. Кравец, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Волгоградского государственного технического университета

В.Ю. Кузнецова, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информационной безопасности Астраханского государственного университета им. В. Н. Татищева

Ю.В. Литовка, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» Тамбовского государственного технического университета

А.М. Лихтер, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Общая физика» Астраханского государственного университета им. В. Н. Татищева

А.А. Лобатый, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии» Белорусского национального исследовательского университета (Республика Беларусь, г. Минск)

Е.В. Никольцев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Управление и моделирование систем» Московского технологического университета (МИРЭА) (г. Москва)

В.О. Осипян, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные технологии» Кубанского государственного университета (г. Краснодар)

И.Ю. Петрова, доктор технических наук, профессор, первый проректор Астраханского государственного архитектурно-строительного университета, заведующая кафедрой САПР Астраханского государственного архитектурно-строительного университета

А.В. Рыбаков, кандидат физико-математических наук; доцент кафедры технологии материалов и промышленной инженерии Астраханского государственного университета им. В. Н. Татищева

А.В. Скрипаль, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Медицинская физика» Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

И.Б. Старченко, доктор технических наук, профессор, ООО «Параметрика», научный руководитель (г. Таганрог Ростовской области)

Т.Л. Тен, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы» Карагандинского экономического университета (Республика Казахстан, г. Караганда)

Е.Н. Тищенко, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и защита информации» Ростовского государственного экономического университета (РИНХ) – г. Ростов-на-Дону

С.А. Филст, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Биомедицинская инженерия» Юго-Западного государственного университета (г. Курск)

Л.Р. Фиопова, доктор технических наук, профессор, декан факультета Вычислительной техники, заведующая кафедрой «Информационное обеспечение управления и производства» Пензенского государственного университета

В.А. Цимбал, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» (Филиал Военной академии РВСН им. Петра Великого МО в г. Серпухов Московской области)

Н.К. Юрков, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и производство радиоаппаратуры» Пензенского государственного университета

N.A. Kolesova, PhD, Check Point Software Technologies LTD, Tel-Aviv, Israel

Serg Miranda, PhD (Toulouse University, France), – Master thesis at UCLA (University of California, Los Angeles with an INRIA Scholarship), Professor of Computer Science, University of Nice – Sophia Antipolis (Nice, France), Director of the CS dept. and MBDS innovation lab (www.mbds-fr.org)

Журнал выходит 4 раза в год
Все материалы, поступающие в редколлегию журнала,
проходят независимое рецензирование

© Астраханский государственный университет,
имени В.Н. Татищева, 2025
© Гайфитдинова С. Ю., дизайн обложки, 2025

ASTRAKHAN TATISHCHEV STATE UNIVERSITY

**PRIKASPIYSKIY ZHURNAL:
Upravlenie i Vysokie Tekhnologii**

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**2025
No. 1 (69)**

The journal is included in the list of the reviewed scientific journals recommended by VAK of Russia for the publication of the main scientific results of theses for the candidate of science degree, for the doctor of science degree on the following scientific specialties.

Group of specialties 1.2 “Computer science and informatics”:

1.2.2 – Mathematical modelling, numerical methods and complexes of programmes (technical sciences).

Group of specialties 2.2 “Electronics, photonics, instrument engineering and communication”:

2.2.4 – Instruments and methods of measurement (by type of measurement) (technical sciences);

2.2.11 – Information-measuring and control systems (technical sciences);

2.2.12 – Medical devices, systems and products (technical sciences).

Group of specialties 2.3 “Information technologies and telecommunications”:

2.3.1 – System analysis, information control and processing (technical sciences);

2.3.4 – Management in organizational systems (technical sciences);

2.3.5 – Mathematical software and software for computing systems, complexes and computer networks (technical sciences);

2.3.6 – Information security methods and systems, information security (technical sciences).

The journal is included into the database Ulrich’s Periodicals Directory.

Astrakhan
Astrakhan Tatishchev State University
2025

Recommended by the Editorial and Publishing Board
of Astrakhan Tatishchev State University

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

2025

No. 1 (69)

Editorial Board

I.M. Azhmukhamedov, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Dean of the Faculty of Digital Technologies and Cybersecurity, Professor of Information Security Department, Astrakhan Tatishchev State University named after V.N. (Editor-in-Chief)

I.V. Anikin, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of Information Security System Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI

A.A. Bolshakov, Doct. Sci. (Engineering), Professor of «Systems of Automated Design Engineering and Control» department, St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)

L.A. Demidova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Computational and Applied Mathematics Department, Ryazan State Radio Engineering University (Ryazan)

A.S. Katasev, Doct. Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Information Security Systems, Kazan National Research Technical University. A.N. Tupolev – KAI

I.Yu. Kvyatkovskaya, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of “Information Technologies and Communications” Institute of the Astrakhan State Technical University

A.G. Kravets, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Automated Design Engineering Systems and Search Constructing Department, Volgograd State Technical University

V.Yu. Kuznetsova, Cand. Sci. (Engineering), Senior Lecturer of Information Security Department, Astrakhan Tatishchev State University

Yu.V. Litovka, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Automated Support System for Decision-Making, Tambov State Technical University

A.M. Likhner, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of General Physics, Astrakhan Tatishchev State University

A.A. Lobaty, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of Information Systems and Technologies Department, Belarusian National Technical University (Belarus, Minsk)

E.V. Nikulchev, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the System Management and Modeling Department, Moscow Technological University (Moscow)

V.O. Osipyan, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor of the Kuban State University (Krasnodar)

I.Yu. Petrova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, First Vice-Rector of the Astrakhan State Architectural and Construction University, Head of the CAD department of Astrakhan State Architectural and Construction University

A.V. Rybakov, Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of Materials Technology and Industrial Engineering Astrakhan Tatishchev State University

A.V. Skripal, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Head of Medical Physics Department of the Saratov national research State University named after N.G. Chernyshevsky

I.B. Starchenko, Doct. Sci. (Engineering), Professor, OOO «Parametrica» (Taganrog, Rostov Oblast), Research Supervisor

T.L. Ten, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Karaganda Economic University (Republic of Kazakhstan, Karaganda)

E.N. Tishchenko, Doct. Sci. (Economics), Professor, Head of the Information Technologies & Information Security Department, Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don

S.A. Filist, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of Biomedical Engineering Department, Southwest State University (Kursk)

L.R. Fionova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Dean of the Computer Technology Faculty, Head of the Department «Information Support of Management and Production, Penza State University

V.A. Tsimbal, Doct. Sci. (Engineering), Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor, Professor of the Automated Control Systems Department (Branch of the Military Academy of the Russian Strategic Missile Forces named after Peter the Great of the Moscow Oblast, Serpukhov, Moscow Oblast)

N.K. Yurkov, Honored worker of science of the Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the department «Designing and production of the radio equipment», Penza State University

N.A. Kolesova, PhD, Check Point Software Technologies LTD, Tel-Aviv, Israel

Serg Miranda, PhD (Toulouse University, France), – Master thesis at UCLA (University of California, Los Angeles with an INRIA Scholarship), Professor of Computer Science dept., University of Nice – Sophia Antipolis (Nice, France), Director of the CS department and MBDS innovation lab (www.mbd.fr.org)

The journal is published four times a year
All materials that come to the Editorial Board of the journal
are subject to independent peer-review

© Astrakhan Tatishchev State University, 2025
© S. Yu. Gayfitdinova, cover design, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Н. Н. Багаев, А. Н. Марьенков, Т. Г. Гурская

Структура программного обеспечения для выбора
местоположения предприятий на основе анализа космоснимков 9–21

К. С. Дёмин

Модуль классификатора для информационной системы
скрининга рака молочной железы на основе
факторов риска и термометрических данных 22–29

О. В. Тарасов

Построение индивидуальных образовательных траекторий
на основе байесовской оценки знаний,
кривой забывания и кластеризации задач 30–37

Abas Wisam Mahdi Abas, Ahmed Nafea Ayesh,

S. Ya. Egorov, A. V. Khaytul

Dynamic data mining in cloud environments:
practical solutions for real-time data processing
and decision-making using novel algorithm 38–47

Н. С. Осокин, А. В. Рыбаков, М. А. Шулимова,

И. В. Михайлов, Е. О. Зубова

Интеллектуальная система управления
сельскохозяйственным роботом, основанная
на применении компьютерного зрения 48–54

УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Ю. Ю. Калинина, К. Е. Лебедева, Ю. А. Смирнова

Цифровизация образования: эффективное управление
стимулирующими выплатами преподавателя
высшего учебного заведения 55–62

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

А. Г. Кравец, А. А. Смирнова, А. С. Михеев,

В. А. Петраевский, И. М. Еременко

Серверная подсистема платформы диагностики депрессии 63–71

В. С. Авиллов, А. Г. Кравец, Е. А. Селезнёва

Мобильное приложение как инструмент организации
коммуникаций при массовом цифровом образовании 72–85

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Е. А. Степанова, Д. А. Елизаров, Е. Е. Мурзалева

Эксплуатация уязвимости
операционной системы Astra Linux 86–90

И. И. Карабак, А. Н. Марьенков, А. В. Хайтул

Метод защиты информации от утечек по оптическому каналу
при обработке информации с ограниченным доступом 91–100

**А. А. Ярыгин, А. С. Макарян, М. М. Путьто,
А. Н. Черкасов, М. Е. Косогорова**
Анализ уязвимостей безопасности EXIF-метаданных 101–110

В. В. Шигин
Ансамблевое применение метода градиентного бустинга
и механизма последовательного внимания в задачах
по классификации вредоносной сетевой активности 111–123

В. Г. Лапин, Е. А. Кеньков, М. А. Лапина, Д. А. Кужева
Требования по безопасности информации
к средствам контейнеризации 124–133

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

**И. С. Зеленский, А. А. Финогеев, А. А. Ляпунов,
О. О. Голубева, Д. С. Парыгин**
Моделирование климатических воздействий
на комплекс объектов городской среды 134–142

Л. А. Саяркин, И. Б. Парашук, Е. С. Крюкова
Элементы вычисления нечетко заданных вероятностно-временных параметров
марковской модели процесса реализации поисковых запросов
пользователей облачных хранилищ, центров обработки данных
и электронных библиотек 143–149

О. Ю. Кожухарь, А. С. Скичко
Математическое моделирование процесса биоразложения
парацетамола и анализ особенностей решения
оптимизационной задачи определения параметров модели 150–156

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

М. А. Лапина, А. А. Коронский, А. П. Плехин, В. Г. Лапин
Синтез цифровых схем для реализации
базовых блоков систем безопасности 157–165

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 166

CONTENTS

INFORMATICS, COMPUTER TECHNIQUE AND CONTROL

SYSTEM ANALYSIS, CONTROL AND INFORMATION PROCESSING

N. N. Bagaev, A. N. Marienkov, T. G. Gurskaya

The structure of the software for selecting the location
of enterprises based on the analysis of satellite images 9–21

K. S. Dyomin

Classifier module for breast cancer screening information system
based on risk factors and thermometric data 22–29

O. V. Tarasov

Constructing personalized educational trajectories
based on Bayesian knowledge estimation,
forgetting curve and task clustering 30–37

**Abas Wisam Mahdi Abas, Ahmed Nafea Ayesh,
S. Ya. Egorov, A. V. Khaytul**

Dynamic data mining in cloud environments:
practical solutions for real-time data processing
and decision-making using novel algorithm 38–47

**N. S. Osokin, A. V. Rybakov, M. A. Shulimova,
I. V. Mikhailov, E. O. Zubova**

An intelligent agricultural robot control system
based on computer vision 48–54

MANAGEMENT IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS

Yu. Yu. Kalinina, K. E. Lebedeva, Yu. A. Smirnova

Digitalization of education: effective management
of incentive payments for higher education institution teachers 55–62

MATHEMATICAL SOFTWARE AND SOFTWARE FOR COMPUTING MACHINES, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS

**A. G. Kravets, A. A. Smirnova, A. S. Miheev,
V. A. Petraivsky, I. M. Eremenko**

Server subsystem of the depression diagnostics platform 63–71

V. S. Avilov, A. G. Kravets, E. A. Seleznyova

Mobile application as a communication tool
in mass digital education 72–85

METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION PROTECTION, INFORMATION SECURITY

E. A. Stepanova, D. A. Elizarov, E. E. Murzaeva

Exploiting a vulnerability
the Astra Linux operating system 86–90

I. I. Karabak, A. N. Marienkov, A. V. Khaytul

A method of protecting information from leaks through an optical channel
when processing information with limited access 91–100

A. A. Yarygin, A. S. Makaryan, M. M. Putyato, A. N. Cherkasov, M. E. Kosogorova Analysis of security vulnerabilities of EXIF metadata	101–110
---	---------

V. V. Shigin Ensemble application of the gradient boosting method and sequential attention mechanism in malicious network activity classification tasks	111–123
---	---------

V. G. Lapin, E. A. Kenkov, M. A. Lapina, D. A. Kuzheva Information security requirements for containerization means.....	124–133
--	---------

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM SYSTEMS

I. S. Zelenskiy, A. A. Finogeev, A. A. Lyapunov, O. O. Golubeva, D. S. Parygin Modeling of climatic impacts on a complex of urban environment objects.....	134–142
---	---------

L. A. Sayarkin, I. B. Parashchuk, E. S. Kryukova Elements of calculation of fuzzy probabilistic-temporal parameters of the Markov model of the process of implementation of search query implementation of users of cloud storages, data centers and electronic libraries	143–149
---	---------

O. Yu. Kozhukhar, A. S. Skichko Mathematical modelling of paracetamol biodegradation process and analysis of the peculiarities of solving the optimisation problem of determining the model parameters.....	150–156
---	---------

INSTRUMENT ENGINEERING, MEASUREMENT SCIENCE, INFORMATION AND MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

INFORMATION, MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

M. A. Lapina, A. A. Koronskiy, A. P. Pletukhin, V. G. Lapin Synthesis of digital circuits for the implementation of basic blocks of security systems	157–165
---	---------

RULES FOR THE AUTHORS	166
------------------------------------	-----

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.001

СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КОСМОСНИМКОВ

Багаев Никита Николаевич, Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
аспирант, ORCID: 0000-0001-9585-6060, e-mail: nikitabagaew@yandex.ru

Марьенков Александр Николаевич, Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий, ORCID: 0000-0003-1378-3553, e-mail: marenkovan17@gmail.com

Гурская Татьяна Геннадьевна, Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0009-0000-8133-136, e-mail: gurskai@mail.ru

Статья рассматривает использование космических снимков в качестве источника геоданных путем сегментации объектов на них и занесения полученных результатов в базу данных. Также описано использование существующих данных из базы данных для построения карты стоимостей и ее взаимосвязь с geoserver (WMS- и WFS-сервисы). Проведен анализ процесса дешифрирования космических снимков, и на его основе выделены недостатки такого подхода, которые могут быть нейтрализованы путем использования сверточных нейронных сетей. Кроме того, описана клиент-сервисная архитектура программного обеспечения, в которой показаны основные компоненты системы, где сервер будет состоять из базы данных и geoserver, а также описаны модули программы. Дешифрирование космических снимков с использованием данного ПО позволяет мгновенно проанализировать местность, результат которого поможет с предварительной оценкой стоимости местности, а также с выбором оптимального местоположения для строительства и подсчета необходимых для этого затрат.

Ключевые слова: geoserver, космические снимки, дешифрирование, карты стоимостей, WFS-сервис, WMS-сервис, архитектура ПО, база данных

THE STRUCTURE OF THE SOFTWARE FOR SELECTING THE LOCATION OF ENTERPRISES BASED ON THE ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES

Bagaev Nikita N., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

postgraduate student, ORCID: 0000-0001-9585-6060, e-mail: nikitabagaew@yandex.ru

Marienkov Alexander N., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Information Technology, ORCID: 0000-0003-1378-3553, e-mail: marenkovan17@gmail.com

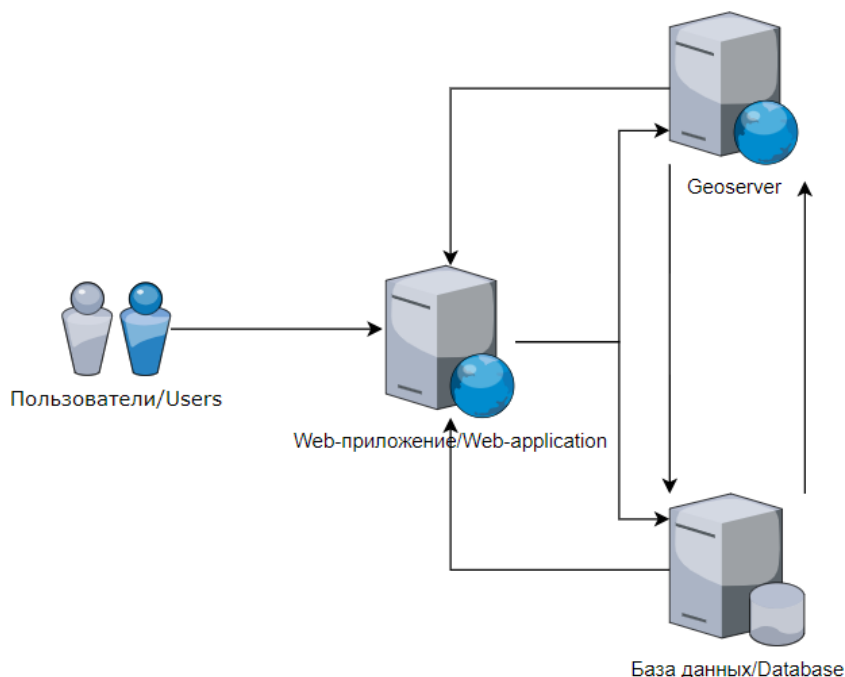
Gurskaya Tatiana G., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID: 0009-0000-8133-136, e-mail: gurskai@mail.ru

The article considers the use of satellite images as a source of geodata, by segmenting objects on them and entering the results into a database. It also describes the use of existing data from the database to build a cost map and its relationship with geoserver (WMS and WFS services). An analysis of the process of decoding satellite images has been carried out, and based on it, the disadvantages of this approach have been identified, which can be neutralized by using convolutional neural networks. In addition, the client-service architecture of the software is described, which describes the main components of the system, where the server will consist of a database and a geoserver, as well as program modules. Decoding satellite images using this software allows you to instantly analyze the terrain, the result of which will help with a preliminary assessment of the cost of the area, as well as with choosing the optimal location for construction and calculating the necessary costs for this.

Keywords: geoserver, satellite images, decryption, cost maps, WFS service, WMS service, software architecture, database

Graphical annotation (Графическая аннотация)

**ВВЕДЕНИЕ**

Новые месторождения газа и нефти чаще всего находятся в удалённых, неосвоенных регионах с тяжёлыми природно-климатическими условиями. Строительство объектов на таких месторождениях обычно организуется по кустовому принципу. На начальном этапе проводятся масштабные земляные работы для подготовки площадок, на которых будут размещаться строящиеся объекты, причём значительная часть этих работ приходится на территории вечной мерзлоты.

Основная особенность освоения таких месторождений заключается в их разнообразии: различаются запасы сырья, состав нефти, методы добычи, подготовки к транспортировке и интенсификации производства. Из-за этого невозможно применять стандартные проектные решения – необходимо учитывать уникальные особенности каждого месторождения.

Проектирование и строительство объектов осуществляется на основе инженерных изысканий, которые позволяют исследовать экономические и природные условия участка строительства. Обычно проектные организации имеют в своем составе подразделения, оснащенные специальной техникой, оборудованием и приборами для проведения таких исследований, либо заключают договор с сервисными компаниями. Изыскатели изучают состав грунта на месте будущего строительства, глубину промерзания в холодные периоды, уровень грунтовых вод и их минерализацию, направление и силу ветров и другие параметры [4].

Следующий этап, предшествующий началу проектирования, включает проведение различных согласований и оформление участка под постоянное и временное пользование. Заказчик и проектная организация совместно определяют доступные ресурсы и согласовывают подключение к электрическим, водным и канализационным системам.

Инженерное изыскание начинается с наземной съемки местности.

Как правило, наземная съемка имеет множество недостатков:

- занимает достаточно большое количество времени на дорогу к объекту, а также обработку данных;
- время съемки ограничено, это касается районов вечной мерзлоты, вследствие чего обновление данных становится проблематичной, что сказывается на актуальности информации;
- есть места, куда специалист, не сможет пробраться в силу особенностей ландшафта.

Альтернативой наземной съемки является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) [3]. Применение ДЗЗ поможет сократить время обработки, сэкономить ресурсы, а также предоставить доступ к труднодоступным территориям.

На данный момент для дешифрирования [2] объектов на космических снимках необходим эксперт, который знает отличительные особенности каждого объекта. Помимо этого, необходимо специализированное ПО, которое предоставляет возможность превратить растровые данные со спутника в векторные. К таким программным обеспечениям относят:

- ENVI;
- Esri ArcGIS;
- QGIS и др.

Вышеперечисленные программы не подходят для решения текущей цели по нескольким причинам:

1. Для работы с ними нужен компетентный специалист, который не только умеет пользоваться ПО, но и понимает принцип анализа космоснимков.

2. Отсутствие самостоятельного анализа снимков в программе. То есть специалисту для начала необходимо пометить все объекты на изображении, классифицировать их, после передать программе и в результате получить векторный формат данных. При этом отмеченные данные не используются в дальнейшем анализе других снимков, т. е. они не становятся обучающими данными.

3. Длительность обработки одного космоснимка.

Поэтому в целях оптимизации времени и ресурсов следует использовать технологии нейронных сетей. Но для начала рассмотрим особенности анализа космических снимков.

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Каждый космический снимок состоит из нескольких спектральных каналов [8]. Стандартная комбинация в «естественных цветах» подразумевает размещение каналов R, G, B в соответствующих позициях многоканального растра. Разные типы объектов на космоснимках обладают своими отличительными особенностями. При комбинировании спектральных каналов можно с легкостью распознать такие группы объектов, как леса, реки, болота, лед, почва и т. д.

Подробнее рассмотрим некоторые комбинации каналов.

Канал 1 (B, Coastal/Aerosol) – голубой и фиолетовый. Сильно рассеивается пылью и частицами атмосферы, используется для обнаружения дыма и тумана. Обеспечивает оценку «здоровья» биосферы океана по степени яркости.

Каналы 2, 3, 4 (Blue, Green, Red) – видимые цвета спектра.

Канал 5 (NIR) – невидимый ближний ИК канал. Обеспечивает оценку состояния растительности суши по степени яркости, что обусловлено сильным отражением здоровой растительности.

Каналы 6, 7 (Shortwave Infrared, SWIR-1/2) – инфракрасные каналы. Излучение сильно поглощается водой. Данные используются для различения видов растительности и почвы, облаков, снега и льда.

Канал 8 (PAN, Panchromatic) – панхроматический канал. За счет широкого диапазона (и большего количества энергии) обеспечивает максимальное пространственное разрешение – 15 м/пиксел. Канал 9 (Cirrus) обеспечивает различимость перистых и кучевых облаков.

Каналы 10, 11 (Thermal Infrared, TIR-1/2) – каналы дальнего ИК (теплого) диапазона, дающие информацию о температуре поверхности Земли.

Особой значимостью при ДЗЗ снимков играют спектральные индексы, благодаря которым можно автоматически рассчитать границы объектов. К таким индексам относятся:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – это простой количественный показатель, который оценивает количество фотосинтетически активной биомассы. Этот индекс является одним из наиболее распространённых для измерения растительного покрова. NDVI отображается с использованием стандартизованной шкалы, которая может быть непрерывной или дискретной, с диапазоном значений от –1 до 1 (в процентах) или в масштабированном виде от 0 до 255 (используется в некоторых системах обработки данных дистанционного зондирования). Также используется шкала от 0 до 200 (–100 до 100), где каждое изменение на единицу соответствует 1 % изменения значения индекса. Природные объекты, не связанные с растительностью, имеют фиксированные значения NDVI благодаря особенностям отражения в ближнем инфракрасном (NIR) и красном (RED) диапазонах спектра;

- дешифрирование снежно-ледовых поверхностей заключается в отражательной способности в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра. Для этого используется индекс снега NDSI;

- для водных типов поверхности можно использовать водный индекс. С помощью него можно легко выделять границу воды и суши или затопленные участки территории.

При обустройстве месторождений на территории в первую очередь необходимо проанализировать следующие объекты:

- наличие имеющийся инфраструктуры (дороги, здания, ЛЭП). Нужно понимать, можно ли использовать существующие линии электропередачи и дороги или придется прокладывать с нуля, а также насколько далеко будущие здания и объекты будут располагаться от них;

- рельеф местности (склон территории, горы, овраги, каменистые участки, пески). При обустройстве нужно понимать объем строительных работ по выравниванию поверхности территории, на которой будут строиться объекты, тем самым это поможет выбрать участок, наиболее подготовленный к обустройству, и минимизировать время и ресурсы на подготовку к строительству;

- растительность (леса, кустарники, посевные поля). Точно так же как и с рельефом;

– гидрографическая сеть (реки, озера, болота, водохранилища). Оценка этих объектов на территории поможет составить план проходимости, а также источник ресурса при дальнейшей разработке месторождения.

На основании вышеуказанных причин, а также особенностей дешифрования космоснимков было принято решение разработать собственные методы и алгоритмы по анализу космических снимков.

КРАТКИЙ ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Для задач, связанных с сегментацией объектов [1], чаще всего выделяются следующие нейронные сети: Mask R-CNN и U-Net [6].

Mask R-CNN (или Mask RCNN) [5] – это современная сверточная нейронная сеть (CNN), используемая для решения задач сегментации изображений и сегментации отдельных объектов. Она была разработана на основе Faster R-CNN, региональной нейронной сети, для распознавания объектов. Чтобы понять принцип работы Mask R-CNN, нужно разобраться с сегментацией изображения – процессом, при котором изображение делится на несколько сегментов (групп пикселей, или объектов). Эта сегментация помогает обнаруживать объекты и их границы, такие как линии и контуры.

Mask R-CNN решает два основных типа задач сегментации:

1. **Семантическая сегментация:** в этом подходе каждому пикселю изображения присваивается метка, соответствующая определённому классу объекта, при этом все объекты одного класса обозначаются одинаково (например, все автомобили будут отмечены как один и тот же класс).

2. **Сегментация экземпляров:** этот тип сегментации позволяет не только классифицировать объекты, но и разделять их на отдельные экземпляры, что позволяет выделить каждый объект в пределах одного класса (например, каждую машину на изображении).

Таким образом, Mask R-CNN выполняет не только обнаружение объектов, но и точную сегментацию их границ на уровне отдельных экземпляров, обеспечивая детальное распознавание объектов на изображении.

Общая структурная схема Mask R-CNN основана на Faster R-CNN. В то время как Faster R-CNN имеет два выхода для каждого объекта-кандидата – метку класса и смещение ограничительной рамки, Mask R-CNN добавляет третью ветвь, которая генерирует маску объекта. Этот дополнительный вывод маски отличается от вывода класса и смещения, поскольку требует более детального извлечения пространственной структуры объекта. Mask R-CNN является развитием Faster R-CNN и работает, добавляя ветвь для прогнозирования маски объекта (области интереса) параллельно с существующей ветвью для распознавания ограничительной рамки.

Преимущества Mask R-CNN:

- простота. Mask R-CNN легко обучается;
- производительность. Mask R-CNN превосходит все существующие решения, достигая лучших результатов в каждой задаче;
- эффективность. Этот метод демонстрирует высокую эффективность и добавляет лишь небольшие накладные расходы по сравнению с Faster R-CNN;
- гибкость. Mask R-CNN легко адаптируется для решения других задач.

Архитектура сети Mask R-CNN представлена на рисунке 1.

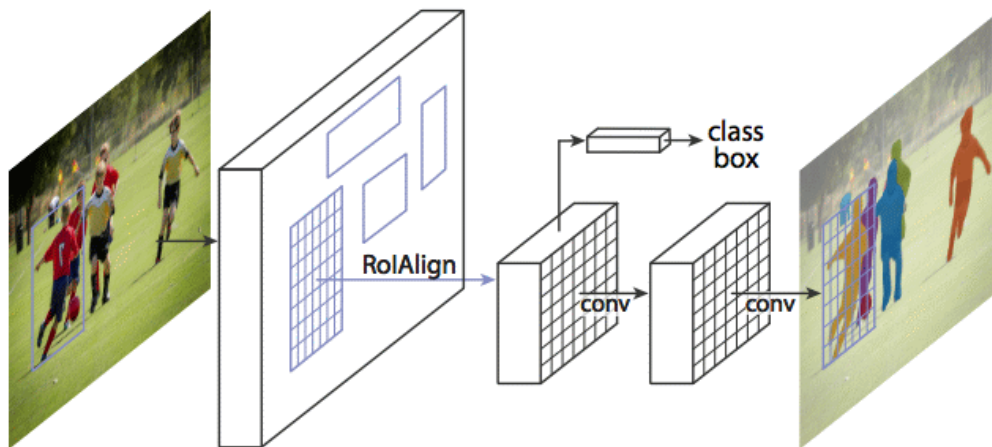


Рисунок 1 – Архитектура сети Mask R-CNN

U-Net [7] считается одной из стандартных архитектур сверточных нейронных сетей (CNN) для задач сегментации изображений, где требуется не только определить общий класс изображения, но и сегментировать его на области по классам, создавая маску, которая делит изображение на несколько классов. Архитектура включает сжимающий путь для захвата контекста и симметричный расширяющийся путь, который обеспечивает точную локализацию.

Сеть обучается сквозным образом на небольшом количестве изображений. U-Net, используя ту же модель, что и для обучения на изображениях световой микроскопии пропускания (фазовый контраст и DIC), заняла первое место в конкурсе ISBI 2015 г. по трекингу клеток, значительно опередив конкурентов. Кроме того, сеть демонстрирует высокую скорость работы: сегментация изображения размером 512×512 происходит менее чем за секунду на современном графическом процессоре. Архитектура сети U-Net представлена на рисунке 2.

Основные характеристики U-Net:

- высокие результаты в различных реальных задачах, особенно в биомедицинских приложениях;
- эффективность при использовании небольшого объема данных для достижения хороших результатов.

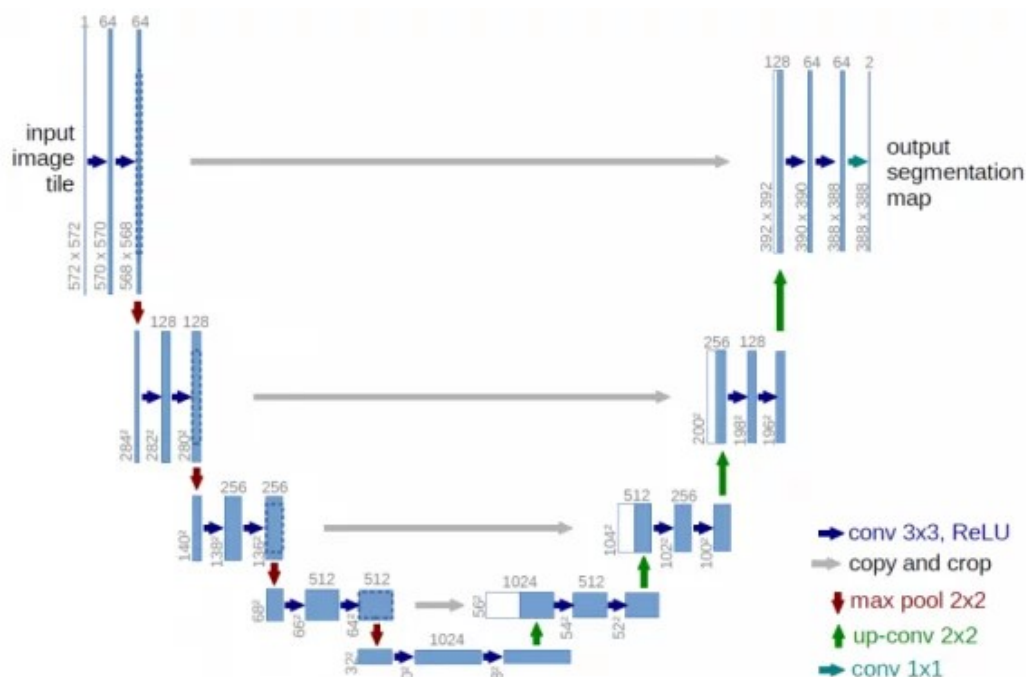


Рисунок 2 – Архитектура сети U-Net

U-Net выделяется эффективным использованием пространственной информации и агрегацией контекста на разных уровнях, что позволяет ему успешно извлекать и интерпретировать признаки на уровне пикселей. Этот аспект делает U-Net подходящим для задач сегментации, где критично учитывать локальные детали и структуры объектов. Mask R-CNN, благодаря своей архитектуре, которая объединяет детекцию и сегментацию объектов, требует более сложного процесса обучения и более длительного времени на конвергенцию. Тем не менее высокий уровень точности Mask R-CNN в сегментации объектов делает его ценным инструментом в задачах, где необходима высокая точность, детализированное разделение объектов и создание ограничивающих полигонов.

Для выбора сверточной нейронной сети были рассмотрены две наиболее распространённые архитектуры глубокого обучения, которые выполняют сегментацию изображений и возвращают маски требуемых объектов. U-Net оказывается менее эффективным, чем Mask R-CNN, при выделении объектов на новых территориях, не входящих в исходную выборку обучающих данных. Однако архитектура U-Net, благодаря своей относительной простоте и скорости обучения, может быть предпочтительной при работе с большими объемами данных и ограниченными вычислительными ресурсами. С другой стороны, Mask R-CNN может быть более подходящим вариантом для задач, требующих точного определения форм зданий и других объектов, поскольку она может предварительно создавать маски объектов перед их сегментацией, что приводит к более точным и детализированным результатам. Поэтому для модуля анализа космических снимков будет использоваться именно эта модель сверточной нейронной сети.

Для точного определения границ объектов согласно вышеописанным классам сегментов необходимо подготовить несколько моделей, так как обучение одной модели для всех классов может дать неточный результат распознавания, что может повлиять на дальнейший результат при выборе местоположения. Возможно, это может привести к некоторой потере информации о взаимодействии объектов, но эту проблему можно решить постобработкой, к примеру, применить разность между полигонами.

Для улучшения распознавания объектов можно использовать спектральные индексы космических снимков, при этом для каждого космоснимка заранее нужно будет добавить слой с таким индексом, посчитанным на специальных каналах. После чего уже обработанное изображение будет подаваться на вход сверточной сети.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Программное обеспечение по выбору оптимального местоположения для зданий в сфере обустройства месторождений будет представлять из себя веб-приложение. Приложение будет иметь клиент-серверную архитектуру, где серверная часть будет состоять из базы данных, разработанной на СУБД PostgreSQL с использованием расширения PostGis, а также Geoserver, который предоставляет векторные данные в WMS формат в виде картинки, чтобы не нагружать модуль карты во время ее отображения. Архитектура решения представлена на рисунке 3.

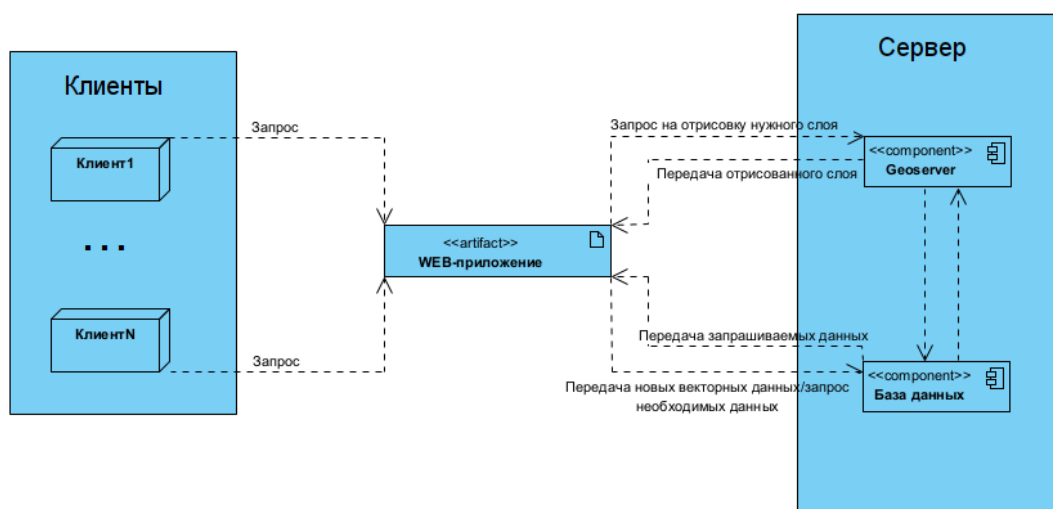


Рисунок 3 – Диаграмма развертывания

Само web-приложение будет состоять из следующих модулей (рис. 4):

- модуль анализа космических снимков;
- модуль построения карты стоимостей;
- модуль выбора оптимального местоположения;
- модуль расчета предварительных затрат.

Модуль анализа космоснимков позволяет распознать географические объекты на изображении и классифицировать их. Результат распознавания будет записан в базу в векторном виде, где после его можно будет переиспользовать в других модулях. Данный модуль будет использовать сверточную нейронную сеть.

Модуль построения карты стоимостей необходим для предварительной оценки выбранной местности, где областям, согласно определенной формуле, будет назначен свой коэффициент, отвечающий за определённый диапазон благоприятной застройки. Коэффициент будет рассчитываться за счёт хранящихся данных в БД, которая будет пополняться результатами анализа космоснимков. В итоге получится тепловая карта.

Модуль оптимального выбора местоположения предоставляет пользователю наиболее благоприятные для строительства участки, выделяя их на карте. Обработка данных из базы будет проходить с помощью генетического алгоритма.

Модуль расчета предварительных затрат к каждому участку, предложенному с помощью предыдущего модуля, будет рассчитывать предварительные капитальные затраты на строительство нового предприятия. Тем самым пользователь сам выберет наиболее подходящий вариант, который в дальнейшем сможет сохранить его и вывести в виде отчета.

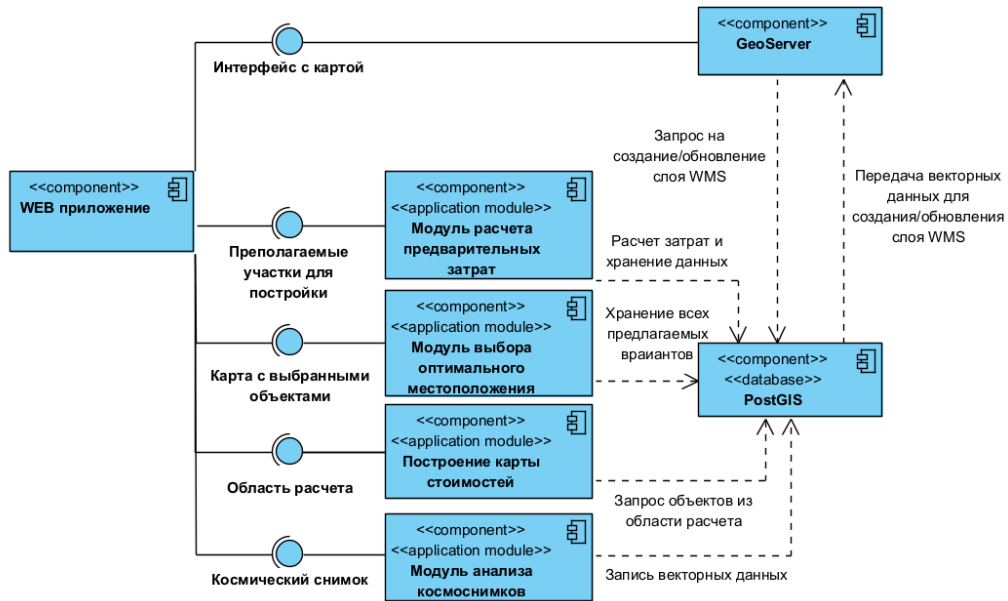


Рисунок 4 – Диаграмма модулей

В рамках решения будет три группы пользователей:

- администратор;
- оператор системы;
- обычный пользователь.

Возможности группы пользователей представлены на UserCase диаграмме (рис. 5).

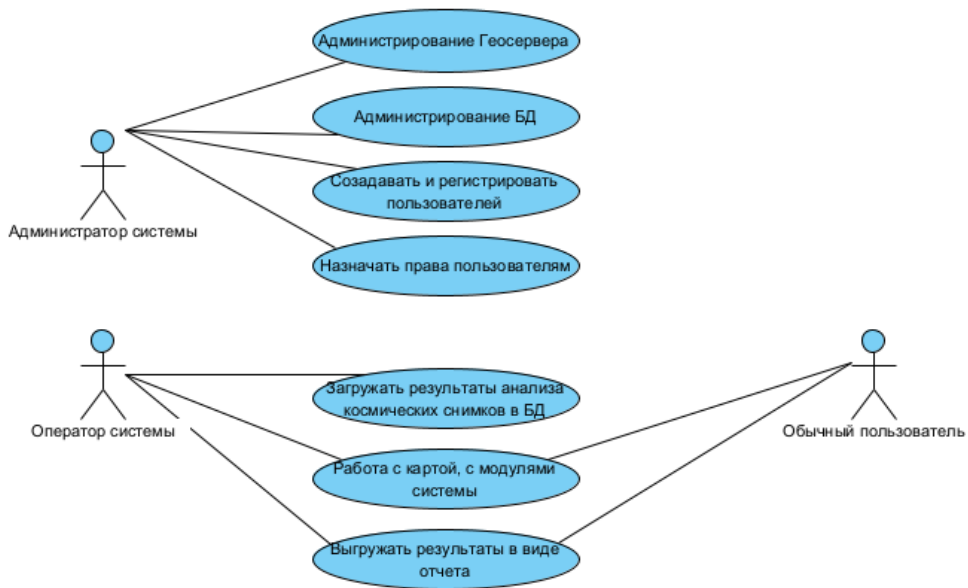


Рисунок 5 – UserCase диаграмма

Пользование системой необязательно начинается с модуля анализа космических снимков или расчета карты стоимостей. Пользователь может сразу перейти к следующему функционалу системы, если в выбранной им области геоданные содержатся в базе данных и при этом они актуальны. Тогда, используя уже имеющуюся информацию, пользователь сможет запустить модуль, определяющий выгодные местоположения с предварительной оценкой капитальных затрат. Алгоритм использования представлен на диаграмме состояний (рис. 6).

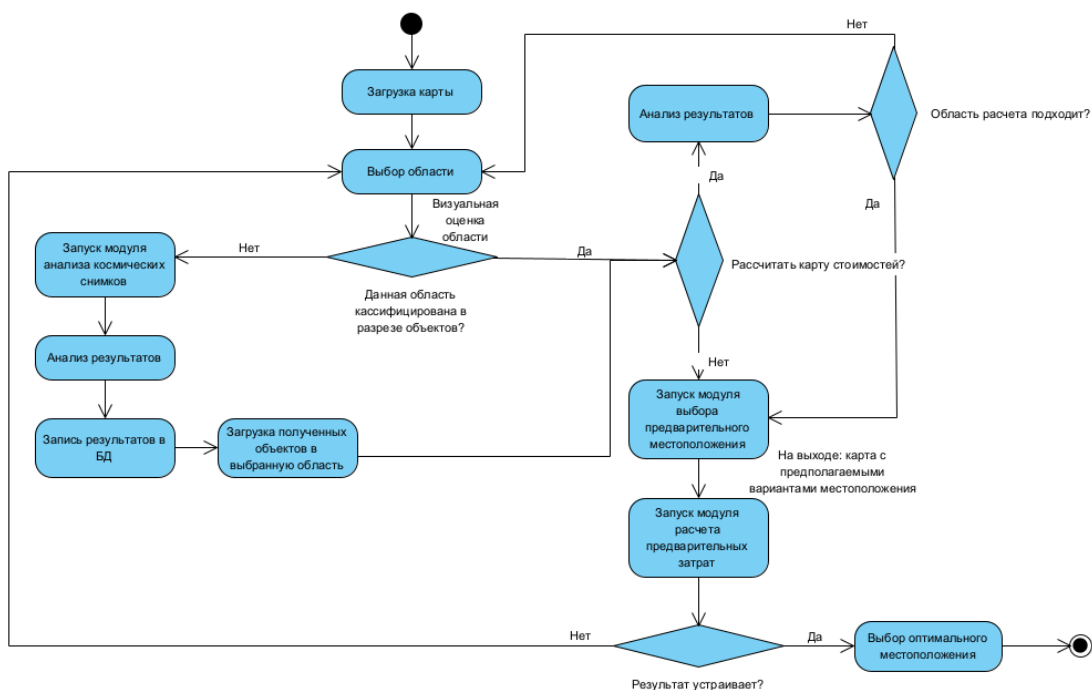


Рисунок 6 – Диаграмма состояний

ОПИСАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ

Веб-приложение будет разработано с использованием языка Python совместно с JupyterLab и Voila. Взаимодействие таких компонентов позволит получить на выходе интерактивное веб-приложение. Общий вид приложения представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Общий вид приложения

Слева представлена панель из модулей ПО, которая состоит из модулей по космоснимкам, по построению карты стоимостей и по выбору оптимального местоположения. Справа представлен виджет карты, через который выведены слои из geoserver, а именно слои болот, рек, леса, дорог и лэп. Слои из geoserver представлены в виде WMS сервиса в формате PNG, при изменении масштаба карты происходит запрос к geoserver, который возвращает измененный вариант картинки.

КАРТЫ СТОИМОСТЕЙ

Рассмотрим подробнее модуль по построению карты стоимостей (рис. 8). Модуль состоит из следующих элементов:

- инструмент по рисованию фигур, расположен непосредственно на виджете карты;
- панель параметров.



Рисунок 8 – Модуль «Карта стоимостей»

Панель параметров представляет из себя набор коэффициентов для каждого слоя, который влияет на значимость тех или иных объектов при строительстве, т. е. если для новой застройки наличие леса является важным моментом, который стоит учитывать, то ему необходимо повысить коэффициент, который в дальнейшем выделить такие участки на тепловой карте. Также панель состоит из параметра, который задает размер гексагона (соты), из которого будет состоять вся карта стоимостей. Чем меньше размер соты, тем детальнее и точнее будет карта. Радиус соты варьируется от 550 метров до 30 метров.

Для запуска модуля сначала необходимо выделить участок на карте (рис. 9).



Рисунок 9 – Область для построения

После того как область была задана, автоматически запускается поиск и обработка данных из представленных слоев на карте. Прогресс загрузки отслеживается на панели инструмента (рис. 10). В моменте загрузки данных модуль отправляет запрос в geoserver на получение данных из слоя через WFS-сервис, который представлен в виде формата GeoJSON. Данный запрос создает

выборку геометрических объектов, которые ограничены заданной областью. После геометрия объектов (болот, водоемов, дорог и т. д.) обрезается согласно созданному полигону. Вследствие чего остаются только те объекты, которые лежат внутри заданного полигона. Далее идет создание буферов для всех объектов слоя дорог и ЛЭП, которые необходимы в расчете тепловой карты. То же самое делается и для слоя болот, леса и рек. По итогу формируется набор буферов, который передается дальше в расчет карты на основе коэффициентов слоя (рис. 10).

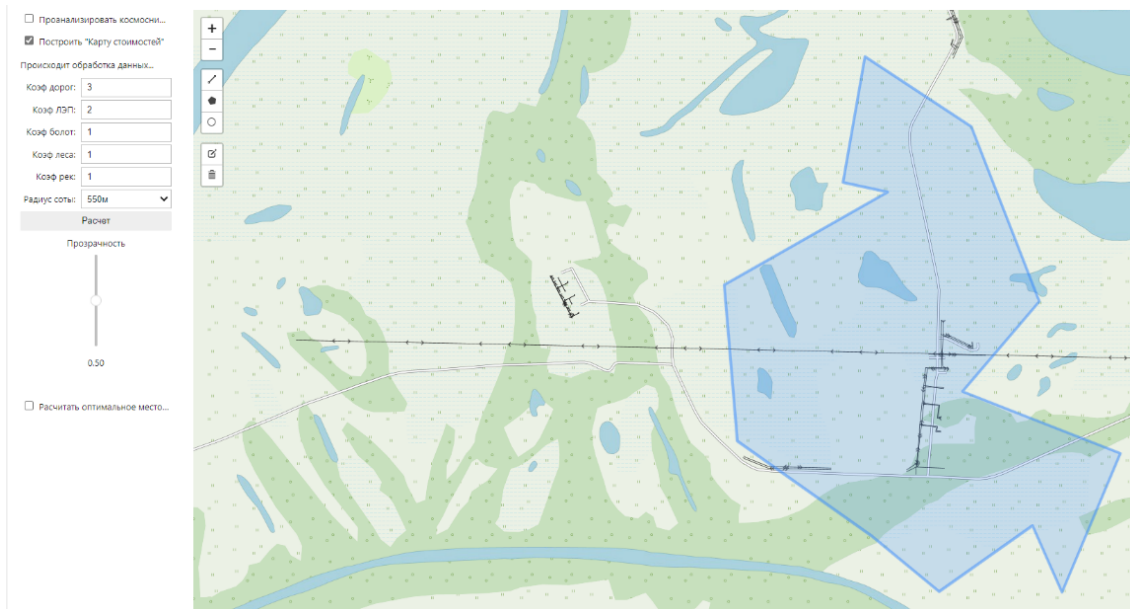


Рисунок 10 – Построение области и запуск выгрузки данных

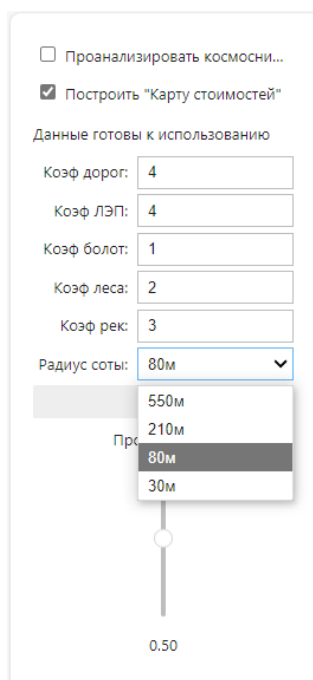


Рисунок 11 – Коэффициенты для карты

Запускаем создание карты, и область расчета наполняется вышеописанными гексагонами и обрзует тепловую карты стоимостей (рис. 12).

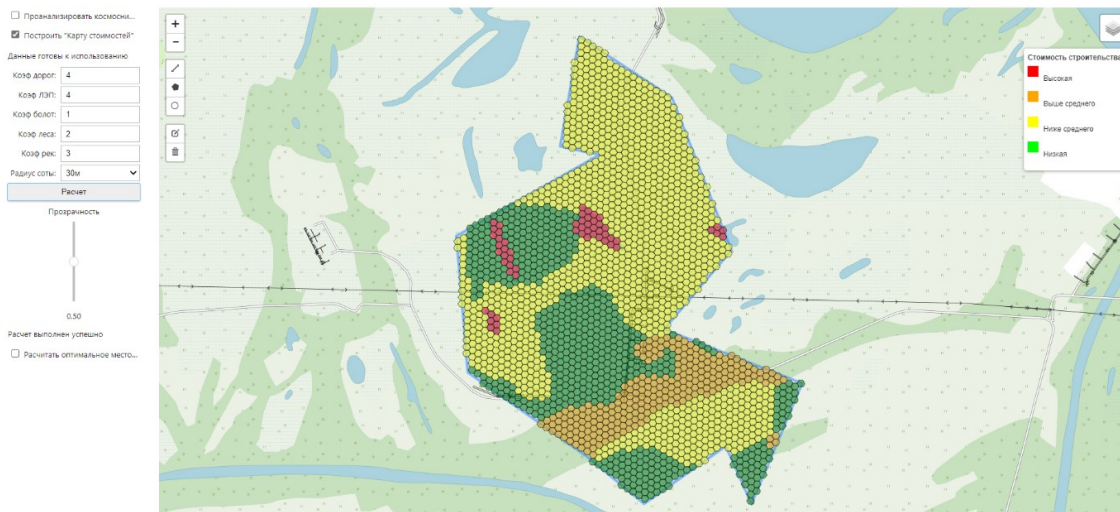


Рисунок 12 – Результат расчета

Справа в углу представлена легенда данной карты, которая показывает градиентную градацию участка на тепловой карте от зеленого к красному, где зеленый цвет указывает на низкую стоимость постройки, а красный – высокую (рис. 13). Таким образом, в результате получаем предварительную оценку выбранной местности, на основе которой пользователь дальше уже решает, стоит ли продолжать рассматривать данный участок и стоит ли запускать модуль по расчету оптимального местоположения.

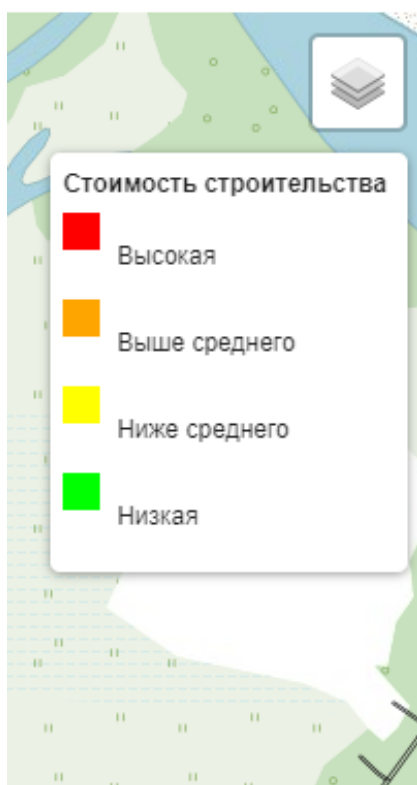


Рисунок 13 – Легенда тепловой карты

У самой карты стоимостей есть параметр настройки ее прозрачности. Ее можно полностью выделить на общей карте, либо полностью скрыть, либо оставить ее так, что можно видеть объекты исходной топографии и саму тепловую карту (рис. 14).

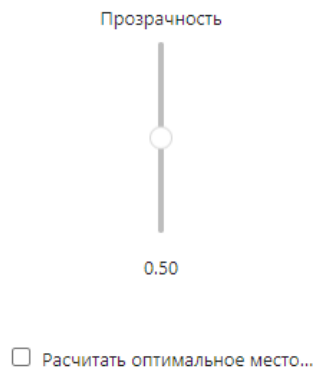


Рисунок 14 – Прозрачность карты стоимостей

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенное программное обеспечение будет закрывать все вышеописанные проблемы при концептуальном проектировании новых построек зданий и сооружений, экономя при этом время и ресурсы. Наличие анализа космических снимков, а также пространственного анализа местности поможет в короткий срок получить предварительную оценку выбранной территории, на основе которой можно будет понять, подходит ли данный участок для новой застройки или стоит выбрать другую. Следующим шагом в развитии ПО будет создание модуля «Анализ космоснимков».

Список источников

1. Блохинов, Ю. Б. Разработка алгоритма семантической сегментации аэрофотоснимков реального времени / Ю. Б. Блохинов, В. А. Горбачев, Ю. О. Ракутин, А. Д. Никитин // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 1. – С. 141–148. – DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-1-141-148.
2. Бондур, В. Г. Современные подходы к обработке гиперспектральных аэрокосмических изображений / В. Г. Бондур // Материалы научно-технической конференции «Гиперспектральные приборы и технологии». 17–18 января 2013. – Красногорск. – 2013. – С. 14–18.
3. Замшин, В. В. Методы определения линейной разрешающей способности оптических и радиолокационных аэрокосмических изображений / В. В. Замшин // Известия ВУЗов. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 43–51.
4. Захарова, А. С. Обустройство месторождений нефтегазовой промышленности и их инфраструктура / А. С. Захарова // ИВД. – 2020. – № 11 (71). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obustroystvo-mestorozhdeniy-neftegazovoy-promyshlennosti-i-ih-infrastruktura> (дата обращения: 09.11.2024).
5. Бычков, И. В. Классификация космоснимков Sentinel-2 Байкальской природной территории / И. В. Бычков, Г. М. Ружников, Р. К. Федоров, А. К. Попова, Ю. В. Авраменко // КО. – 2022. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-kosmosnimkov-sentinel-2-baykalskoy-prirodnoy-territorii> (дата обращения: 05.02.2024).
6. Сикорский, О. С. Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений / О. С. Сикорский // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2017. – № 20. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-svyortochnyh-neyronnyh-setey-dlya-zadachi-klassifikatsii-izobrazheniy> (дата обращения: 09.11.2024).
7. Соловьев, Р. А. Автоматическая сегментация спутниковых снимков на базе модифицированной свёрточной нейронной сети UNET / Р. А. Соловьев, Д. В. Тельпухов, А. Г. Кустов // ИВД. – 2017. – № 4 (47). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomaticheskaya-segmentatsiya-sputnikovyh-snimkov-na-baze-modifitsirovannoy-svyortochnoy-neyronnoy-seti-unet> (дата обращения: 09.11.2024).
8. Шихов, А. Н. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения : учеб. пос. / А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Пономарчук, Е. С. Перминова. – Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. – 191 с. – URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnieposobiya/shikhovgerasimovponachuk-perminovatematicheskodeshifirovanie-i-interpretacykosmicheskikh-snimkov.pdf>.

References

1. Blokhinov, Yu. B., Gorbachev, V. A., Rakutin, Yu. O., Nikitin, A. D. Development of an algorithm for semantic segmentation of real-time aerial photographs. *Computer Optics*, 2018, vol. 42, no. 1, pp. 141–148. – DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-1-141-148 (In Russ.).
2. Bondur, V. G. Modern approaches to processing hyperspectral aerospace images. *Hyperspectral devices and technologies : proceedings of the scientific and technical conference. January 17–18, 2013. Krasnogorsk, 2013*, pp. 14–18 (In Russ.).
3. Zamshin, V. V. Methods for determining the linear resolution of optical and radar aerospace images. *Izvestiya VUZov. Geodesy and Aerial Photography*, 2014, no. 1, pp. 43–51 (In Russ.).

4. Zakharova, A. S. Development of oil and gas industry fields and their infrastructure. *IVD*, 2020, no. 11 (71). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/obustroystvo-mestorozhdeniy-neftegazovoy-promyshlennosti-i-ih-infrastruktura> (accessed 09.11.2024) (In Russ.).

5. Bychkov, I. V., Ruzhnikov, G. M., Fedorov, R. K., Popova, A. K., Avramenko, Yu. V. Classification of Sentinel-2 satellite images of the Baikal natural territory. *KO*, 2022, no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-kosmosnimkov-sentinel-2-baykalskoy-prirodnoy-territorii> (accessed 05.02.2024) (In Russ.).

6. Sikorsky, O. S. Review of convolutional neural networks for image classification tasks. *New Information Technologies in Automated Systems*, 2017, no .20. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-svyortochnyh-neyronnyh-setey-dlya-zadachi-klassifikatsii-izobrazheniy> (accessed 09.11.2024) (In Russ.).

7. Soloviev, R. A., Telpukhov, D. V., Kustov, A. G. Automatic segmentation of satellite images based on the modified convolutional neural network UNET. *IVD*, 2017, no. 4 (47). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomaticheskaya-segmentatsiya-sputnikovyh-snimkov-na-baze-modifitsirovannoy-svyortochnoy-neyronnoy-seti-unet> (accessed 09.11.2024) (In Russ.).

8. Shikhov, A. N., Gerasimov, A. P., Ponarchuk, A. I., Perminova, E. S. *Thematic decoding and interpretation of satellite images of medium and high spatial resolution : textbook*. Perm, Perm State National Research University 2020. 191 p. Available at: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnieposobiya/shikhovgerasimovponachuk-perminova-tematicheskoe-deshifirovanie-i-interpretatsiykosmicheskikh-snimkov.pdf> (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 13.01.2025; одобрена после рецензирования 01.02.2025; принята к публикации 24.02.2025.

The article was submitted 13.01.2025; approved after reviewing 01.02.2025; accepted for publication 24.02.2025.

УДК 519.7

МОДУЛЬ КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СКРИНИНГА РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ НА ОСНОВЕ ФАКТОРОВ РИСКА И ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Дёмин Кирилл Сергеевич, Волгоградский государственный университет, 400062, Российская Федерация, г. Волгоград, просп. Университетский, 100,
аспирант, ORCID: 0009-0002-4571-3437, e-mail: diominkirill@yandex.ru

В статье описывается модуль классификации для информационной системы, основанный на методах машинного обучения, применяемых для скрининга рака молочной железы. Для построения классификатора использовались данные, полученные с помощью микроволновой радиотермометрии, а также медицинские карты пациентов. В наборе данных отражены температурные параметры молочных желез, измеренные в микроволновом и инфракрасном диапазонах, а также ключевые факторы риска, включая возраст, количество беременностей, гормональные изменения, наличие родов и др. Цель исследования заключается в создании модуля идентификации риска рака молочной железы для информационной системы скрининга пациентов по данным радиотермометрии и факторов риска. Рассмотрены несколько алгоритмов машинного обучения, среди которых логистическая регрессия, метод опорных векторов и экстремальный градиентный бустинг. Рассмотрены два набора данных: один – с использованием информации о факторах риска, другой – только температурные показатели. Особое внимание уделяется тому, как добавление факторов риска влияет на точность, чувствительность и специфичность моделей. В ходе исследования установлено, что включение факторов риска в модели машинного обучения существенно улучшает их способность прогнозировать наличие рака молочной железы, снижая количество ложноположительных и ложноотрицательных диагнозов. Наиболее эффективным из трех классификаторов оказалась модель на основе логистической регрессии с чувствительностью 70 % и специфичностью в 72 %. Использование комплексного подхода к анализу данных позволяет повысить эффективность скрининга и способствует более раннему выявлению заболевания, что важно для повышения выживаемости среди пациентов.

Ключевые слова: рак молочной железы, информационные системы, машинное обучение, скрининг, микроволновая радиотермометрия, факторы риска

CLASSIFIER MODULE FOR BREAST CANCER SCREENING INFORMATION SYSTEM BASED ON RISK FACTORS AND THERMOMETRIC DATA

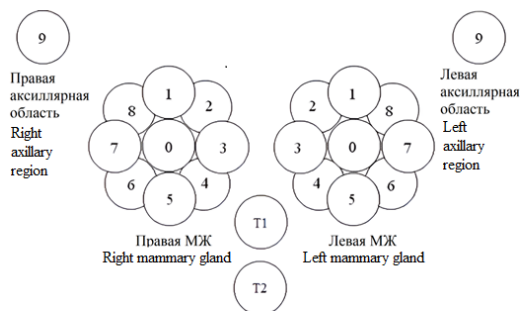
Dyomin Kirill S., Volgograd State University, 100 Prospect Universitetsky, Volgograd, 400062, Russian Federation,
graduate student, ORCID: 0009-0002-4571-3437, e-mail: diominkirill@yandex.ru

The article describes a classification module for an information system based on machine learning methods used for breast cancer screening. To build the classifier, data obtained using microwave radiothermometry, as well as medical records of patients, were used. The dataset reflects the temperature parameters of the mammary glands measured in the microwave and infrared ranges, as well as key risk factors, including age, number of pregnancies, hormonal changes, the presence of childbirth, etc. The purpose of this study is to create a breast cancer risk identification module for an information system for screening patients according to radio-thermometry and risk factors. Several machine learning algorithms are considered, including logistic regression, the support vector machine method and extreme gradient boosting. Two sets of data are considered: one using information on risk factors, the other using only temperature indicators. Particular attention is paid to how the addition of risk factors affects the accuracy, sensitivity and specificity of models. The study found that the inclusion of risk factors in machine learning models significantly improves their ability to predict the presence of breast cancer, reducing the number of false positive and false negative diagnoses. The most effective of the three classifiers turned out to be a logistic regression model with a sensitivity of 70 % and a specificity of 72 %. The use of an integrated approach to data analysis makes it possible to increase the effectiveness of screening and promotes earlier detection of the disease, which is important for improving survival among patients.

Keywords: breast cancer, information systems, machine learning, screening, microwave radiothermometry, risk factors

Graphical annotation (Графическая аннотация)

Исходные данные



Показатель <i>Indicator</i>	Ед. измерения <i>Unit of measurement</i>
Возраст	лет
Диаметр молочной железы	см.
Индекс массы тела	О.х. – очень худая; Х. – худая; Н. – нормальная; П. – полная; О.п. – очень полная.
Продолжительность цикла	дней
День цикла	число
Гормональная зависимость	да/нет
Жалобы на боли в груди	да/нет
Количество беременностей	шт.
Количество рожденных детей	шт.
Возраст на момент 1-х родов	лет
1-я беременность закончилась родами	да/нет
Наличие операции на молочной железе	да/нет

Initial data

Оценка эффективности

Модуль классификатора
 $P(y = 1 | X) = \sigma(X \cdot w + b)$
 Classifier Module

	Логистическая регрессия <i>Logistic regression</i>
Специфичность	74%
Чувствительность	70%
Эффективность	72%

Efficiency assessment

ВВЕДЕНИЕ

По данным Московского научно-исследовательского онкологического института имени П. А. Герцена, в России рак молочной железы является одним из наиболее распространенных злокачественных новообразований [1]. Среди всех онкологических заболеваний более 19 % приходится на пациентов со злокачественными новообразованиями молочной железы, и за период 2013–2023 гг. численность заболевших только увеличивается.

Компьютерные технологии стремительно развиваются, проникая во все сферы жизни, и медицина не стала исключением. Современные информационные системы с применением технологий машинного обучения помогают врачам анализировать изображения, обрабатывать медицинские данные и даже предлагать оптимальные варианты лечения. Ниже представлены некоторые из наиболее передовых информационных систем.

В работе Скота Майера и др. была разработана информационная система на основе машинного обучения для классификации рака молочной железы по снимкам маммографии [2]. Набор данных состоял из 28 953 скрининговых маммограмм, собранных в Великобритании и США. Информационная система состояла из трёх моделей глубокого обучения, результатом которой являлось среднее значение прогнозов этих моделей. Система позволила снизить количество ложных срабатываний на 5,7 % для пациентов из США и 1,2 % для пациентов из Великобритании и количество ложноотрицательных результатов – на 9,4 % и 2,7 % – для пациентов из США и Великобритании соответственно.

Факторы риска оказывают заметное воздействие на гормональный баланс женщин [3]. Это, в свою очередь, может способствовать развитию рака молочной железы. Также привычки, такие как курение и алкоголь, в комбинации с такими состояниями, как ожирение и сахарный диабет, способны увеличивать предрасположенность к этому заболеванию [4]. Существует много работ, где внедрение моделей на основе методов машинного обучения с использованием данных о факторах риска помогает обнаруживать рак молочной железы [5].

Так, например, в работе Джиджи Ф. Старка и др. используются факторы риска развития рака молочной железы и различные персональные медицинские данные в качестве входных параметров модели машинного обучения для прогнозирования риска развития рака молочной железы в течение пяти лет [6]. В качестве набора данных взят набор данных, содержащий 64 739 здоровых пациентов и 1343 пациента с раком молочной железы. Лучший результат показала модель на основе логистической регрессии со значением кривой ошибок (ROC-AUC), равной 0,61.

В работе Д. Р. Рустянова и др. использовались похожие факторы риска в качестве параметров модели машинного обучения на основе экстремального градиентного бустинга (XGBoost) [7]. Использован набор данных, содержащий 14 055 записей пациенток, имеющих рак молочной железы. Разработанная модель показала точность в предсказании возникновения рака молочной железы – 0,93 и специфичность – 0,98.

В других исследованиях в качестве основных данных использовались, например, маммограммы, а факторы риска использовались как дополняющий набор. Так, в работе Аксельрод-Баллин, Айелет и др. [8] для прогнозирования рака молочной железы применили глубокое обучение, и модель была обучена на 9611 маммограммах и медицинских картах женщин. Разработанная модель показала результат кривой ошибок (ROC-AUC), равной 0,61.

Цель исследования – создание модуля идентификации риска рака молочной железы для информационной системы скрининга пациентов по данным радиотермометрии и факторов риска. Для достижения поставленной цели необходимо проанализировать имеющийся набор данных, выделить наиболее эффективные факторы риска развития рака молочной железы, спроектировать классификатор на основе методов машинного обучения и проанализировать полученную модель.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании используются данные обследований, выполненных с использованием микроволновой радиотермометрии, предоставленные различными медицинскими учреждениями. Измерения при помощи микроволновой радиотермометрии проводятся в 10 точках на каждой молочной железе, включая аксиллярную область. Схема измерений представлена на рисунке 1.

В набор данных записываются измерения внутренних и поверхностных температур молочных желез, соответственно, в микроволновом и инфракрасном диапазоне.



Рисунок 1 – Схема измерений при помощи микроволновой радиотермометрии

Кроме температурных показателей в наборе данных также записывается информация из медицинских карт о пациенте, а также диагноз по каждой молочной железе. Набор данных из медицинских карт представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Набор данных из медицинских карт

Показатель	Ед. измерения
Возраст	лет
Диаметр молочной железы	см
Индекс массы тела	О.х. – очень худая; Х. – худая; Н. – нормальная; П. – полная; О.п. – очень полная
Продолжительность цикла	дней
День цикла	число
Гормональная зависимость	да/нет
Жалобы на боли в груди	да/нет
Количество беременностей	шт.
Количество рожденных детей	шт.
Возраст на момент 1-х родов	лет
1-я беременность закончилась родами	да/нет
Наличие операции на молочной железе	да/нет

Таким образом, набор данных содержит 6894 записи о здоровых молочных железах и 312 молочных желез, имеющих опухоль, 29 из которых имеют рак, подтвержденный другими исследованиями, у 15-ти имеется подозрение на злокачественность и 268 молочных желез имеют доброкачественное образование.

Для того чтобы имеющийся набор данных можно использовать в качестве обучающего, для построения классификатора опухолей необходимо его предварительно обработать – выделить температурные признаки и наиболее значимые факторы риска из медицинских карт.

В работе В. В. Левшинского разработаны признаки на основе показателей и дескриптивной модели, полученных при помощи микроволновой радиотермометрии [9]. Пример таких признаков представлен в таблице 2. В таблице 2 норма задается по формуле (1):

$$\|x\|_1 = \sum_{i=1}^n |x_i|, x = (x_1, \dots, x_n). \tag{1}$$

Таблица 2 – Пример температурных признаков [9]

Признак	Математическое описание признака	Описание
MG001	$\ T_l^{i,mw} - T_r^{i,mw}\ _1$	Меры разброса внутренних температур правой $T_r^{i,mw}$ и левой $T_l^{i,mw}$ желез
MG005	$s(T_l^{i,mw}) - s(T_r^{i,mw})$	Разность стандартных отклонений внутренних температур правой $T_r^{i,mw}$ и левой $T_l^{i,mw}$ желез
MG006	$\overline{T_l^{i,mw}} - \overline{T_r^{i,mw}}$	Разность средних значений внутренних температур правой $T_r^{i,mw}$ и левой $T_l^{i,mw}$ желез
MG008	$T_{0,l}^{i,mw} - T_{0,r}^{i,mw}$	Разность внутренних температур сосков правой $T_{0,r}^{i,mw}$ и левой $T_{0,l}^{i,mw}$ желез
MG010	$\ T_l^{i,p} - T_r^{i,p}\ _1$	Меры разброса поверхностных температур правой $T_r^{i,p}$ и левой $T_l^{i,p}$ желез

Из описанной выше работы были взяты 62 признака и рассчитаны для имеющегося набора данных.

Для определения наиболее значимых факторов риска, которые можно использовать в качестве входных данных, целесообразно проанализировать используемые врачами модели диагностики рака молочной железы. На основе этого анализа можно выделить данные, которые соответствуют ключевым признакам, которые медики используют при постановке диагноза.

После анализа различных моделей как наиболее эффективные и имеющие доказательную базу были выделены: модель Гейла [10], модель Клауса [11] и модель IBIS, также известная как модель Тирера – Кузика [12]. Эти модели позволяют вычислить риск развития инвазивной формы рака молочной железы у женщин в течение 5–10 лет, а также на протяжении всей жизни. В таблице 3 представлено распределение признаков из моделей с имеющимся набором нетермометрических данных.

Таблица 3 – Распределение признаков по моделям

Показатель	Признак из модели
Возраст	Гейла, Клауса, IBIS
Диаметр молочной железы	IBIS
Индекс массы тела	IBIS
Продолжительность цикла	–
День цикла	–
Гормональная зависимость	Клауса, IBIS
Жалобы на боли в груди	Гейла, IBIS
Количество беременностей	Гейла, IBIS
Количество рожденных детей	Гейла, IBIS
Возраст на момент 1-х родов	Гейла, IBIS
1-я беременность закончилась родами	Гейла, IBIS
Наличие операции на молочной железе	Гейла, IBIS

На основе проведенного анализа различных моделей для оценки факторов риска при скрининге рака молочной железы были выбраны параметры, указанные в таблице 3. Кроме того, в исследовании использовались 62 признака радиотермометрии (табл. 2). Основой для машинного обучения служит набор данных из признаков радиотермометрии, в который будет добавляться фактор риска.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ КЛАССИФИКАТОРА

В информационной системе для скрининга рака молочной железы основная цель – это раннее выявление риска заболевания, что позволяет повысить шансы на успешное лечение и снизить смертность. Одним из ключевых компонентов данной системы является модуль классификатора, который оценивает вероятность развития рака молочной железы на основе данных о факторах риска и термометрических показателях. На рисунке 2 показана схема информационной системы.



Рисунок 2 – Схема информационной системы для раннего выявления риска развития рака молочной железы

Для создания подобного классификатора, потребуется провести классификацию всех записей в наборе данных с помощью алгоритма машинного обучения. В качестве такового был поочередно выбран метод опорных векторов, логистическая регрессия и экстремальный градиентный бустинг (XGBoost). Ввиду того, что наилучший результат показала модель классификатора на основе логистической регрессии, далее более подробно будет рассмотрена только эта модель.

Логистическая регрессия – это линейная модель, которая предсказывает вероятность принадлежности наблюдения к классу на основе линейной комбинации входных признаков. Модель задается формулой (2):

$$P(y = 1|X) = \sigma(X \cdot w + b), \quad (2)$$

где X – матрица признаков для всех примеров;

w – коэффициенты весов, которые определяются в процессе обучения;

b – смещение или свободный член модели;

$$z = X \cdot w + b;$$

$\sigma(z) = \begin{pmatrix} \frac{1}{1+e^{-z_1}} \\ \dots \\ \frac{1}{1+e^{-z_n}} \end{pmatrix}$ – логистическая функция (сигмоида), которая преобразует линейную комбинацию признаков в значение вероятности в интервале (0, 1).

Цель модели – определить такие значения w и b , которые минимизируют функцию потерь, определяемую в виде логарифмической функции правдоподобия.

Цель модели – определить такие значения w и b , которые минимизируют функцию потерь, определяемую в виде логарифмической функции правдоподобия.

Веса для каждого класса устанавливаются пропорционально его частоте, чтобы уравновесить влияние классов. Таким образом, вес w_j для класса j задается формулой (3):

$$w_j = \frac{s}{k * n_j}, \quad (3)$$

где n_i – частота появления класса i в наборе данных;

s – количество примеров;

k – количество классов.

Для обучения модели минимизируется функция потерь, также известная как кросс-энтропия, которая задается формулой (4):

$$L(w, b) = -\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [y_j \log(\sigma(wx_j + b)) + (1 - y_j) \log(1 - \sigma(wx_j + b))]. \quad (4)$$

Чтобы избежать переобучения и улучшить интерпретацию, используется L1-регуляризация.

Суть L1-регуляризации, или Lasso-регуляризации, заключается в следующем. При L1-регуляризации добавляют к функции потерь член, пропорциональный сумме абсолютных значений весов, которая задается формулой (5):

$$L(w, b) + \lambda \sum_{j=1}^d |w_j|, \tag{5}$$

где λ – коэффициент регуляризации;

w_j – вес признака.

Для оптимизации функции потерь используется стохастический градиентный метод SAGA [13].

Для оценки погрешности модели классификатора было принято решение использовать метод кросс-валидации со случайным разбиением на 10 примерно равных частей. Данные преобразованы и масштабированы для соответствия нормальному распределению с нулевым средним значением и единичной дисперсией, что обеспечило их приведение к стандартизированному виду.

Исследование проводилось в три этапа.

1. Обучение модели классификатора без учета факторов риска.
2. Обучение модели классификатора с учетом факторов риска.
3. Сравнительный анализ полученных моделей классификатора.

Обучение моделей классификатора происходило при помощи языка программирования Python с использованием библиотеки Sklearn. На первом этапе классифицируются примеры из набора данных без учета факторов риска, учитывая только температурные признаки. Для меры оценки качества обученных моделей использовались такие метрики, как специфичность, чувствительность и эффективность, где специфичность – это доля истинно отрицательных примеров, которые алгоритм правильно классифицировал (здоровый пациент), чувствительность – это доля истинно положительных примеров, которые алгоритм правильно классифицировал (наличие опухоли) и эффективность – это доля правильно классифицированных примеров, которая задается формулой (6):

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} * 100\%, \tag{6}$$

где TP – истинно положительные примеры;

TN – истинно отрицательные примеры;

FP – ложноположительные отрицательные примеры;

FN – ложноотрицательные положительные примеры.

Метод опорных векторов и экстремальный градиентный бустинг показали низкие значения чувствительности: 39 % и 15 % соответственно, однако достаточно высокие значения специфичности: 84 % и 95 %.

Наиболее высокий показатель чувствительности оказался у логистической регрессии – более 65 %, хотя и с меньшим значением специфичности – 71 %.

Следующим этапом исследования стало включение факторов риска в качестве входных данных для описанных выше моделей. Для модели на основе экстремального градиентного бустинга значительно повысилась чувствительность до 33 %, при этом не произошло изменений специфичности – 95 %. Тем не менее модель не достигла необходимой эффективности.

Метод опорных векторов и логистическая регрессия показали более низкий прирост чувствительности: 70 % и 41 % соответственно по сравнению с моделью на основе экстремального градиентного бустинга, однако при этом также повысилась специфичность – 74 % и 89 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Таким образом, можно оценить, что добавление факторов риска к моделям машинного обучения позволяет повысить точность классификатора и снизить ложноположительные результаты. В таблице 4 продемонстрировано сравнение показателей классификации до и после добавления факторов риска.

Таблица 4 – Сравнение показателей классификации до и после добавления факторов риска

	Метод опорных векторов	Экстремальный градиентный бустинг	Логистическая регрессия
Специфичность (до)	84 %	95 %	71 %
Специфичность (после)	89 %	95 %	74 %
Чувствительность (до)	39 %	15 %	65 %
Чувствительность (после)	41 %	33 %	70 %
Эффективность (до)	57 %	36 %	67 %
Эффективность (после)	60 %	55 %	72 %

Исходя из таблицы 4, можно сделать вывод, что добавление факторов риска к моделям машинного обучения позволило повысить значения всех показателей, за исключением специфичности для экстремального градиентного бустинга, в котором показатель был на довольно высоком уровне. Поэтому принято решения использовать в качестве основной модели для модуля классификатора модель на основе логистической регрессии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования подтверждают значимость комплексного анализа факторов риска в моделях машинного обучения, применяемых для скрининга рака молочной железы. Включение таких факторов, как гормональные изменения, метаболические состояния (ожирение и т. д.), и данные из медицинских карт повышают точность прогнозирования. Сравнение моделей с и без включения этих факторов продемонстрировало улучшение чувствительности и специфичности, что подтверждает необходимость их учета в будущем для оптимизации алгоритмов диагностики. Хотя не все факторы риска из моделей диагностики были учтены в связи с ограниченностью набора данных, в конечном итоге это может способствовать более раннему выявлению заболевания и, как следствие, увеличению выживаемости среди пациентов. Разработанный модуль классификатора показал специфичность, равную 74 %, чувствительность – 70 % и эффективность – 72 %.

Список источников

1. Проект клинических рекомендаций. Рак молочной железы. – URL: https://oncology-association.ru/wp-content/uploads/2023/06/final_kr-rmzh-2023-13.06.2023.docx (дата обращения: 27.09.2024).
2. McKinney, S. M. International evaluation of an AI system for breast cancer screening / S. M. McKinney, M. Sieniek, V. Godbole et al. // *Nature*. – 2020. – № 577. – P. 89–94. – DOI: 10.1038/s41586-019-1799-6.
3. Высоцкая, И. В. Эндокринно-чувствительные опухоли репродуктивной системы: руководство для врачей / И. В. Высоцкая. – Москва : Спец. изд-во мед. кн. (СИМК), 2014. – 126 p.
4. Cancer Prevention & Early Detection. Facts & Figures. – 2023–2024. – URL: <https://www.cancer.org/content/dam/cancer-org/research/cancer-facts-and-statistics/cancer-prevention-and-early-detection-facts-and-figures/2024-cped-files/cped-2024-cff.pdf> (дата обращения: 27.09.2024).
5. Дёмин, К. С. Использование методов машинного обучения при диагностике рака молочной железы / К. С. Дёмин, И. В. Гермашев // *Digital Diagnostics*. – 2024. – Vol. 5, № 3. – DOI: 10.17816/DD625866.
6. Islam, Md. Machine Learning Models of Breast Cancer Risk Prediction / Md. Islam & Tahmina Poly. – 2019. – DOI: 10.1101/723304.
7. Рустянова, Д. Р. Возможности искусственного интеллекта в предсказании возникновения рака молочной железы / Д. Р. Рустянова, // Отзовские чтения : тезисы IV Общероссийской научно-практической конференции акушеров-гинекологов, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2022 года. – Москва : Редакция журнала StatusPraesens, 2022. С. 49.
8. Akselrod-Ballin, Ayelet. Predicting Breast Cancer by Applying Deep Learning to Linked Health Records and Mammograms / Akselrod-Ballin Ayelet et al. // *Radiology*. – 2019. – Vol. 292, № 2. – P. 331–342. – DOI: 10.1148/radiol.2019182622.
9. Levshinskii, V. V. Mathematical models for analyzing and interpreting microwave radiometry data in medical diagnosis / V. V. Levshinskii // *Journal of Computational and Engineering Mathematics*. – 2021. – Vol. 8, № 1. – P. 3–14. – DOI: 10.14529/jcem210101.
10. Gail, M. H. Projecting individualized probabilities of developing breast cancer for white females who are being examined annually / M. H. Gail, L. A. Brinton, D. P. Byar, et al. // *J. Natl. Cancer Inst.* – 1989. – № 81 (24). – P. 1879–1886. – DOI: 10.1093/jnci/81.24.1879.
11. Claus, E. B. Autosomal dominant inheritance of early-onset breast cancer. Implications for risk prediction / E. B. Claus, N. Risch, & W. D. Thompson // *Cancer*. – 1994. – № 73 (3). – P. 643–651. – DOI: 10.1002/1097-0142(19940201)73:3<643::aid-cnrcr2820730323>3.0.co;2-5.
12. Tyrer, J. A breast cancer prediction model incorporating familial and personal risk factors / J. Tyrer, S. W. Duffy, & J. Cuzick // *Statistics in medicine*. – 2004. – № 23 (7). – P. 1111–1130. – DOI: 10.1002/sim.1668.
13. Defazio, Aaron. SAGA: A Fast Incremental Gradient Method with Support for Non-Strongly Convex Composite Objectives / Defazio Aaron, Bach Francis & Lacoste-Julien Simon // *Advances in Neural Information Processing Systems*. – 2014.

References

1. *Draft clinical recommendations. Breast cancer*. Available at: https://oncology-association.ru/wp-content/uploads/2023/06/final_kr-rmzh-2023-13.06.2023.docx (accessed 27.09.2024) (In Russ).
2. *Clinical recommendations. Breast cancer*. Available at: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/379_4#doc_a1 (accessed 27.09.2024) (In Russ).
3. Vysotskaya, I. V. *Endocrine-sensitive tumors of the reproductive system: a guide for doctors*. Moscow, SIMK, 2014. 126 p. (In Russ).
4. *Cancer Prevention & Early Detection. Facts & Figures*. 2023–2024. Available at: <https://www.cancer.org/content/dam/cancer-org/research/cancer-facts-and-statistics/cancer-prevention-and-early-detection-facts-and-figures/2024-cped-files/cped-2024-cff.pdf> (accessed 27.09.2024).
5. Dyomin, K., & Germashev, Y. *Using Machine Learning Methods for Breast Cancer Diagnosis. Digital Diagnostics*, 2024, no. 5 (3). DOI: 10.17816/DD625866 (In Russ).

6. Islam, Md & Poly, Tahmina. *Machine Learning Models of Breast Cancer Risk Prediction*, 2019. DOI: 10.1101/723304.

7. Rustyanova, D. R. The possibilities of artificial intelligence in predicting the occurrence of breast cancer. *Ot-tovskie readings : abstracts of the IV All-Russian scientific and practical conference of obstetricians and gynecologists, St. Petersburg, November 10–11, 2022*. Moscow, Editorial office of the StatusPraesens journal, 2022, p. 49. (In Russ).

8. Akselrod-Ballin, Ayelet et al. Predicting Breast Cancer by Applying Deep Learning to Linked Health Records and Mammograms. *Radiology*, 2019, vol. 292, no. 2, pp. 331–342. DOI: 10.1148/radiol.2019182622.

9. Levshinskii, V. V. Mathematical models for analyzing and interpreting microwave radiometry data in medical diagnosis. *Journal of Computational and Engineering Mathematics*, 2021, vol. 8, no. 1, pp. 3–14. DOI: 10.14529/jcem210101.

10. Gail, M. H., Brinton, L. A., Byar, D. P., et al. Projecting individualized probabilities of developing breast cancer for white females who are being examined annually. *J. Natl. Cancer Inst.*, 1989, no. 81 (24), pp. 1879–1886. DOI: 10.1093/jnci/81.24.1879.

11. Claus, E. B., Risch, N., & Thompson, W. D. Autosomal dominant inheritance of early-onset breast cancer. *Implications for risk prediction. Cancer*, 1994, no. 73 (3), pp. 643–651. DOI: 10.1002/1097-0142(19940201)73:3<643:aid-cnrc2820730323>3.0.co;2-5.

12. Tyrer, J., Duffy, S. W., & Cuzick, J. A breast cancer prediction model incorporating familial and personal risk factors. *Statistics in medicine*, 2004, no. 23 (7), pp. 1111–1130. DOI: 10.1002/sim.1668.

13. Defazio, Aaron & Bach, Francis & Lacoste-Julien, Simon. SAGA: A Fast Incremental Gradient Method with Support for Non-Strongly Convex Composite Objectives. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2014.

Статья поступила в редакцию 18.12.2024; одобрена после рецензирования 12.01.2025; принята к публикации 27.01.2025.

The article was submitted 18.12.2024; approved after reviewing 12.01.2025; accepted for publication 27.01.2025.

УДК 004.942

ПОСТРОЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОЙ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ, КРИВОЙ ЗАБЫВАНИЯ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЗАДАЧ

Тарасов Олег Васильевич, Университет науки и технологий МИСИС, 119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, 4, стр. 1,
аспирант, ORCID: 0009-0000-5294-8512, e-mail: m1807712@edu.misis.ru

В статье представлена математическая модель построения индивидуальных образовательных траекторий на основе байесовской оценки знаний, экспоненциальной кривой забывания и кластеризации родственных задач. Предложенная модель направлена на динамическую адаптацию процесса обучения с учетом уровня освоения компетенций учащимися и их индивидуальных особенностей. Основой модели является структура микромодулей, представляющих атомарные элементы обучения, логически связанные через граф компетенций. Модель учитывает вероятностные оценки успешности выполнения заданий, временные параметры забывания и механизмы стабилизации навыков при повторном обучении. Рассматриваются методы оптимизации выбора микромодулей с учетом ограничений по времени и ресурсам. В статье приводятся практические примеры применения модели в подготовке учащихся к экзаменам по математике в формате ЕГЭ. Полученные результаты открывают перспективы для дальнейших исследований, связанных с интеграцией алгоритмов анализа данных, нейросетевых подходов и механизмов машинного обучения для персонализации образовательных траекторий.

Ключевые слова: адаптивное обучение, байесовская оценка знаний, кривая забывания, оптимизационная модель, граф компетенций, персонализация обучения

CONSTRUCTING PERSONALIZED EDUCATIONAL TRAJECTORIES BASED ON BAYESIAN KNOWLEDGE ESTIMATION, FORGETTING CURVE AND TASK CLUSTERING

Tarasov Oleg V., National University of Science and Technology MISIS, bldg. 1, 4 Leninskiy Prospect, Moscow, 119049, Russian Federation,
graduate student, ORCID: 0009-0000-5294-8512, e-mail: m1807712@edu.misis.ru

The article introduces a mathematical model for constructing personalized educational trajectories based on Bayesian knowledge estimation, an exponential forgetting curve, and task clustering. The proposed model dynamically adapts the learning process by accounting for students' competency levels and individual characteristics. The model uses a structure of micro-modules, which act as atomic learning units logically connected through a competency graph. It incorporates probabilistic assessments of task performance, time-dependent forgetting parameters, and mechanisms for skill stabilization during repeated training. The article explores methods for optimizing micro-module selection while considering time and resource constraints. Practical examples demonstrate the model's application in preparing students for mathematics exams in the Unified State Exam (USE) format. The results highlight opportunities for further research, focusing on integrating data analysis algorithms, neural network approaches, and machine learning mechanisms to personalize educational trajectories.

Keywords: adaptive learning, Bayesian knowledge estimation, forgetting curve, optimization model, competency graph, learning personalization

ВВЕДЕНИЕ

Современные LMS стремятся обеспечить индивидуализацию образовательного процесса, реализуя тем самым концепцию «адаптивного обучения». Эта концепция направлена на индивидуализацию образовательных траекторий, которая позволяет учащимся достигать высоких результатов за счет динамической адаптации контента, методов и темпов обучения к их индивидуальным особенностям. Проблема построения индивидуальных образовательных траекторий приобрела особую актуальность в контексте массового внедрения цифровых технологий в образование и необходимости повышения его эффективности [1].

Современные подходы адаптивного обучения, его перспективы, структура системы адаптации, а также объект адаптации рассмотрены ранее в статье «Адаптивные технологии в дистанционном обучении: современные подходы и перспективы» [2].

В этой статье предложена математическая модель, которая включает в себя:

- байесовский подход к оценке вероятности владения компетенциями, обновляемый при решении задач;
- экспоненциальную кривую забывания, параметры которой адаптируются к накопленному опыту, обеспечивая реалистичную оценку динамики снижения уровня знаний;
- кластеризацию родственных задач для снижения нагрузки на учащегося, позволяющую через решение небольшого подмножества заданий поддерживать высокий уровень владения всем кластером;
- оптимизационную модель выбора микромодулей, максимизирующую итоговый уровень владения целевым набором компетенций при заданных ограничениях по времени и ресурсам. При этом важные параметры, такие как весовые коэффициенты компетенций, временные и стоимостные критерии, позволяют гибко настраивать целевую функцию под конкретную образовательную стратегию.

Предлагаемая модель исследуется на примере подготовки учащихся старшей школы к итоговым экзаменам (ОГЭ/ЕГЭ) по математике, где анализируются ее практические и теоретические аспекты.

ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ: МИКРОМОДУЛИ И КОМПЕТЕНЦИИ

Предметная область представляет собой многослойную структуру, включающую взаимосвязанные элементы разного уровня детализации.

Ключевым компонентом предметной области являются **микромодули**, представляющие собой атомарные образовательные элементы, организующие учебный материал в осмысленные блоки, направленные на освоение ограниченного объема знаний и умений. Каждый микромодуль включает минимальный необходимый теоретический компонент, а также набор проверочных заданий (тестовых вопросов, задач, упражнений). Структура микромодуля представлена на рисунке 1.

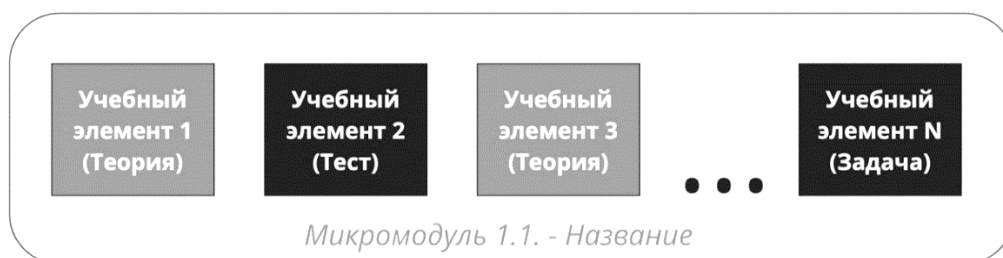


Рисунок 1 – Структура микромодуля

Однако для адаптации обучения одного графа микромодулей недостаточно, так как обучение оценивается не по факту прохождения микромодулей, а по сформированным умениям и знаниям. Эти умения формализуются через **компетенции**. Степень освоения компетенции является ключевым индикатором прогресса учащегося.

Отличительной чертой является то, что одна компетенция может быть связана с несколькими микромодулями: например, навык решения квадратных уравнений может проверяться и укрепляться в ряде микромодулей с разными наборами задач.

Аналогично один микромодуль может поддерживать формирование сразу нескольких компетенций. Связь микромодулей между собой и компетенций показана на рисунке 2.

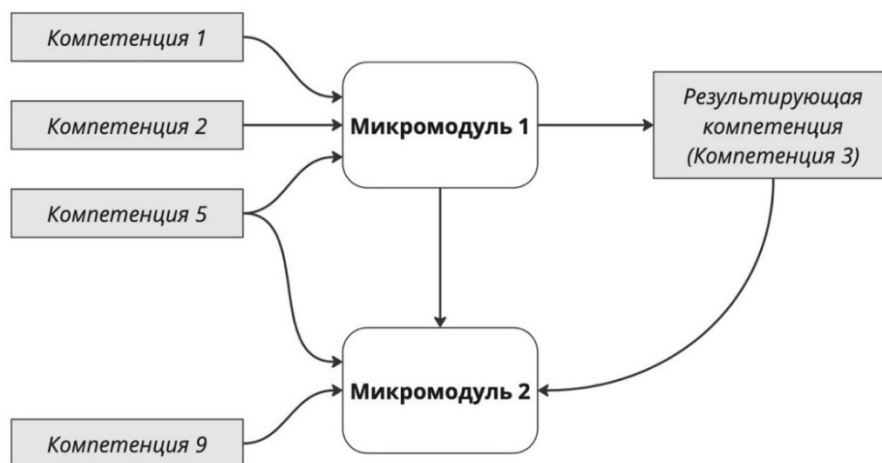


Рисунок 2 – Связь микромодулей и компетенций

Микромодули и компетенции связаны через множество отношений $R \subseteq V \times C$, где V – множество микромодулей; C – множество компетенций;

R – бинарное отношение, задающее соответствие между микромодулями и компетенциями.

Запись $(v_i, c_j) \in R$ указывает, что модуль v_i проверяет или формирует компетенцию c_j . Одна компетенция может быть связана с несколькими модулями, обеспечивая ее повторное использование и укрепление в различных контекстах.

Такой подход соответствует принципам микрообучения, где знания подаются в малых порциях, что снижает когнитивную нагрузку и способствует постепенному освоению материала [3].

Для описания последовательности прохождения микромодулей используется направленный ациклический граф по формуле (1):

$$G = (V, E), \quad (1)$$

где V – вершины, представляющие микромодули;

E – ребра, задающие зависимости между ними.

Если существует связь $(v_i, v_j) \in E$, это означает, что для освоения микромодуля v_j требуется предварительное изучение материала, представленного в микромодуле v_i .

При этом компетенции (С) описываются как статическая структура знаний, в то время как их освоение измеряется функцией вероятности $P_k(t)$. Динамическое поведение этих вероятностей определяется результатами выполнения задач и временем последнего обращения к компетенции.

Дополнительно необходимо ввести критерий завершения изучения микромодуля. Формализованное условие успешного освоения модуля выражается через уровень успешности выполнения заданий по формуле (2):

$$P_{comp}(c_j) \geq \theta_{min}, \quad (2)$$

где $P_{comp}(c_j)$ – вероятность владения компетенцией c_j ;

θ_{min} – минимальный порог, определяемый стратегией обучения.

На рисунке 3 изображен граф микромодулей и связей между ними на примере 8 номера «Производная и первообразная» ЕГЭ по профильной математике. Легенда графа: что именно включает каждый микромодуль – представлена в таблице 1.

Чтобы избежать усложнения схемы дополнительным графом компетенций, пунктирными линиями обозначены задачи с идентичным набором компетенций. Название области указано в соответствии с кодификатором и спецификатором ЕГЭ по профильной математике [4, 5].

Таблица – Легенда графа 8 номера из ЕГЭ по профильной математике

№	Наименование микромодуля	№	Наименование микромодуля
1	Расчет скорости в фиксированный момент времени	16	Вычисление значения усложненной производной функции $g(x)$ в точке x_0
2	Расчет скорости с применением усложненной производной	17	Нахождение корня уравнения производной функции через график функции
3	Определение времени движения по известной скорости	18	Определение интервалов возрастания и убывания функции на графике функции
4	Определение времени движения с учетом квадратичной зависимости производной	19	Определение точек, в которых производная функции положительная/отрицательная
5	Поиск точек касания на графике функции, где касательная параллельна прямой y	20	Поиск точек экстремума на графике функции
6	Определение точек касания на графике функции через производную, где касательная параллельна прямой	21	Определение экстремумов на графике производной функции
7	Вычисление значения производной функции на графике функции в точке x_0 , определение знака касательной	22	Определение точек возрастания/убывания функции на графике производной функции
8	Нахождение абсциссы точки, в которой касательная к графику функции параллельна прямой или совпадает с ней	23	Поиск точек, где производная функции равна 0 на графике функции
9	Нахождение абсциссы точки, в которой касательная к графику функции параллельна оси абсцисс или совпадает с ней	24	Определение наибольшего/наименьшего значения производной функции
10	Вычисление абсциссы точки касания на графике функции	25	Определение точек, в которых производная функции отрицательная/положительная на графике функции
11	Вычисление абсциссы точки касания на графике функции с квадратичной зависимостью производной	26	Нахождение абсциссы точки, в которой функция принимает наибольшее/наименьшее значение на графике производной функции
12	Нахождение параметра А, если прямая является касательной на графике функции	27	Анализ интервалов монотонности на графике функции
13	Нахождение параметра В, если прямая является касательной на графике функции	28	Поиск точек экстремума на графике первообразной
14	Нахождение параметра С, если прямая является касательной на графике функции	29	Поиск разности значений первообразных на графике
15	Вычисление значения производной функции $g(x)$ в точке x_0	30	Нахождение площади под графиком на графике функции
31	Вычисление определенного интеграла		

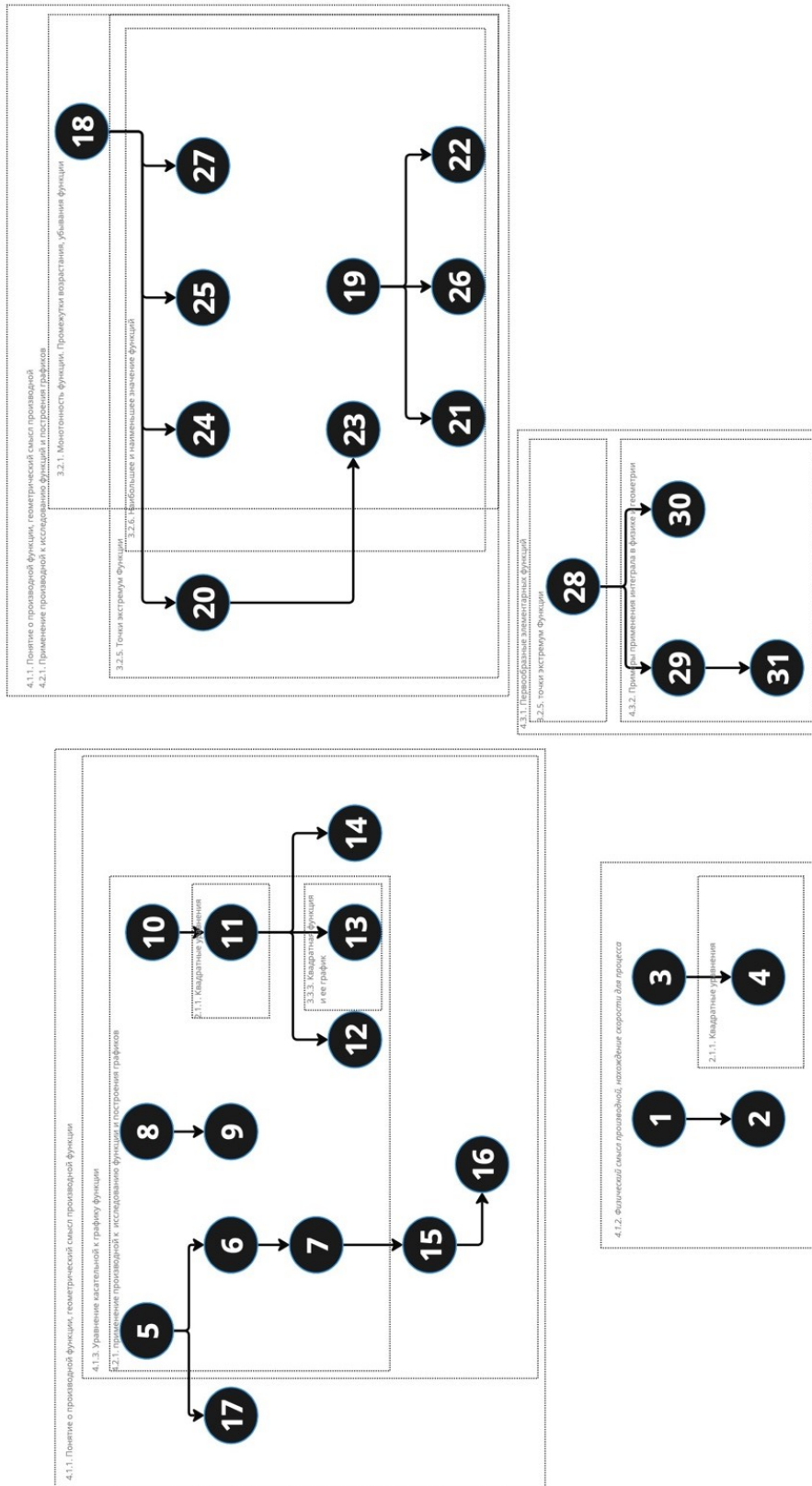


Рисунок 3 – Граф микромодулей 8 номера из ЕГЭ по профильной математике

Следует учитывать, что в таком графе отсутствуют четкие точки входа и выхода. Поскольку ученик может заранее знать некоторые темы за счет внешнего опыта (например, он уже умеет решать сложные задачи, не разобравшись в более простых по формальной классификации).

БАЙЕСОВСКАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

На начальном этапе отсутствуют данные об уровне владения конкретными компетенциями учащегося, поэтому принимается допущение, что вероятность владения ими составляет $p(\text{владение}) = 0$ до начала изучения тем или выполнения задач. Придерживаемся правила: «Не знаем – считаем, что не владеет».

По мере того как ученик решает задачи из раздела «Практика» (целые КИМы или же варианты по отдельным номерам), становится возможным обновление оценки владения каждой компетенцией. Таким образом, к моменту начала изучения курса по определенному номеру формируется апостериорная оценка владения некоторыми компетенциями, основанная на практических результатах.

Вероятности владения компетенциями пересчитываются по мере прохождения задач, формируя динамическую оценку уровня знаний в рамках фиксированного множества компетенций S .

При этом, когда ученик впервые приступает к изучению конкретного курса на старте, он проходит входное тестирование, состоящее из нескольких ключевых, репрезентативных задач. Эти задачи нужны для калибровки: по их результатам осуществляется обновление оценки владения для всех связанных компетенций. Тем самым это помогает решать проблему «холодного старта» [6].

Таким образом, для очень сложных задач из ЕГЭ, которые редко решают на экзамене, стартовая вероятность будет по-прежнему близка к нулю. Но если ученик при решении КИМов вдруг успешно решил несколько таких сложных задач, система обновит вероятность и учтет это при построении траектории обучения.

Вводится параметр «качество» владения компетенцией – **вероятность правильного решения задачи при условии, что компетенция (связанная с этой задачей) известна ученику**. Предполагается, что если компетенция освоена, если вероятность правильного решения задачи высокого уровня близка к 0,9 (формула (3)):

$$p(\text{правильно}|\text{знает}) = 0,9. \quad (3)$$

Даже если ученик знает эту тему, нет 100% гарантии, что он всегда решит задачу правильно.

В дальнейшем, по мере накопления статистических данных, представляется возможным уточнение данного значения для разных уровней сложности задач, чтобы модель становилась точнее.

Одновременно надо рассмотреть **вероятность правильного решения при незнании**, другими словами, вероятность «угадывания» или случайного решения.

Для тестов с вариантами ответа из 4 вариантов заложим $p(\text{правильно}|\text{не знает}) = 0,25$. А для задач с развернутым ответом 0,05 или 0,1, так как вероятность случайного решения крайне мала.

Итоговая формула (4):

$$p_k^{new} = \frac{p_k^{old} * p(\text{правильно}|\text{знает})}{p_k^{old} * p(\text{правильно}|\text{знает}) + (1 - p_k^{old}) * p(\text{правильно}|\text{не знает})}. \quad (4)$$

Аналогичная формула используется при неправильном ответе. В этом случае вместо p (правильно | ...) используется выражение $1 - p$ (правильно | ...).

И тогда вероятность владения компетенцией K после неверного ответа примет вид в формуле (5):

$$p_k^{new} = \frac{p_k^{old} * (1 - p(\text{правильно}|\text{знает}))}{p_k^{old} * (1 - p(\text{правильно}|\text{знает})) + (1 - p_k^{old}) * (1 - p(\text{правильно}|\text{не знает}))}. \quad (5)$$

Соответственно, если ученик вероятнее всего знал тему, но ошибся, вероятность «знания» снижается. В случае, когда изначально предполагалось отсутствие знаний по данной компетенции, то неправильный ответ мало что меняет, оставляя вероятность близкой к нулю.

МОДЕЛЬ ЗАБЫВАНИЯ

Уровень владения компетенцией уменьшается с течением времени без практики. Если ученик долго не решает задачи, связанные с определенной компетенцией, то его вероятность владения этой компетенцией будет постепенно снижаться.

Впервые этот процесс описан как «кривая забывания» Германом Эббингаузом. Согласно его исследованию, процесс забывания носит экспоненциальный характер. Его работа стала основой для современных образовательных технологий, направленных на улучшение долговременного запоминания [7].

На основе этой концепции можно формализовать вероятность владения компетенцией k в момент времени t через $p_k(t)$. Важно, что данная величина отражает не изменение структуры компетенций, а динамику ее усвоения во времени. При этом $p_k(t)$ продолжает принадлежать фиксированному множеству компетенций S , но изменяется в зависимости от опыта и практики.

При отсутствии практики вероятность владения будет убывать по экспоненциальному закону согласно формуле (6):

$$p_k(t) = p_k(t_0) * e^{-\lambda(t-t_0)}, \quad (6)$$

где t_0 – момент времени, когда мы в последний раз обновили или оценили владение компетенцией (например, когда ученик в последний раз правильно решил задачу данного типа);

$\lambda > 0$ – параметр скорости забывания. Чем больше λ , тем быстрее происходит спад вероятности владения компетенцией со временем без практики.

При этом, когда ученик снова решает задачи по соответствующей компетенции, модель пересчитывает вероятность владения, повышая ее на основании новых успешных решений, и обновляет текущий момент времени t_0 .

Дополнительно можно рассмотреть и ввести механизм «стабилизации» усвоения навыка. Можно ввести параметр, который будет отвечать за снижение скорости забывания (λ) после того, как ученик неоднократно успешно продемонстрировал знание решения задач конкретного микромодуля. Тогда $\lambda = \lambda(n)$, где n – количество успешных решенных задач.

Таким образом, выражение будет представлено следующей формуле (7):

$$\lambda(n) = \frac{\lambda_0}{1 + \alpha n}, \quad (7)$$

где λ_0 – базовый уровень забывания;

$\alpha > 0$ – коэффициент, снижающий скорость забывания при возрастании числа успешных попыток.

То есть каждый раз, когда ученик правильно решает задачу по теме k , счет успехов n растет, а λ уменьшается. Другими словами, «крутизна» экспоненциального спада падает. Следовательно, чем чаще ученик демонстрирует успешное владение, тем медленнее у него снижается компетенция в отсутствие практики.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ РОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ

Так как компетенций, вариаций задач сильно больше, чем попыток решения задач пользователем в месяц, чтобы избежать постоянного понижения вероятности владения компетенцией вводится уровень владения для кластера схожих задач.

Тогда каждое успешное решение задачи из кластера будет обновлять t_0 для всего кластера по формуле (8):

$$p_{cluster}(t) = p_{cluster}(t_0) * e^{-\lambda(t-t_0)}. \quad (8)$$

Соответственно, здесь λ и t_0 общее для всего кластера, а не для отдельной задачи. Считаем, что решение хотя бы одной задачи из кластера обновляет t_0 .

Дополнительно вводится условие, что если в течение промежутка времени ΔT была хотя бы одна успешная попытка, то t_0 обновляется. Если нет, то применяется экспоненциальное снижение по формуле (9):

$$p_k(t) = \begin{cases} p_k(t_0) & \text{если за период } [t_0, t] \text{ была хотя бы одна усп. попытка} \\ p_k(t_0) * e^{-\lambda(t-t_0)} & \text{если не было попыток} \end{cases}. \quad (9)$$

Если ученик в течение длительного времени не обращается к задачам данного типа, вероятность начнет снижаться, но, решив хотя бы одну задачу из кластера, он «освежает» этот навык для множества схожих задач. Регулярно решая хотя бы часть вариаций, ученик поддерживает высокий уровень владения всем кластером.

Однако необходимо соблюдать главное условие – гомогенность кластера. Если задачи (микромодули) в кластере действительно близки по требованиям к компетенциям, единый уровень $p_{cluster}(t)$ будет отражать реальное состояние знаний ученика [8].

В свою очередь, если кластер слишком разнороден, может возникнуть ситуация переоценки: ученик решил один тип задачи из кластера, а по другим (хотя формально они «родственные») он в действительности не настолько силен.

Предложенная модель отражает реальную сложность долгосрочной подготовки, где ученик не может одинаково часто практиковать все виды задач. Кластеризация уменьшает требования к частоте обращений к каждой конкретной вариации.

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ

Пусть задано множество микромодулей $V = v_1, v_2, \dots, v_n$, доступных для прохождения. Каждый модуль связан с рядом компетенций. Пусть G_{ij} – вклад микромодуля v_i в компетенцию c_j , т. е. ожидаемое повышение вероятности владения этой компетенцией при успешном прохождении модуля. Один и тот же модуль может влиять на несколько компетенций, а одна компетенция может быть улучшена разными модулями.

Итоговый уровень владения компетенцией после прохождения набора микромодулей $S \subseteq V$ будет рассчитываться согласно формуле (10):

$$K_j^{final}(S) = \min(1, p_j^{init} + \sum_{v_i \in S} G_{ij}), \quad (10)$$

где p_j^{init} – вероятность владения компетенцией перед началом обучения на основании предыдущих попыток и тестирований.

Тогда целевая функция будет выглядеть следующим образом:

$$\max F(S) = \sum_{j=1}^v w_j * K_j^{final} - \alpha \sum_{v_i \in S} T_i, \quad (11)$$

где w_j – вес компетенции c_j , отражающий ее важность;

T_i – время, затраченное на модуль v_i ;

α – штрафной коэффициент.

Предложенная функция позволяет балансировать между максимизацией качества владения компетенциями и минимизацией расхода времени.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования предложена и детально обоснована математическая модель построения индивидуальных образовательных траекторий, основанная на байесовской оценке вероятности владения компетенциями, экспоненциальной кривой забывания и кластеризации родственных задач. Представленная модель ориентирована на решение задачи адаптации обучения в условиях массовой подготовки учащихся к экзаменам и позволяет динамически корректировать образовательные траектории в зависимости от уровня владения компетенциями, выявленных пробелов в знаниях и динамики усвоения материала.

Одним из ключевых результатов исследования является разработка структуры микромодулей, формирующих основу предложенной модели. Микромодули представляют собой минимальные, логически завершённые единицы обучения, тесно связанные с конкретными компетенциями и включающие теоретические компоненты и проверочные задания.

Предложенная структура позволяет строить граф образовательных траекторий, описывать зависимости между микромодулями, а также задавать гибкие правила переходов между ними с учетом результатов промежуточного тестирования. Такая организация содержания обеспечивает возможность адаптации последовательности изучения материала в реальном времени.

Особое внимание в работе уделено механизму байесовской оценки знаний, который позволяет рассчитывать апостериорные вероятности владения компетенциями на основе результатов выполненных заданий. Предложенные формулы обновления вероятностей после верных и неверных ответов обеспечивают возможность динамического пересчета уровня знаний с учетом ошибок и успехов учащихся. При этом в модели предусмотрены механизмы начальной калибровки на основе входного тестирования, а также обновления вероятностей владения в процессе решения задач из кластера родственных задач.

Дополнительно в работе исследованы закономерности снижения уровня знаний при отсутствии практики и предложена модель забывания, основанная на экспоненциальной зависимости. Введен механизм стабилизации навыков, учитывающих накопленный опыт решения задач, который снижает скорость забывания компетенций при многократных успешных попытках. Такой подход обеспечивает устойчивость результатов обучения и предотвращает быструю потерю приобретенных знаний.

В свою очередь, модель кластеризации родственных задач, предоставленная в исследовании, позволяет минимизировать требования к частоте повторения отдельных типов заданий за счет группировки схожих задач в единые кластеры. Решение любой задачи из кластера обновляет состояние владения знаниями для всего набора связанных компетенций, что существенно снижает нагрузку на обучающихся и поддерживает актуальность ключевых навыков.

И, следовательно, предложенная в исследовании оптимизационная модель выбора микромодулей учитывает ограничения по времени и ресурсам, предлагая оптимальные пути достижения заданных целей. Целевая функция балансирует между максимизацией уровня владения компетенциями и минимизацией временных затрат, что особенно актуально в условиях подготовки к выпускным экзаменам, таким как ЕГЭ.

Перспективы дальнейших исследований связаны с проведением серии практических экспериментов для уточнения параметров модели и ее валидации в условиях реальной образовательной среды. В частности, планируется анализ устойчивости предложенной модели к изменениям входных данных, интеграции алгоритмов машинного обучения для анализа больших массивов данных. Планируется разработка нейросетевых моделей для прогнозирования вероятностей успешного выполнения учащимися отдельных микромодулей.

Таким образом, дальнейшая работа сосредоточится на разработке и верификации практических инструментов для обработки больших данных, прогнозирования образовательных результатов и повышения точности моделей.

Список источников

1. Кравченко, Д. А. Персонализация в образовании: от программируемого к адаптивному обучению / Д. А. Кравченко, И. А. Блескина, Е. Н. Каляева, Е. А. Землякова, Д. Ф. Аббакумов // Современная зарубежная психология. – 2020. – Т. 9, № 3. – С. 34–46. – DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090303>.
2. Тарасов, О. В. Адаптивные технологии в дистанционном обучении: современные подходы и перспективы / О. В. Тарасов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2024. – № 07. – С. 147–151. – DOI: [10.37882/2223-2966.2024.7.37](https://doi.org/10.37882/2223-2966.2024.7.37).

3. Hogle, P. The State of Microlearning / P. Hogle. – Santa Rosa : The Learning Guild, 2023. – 35 с. – URL: <https://www.learningguild.com/content/6953/the-state-of-microlearning-2023/> (дата обращения: 25.12.2024)
4. Федеральный институт педагогических измерений. Спецификация контрольных измерительных материалов для проведения в 2025 году единого государственного экзамена по математике (профильный уровень). – Москва : ФИПИ, 2025. – 16 с. – URL: <https://fipi.ru> (дата обращения: 23.12.2024).
5. Федеральный институт педагогических измерений. Кодификатор проверяемых требований к результатам освоения образовательной программы и элементов содержания для проведения ЕГЭ по математике (профильный уровень). – Москва : ФИПИ, 2025. – 18 с. – URL: <https://fipi.ru> (дата обращения: 23.12.2024).
6. Геращенко, Т. М. Алгоритм построения рекомендаций в электронных образовательных средах на основе стохастических моделей Маркова / Т. М. Геращенко, Д. И. Гончаров, А. О. Маркелов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – № 9 (4). – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=918> (дата обращения: 25.12.2024). DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.020.
7. Эббингауз, Г. Память: вклад в экспериментальную психологию / Г. Эббингауз ; пер. с англ. Н. А. Ругер, С. Е. Буссенius. – Нью-Йорк : Teachers College, Columbia University, 1913. – URL: <https://archive.org/stream/memorycontributi00ebbuioft> (дата обращения: 28.12.2024).
8. Теория и практика машинного обучения : учебное пособие / В. В. Воронина, А. В. Михеев, Н. Г. Ярушклина, К. В. Святков. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2017. – 290 с. – ISBN 978-5-9795-1712-4. – EDN QNXXJP.

References

1. Kravchenko, D. A., Bleskina, I. A., Kalyaeva, E. N., Zemlyakova, E. A., Abbakumov, D. F. Personalization in education: from programmed to adaptive learning. *Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020, vol. 9, no. 3, pp. 34–46. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090303> (In Russ.).
2. Tarasov, O. V. Adaptive technologies in distance learning: modern approaches and perspectives. *Modern Science: Actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences*, 2024, no. 07, pp. 147–151. DOI: 10.37882/2223-2966.2024.7.37 (In Russ.).
3. Hogle, P. The State of Microlearning, 2023. Santa Rosa: The Learning Guild, 2023. 35 p. Available at: <https://www.learningguild.com/content/6953/the-state-of-microlearning-2023/> (accessed 25.12.2024).
4. *Federal Institute for Pedagogical Measurements. Specification of the Assessment Materials for the Unified State Exam in Mathematics (Advanced Level) in 2025*. Moscow: FIPI, 2025. 16 p. Available at: <https://fipi.ru> (accessed 23.12.2024) (In Russ.).
5. Federal Institute for Pedagogical Measurements. Codifier of the Assessed Requirements for Educational Program Outcomes and Content Elements for the Unified State Exam in Mathematics (Advanced Level). Moscow: FIPI, 2025. 18 p. Available at: <https://fipi.ru> (accessed 23.12.2024) (In Russ.).
6. Gerashchenkova, T. M., Goncharov, D. I., Markelov, A. O. Algorithm for making recommendations in electronic educational environments based on stochastic Markov models. *Modeling, Optimization and Information Technology*, 2021, no. 9 (4). Available at: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=918> (accessed 25.12.2024). DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.020 (In Russ.).
7. Ebbinghaus, H. Memory: a contribution to experimental psychology. New York, Teachers college, Columbia University, 1913. Available at: <https://archive.org/stream/memorycontributi00ebbuioft> (accessed 25.12.2024) (In Russ.).
8. Voronina, V. V., Mikheev, A. V., Yaruskin, N. G., Svyatov, K. V. Theory and Practice of Machine Learning : textbook. Ulyanovsk, Ulyanovsk State Technical University, 2017. 290 p. ISBN 978-5-9795-1712-4. EDN QNXXJP (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 30.12.2024; одобрена после рецензирования 12.01.2025; принята к публикации 02.02.2025.

The article was submitted 30.12.2024; approved after reviewing 12.01.2025; accepted for publication 02.02.2025.

УДК 004.6

**DYNAMIC DATA MINING IN CLOUD ENVIRONMENTS:
PRACTICAL SOLUTIONS FOR REAL-TIME DATA PROCESSING
AND DECISION-MAKING USING NOVEL ALGORITHM**

Abas Wisam Mahdi Abas, University of Diyala, Iraq, Diyala, Baqubah,

Ph. D., Lecturer Doctor, e-mail: wisam.mahdi@uodiyala.edu.iq

Ahmed Nafea Ayesh, Al-Iraqia University, Iraq, Baghdad,

Ph. D., Lecturer Doctor, e-mail: ahmed.n.ayesh@aliraqia.edu.iq

Egorov Sergey Ya., Tambov State Technical University, 1 Leningradskaya St., Tambov, 392036, Russian Federation,

Professor, e-mail: egorovsy@yandex.ru

Khaytul Anastasia V., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

master's student, ORCID: 0000-0003-2112-8145, e-mail: khaaytul@icloud.com

This paper aims at comparing the dynamic data mining techniques, especially for real-time decision-making in Cloud systems considering the case of e-commerce. A new algorithm is introduced to be capable of processing the large amount of streaming data which requires flexibility, to meet new consumer behaviors and increase the level of accuracy of recommendations. The outcomes indicate the cost-effectiveness of the processes, their expansion capabilities, and such vital concerns as the rise in the click-through rate and the higher sale conversion. In doing this, this research forms a framework that can be used to leverage dynamic data mining in increasing real-time insights for decision-making across various industries.

Keywords: dynamic data mining, cloud computing, real-time processing, e-commerce, algorithm adaptation, streaming data, recommendation systems, decision-making

**ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В ОБЛАЧНЫХ СРЕДАХ:
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ
И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО АЛГОРИТМА**

Абас Висам Махди Абас, Университет Диялы, Ирак, Дияла, Бакуба,

кандидат технических наук, преподаватель, e-mail: wisam.mahdi@uodiyala.edu.iq

Ахмед Нафеа Айеш, Университет Аль-Иракия, Ирак, Багдад,

кандидат технических наук, преподаватель, e-mail: ahmed.n.ayesh@aliraqia.edu.iq

Егоров Сергей Яковлевич, Тамбовский государственный технический университет, 392036, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Ленинградская, 1,

профессор, e-mail: egorovsy@yandex.ru

Хайтул Анастасия Всеволодовна, Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

магистрант, ORCID: 0000-0003-2112-8145, e-mail: khaaytul@icloud.com

Целью данной работы является сравнение методов динамического анализа данных, особенно для принятия решений в реальном времени в облачных системах на примере электронной коммерции. Представлен новый алгоритм, способный обрабатывать большой объем потоковых данных, что требует гибкости, соответствия новым моделям поведения потребителей и повышения уровня точности рекомендаций. Полученные результаты свидетельствуют об экономической эффективности процессов, возможностях их расширения и таких важных аспектах, как увеличение количества кликов и повышение конверсии продаж. Таким образом, данное исследование формирует основу, которая может быть использована для динамического анализа данных в целях повышения эффективности принятия решений в различных отраслях в режиме реального времени.

Ключевые слова: динамический анализ данных, облачные вычисления, обработка в реальном времени, электронная коммерция, адаптация алгоритмов, потоковые данные, рекомендательные системы, принятие решений

INTRODUCTION

Overview. Dynamic data mining in Cloud environments is one of the most important features of modern data processing, which could enable real-time decisions on many sectors. While the growth of the volume of data demands advanced algorithms for adaptability and evolution, immediate insights are required. Scalability and flexibility may come from Cloud platforms, but the dynamic nature of streaming data requires efficient solutions. This paper presents novel algorithms that can meet the challenge. A common issue arises in e-commerce platforms where real-time customer behavior analysis is crucial for personalized recommendations. Without efficient algorithms, delayed insights can result in missed opportunities and reduced customer engagement.

Problem Statement. The never-ending flow of real-time data that characterizes Cloud environments hinders static and memoryless traditional data mining as it is virtually incapable of coping with varying and evolving datasets. Current algorithms often struggle to process and analyze streaming data rapidly, which can be a real problem with scalar information generated as businesses rely on instant decision-making. This gap creates a lag in insights, which is less than ideal for industries like e-commerce that require quick analysis to maximize customer experience and product recommendations.

BACKGROUND

Because modern organizations have seen a surge in the amount and diversity of digital data, their activities have fundamentally changed, necessitating newer techniques for understanding that data. Another vital area of research and development is to enable dynamic data mining, particularly in connection with the Cloud, as organizations require the analysis of the increasing data feed produced every second. This paper’s preceding investigation looks into the growth of data mining in addition to the critical aspects of Cloud Computation and factors connected with real-time data. At its fundamental level, data mining refers to the examination of databases to find knowledge through an approach known as pattern mining [1]. In relation to it, the truth is that these same data mining methods are still largely found in a setting that relies on databases without change, with techniques such as classification, clustering, and association rule mining. Still, due to the nature of data that stems from social media, IoT, e-commerce, and others, organizations find themselves with more dynamic datasets that are less structured. Different rule mining techniques in cloud environments to support improved decision making through pattern recognition and data processing are presented in figure 1 below.

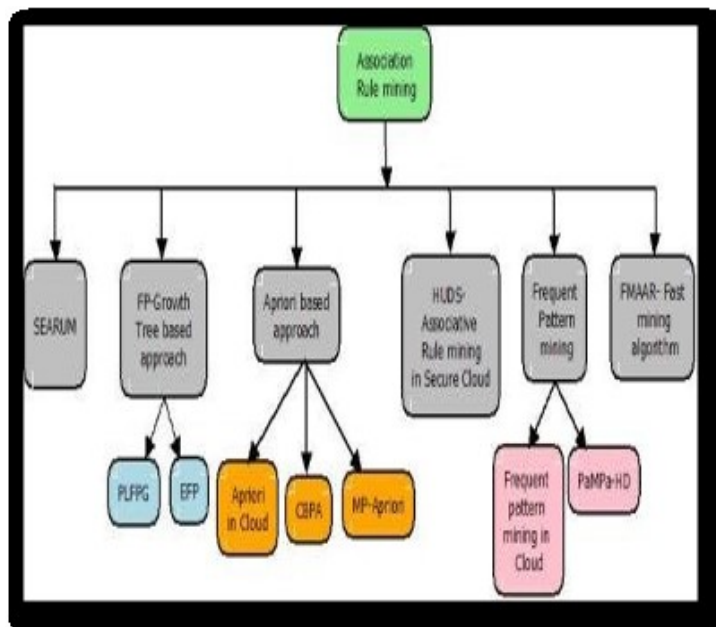


Figure 1 – Rule Mining Techniques

Cloud Computing has emerged as a new technological solution applicable to data storage and handling. Cloud platforms help organizations think and act saleably, which means that they can store and process large amounts of data without having to invest in large amounts of physical infrastructure [2]. This availability has led to the promotion of data used for decision-making in so many fields such as finance, healthcare, and even the retail business. But it is fair to turn the understanding of this fact by noting that the advantages in Cloud Computing also present certain challenges. It became quite challenging to apply data mining algorithms due to the constantly evolving data patterns and the diverse nature of Cloud architectures [7]. One of them is that the decision-making in data processing in the Cloud is subject to a certain amount of delay. It is clear that methods of batch processing, which work on the static dataset, will be ineffective to analyze real-time data. For example, in sectors like e-commerce where there are frequent fluctuations in users’ behavior, business needs real-time analytics.

Timely replies to customer engagements may result in being unable to close a sale as well as a poor user experience. Hence, the algorithms that can analyze the streaming data in real time have become areas of intense interest. However, the amount of data in present-day applications is a challenge in its own right [3]. This is because methods developed for use with smaller datasets do not always generalize well to Cloud environments. This problem is magnified by high-dimensional data and the requirement for near real-time analysis, which requires the introduction of new algorithms that are effective for changing scenarios. These algorithms must both perform well at finding relationships, as well as constantly being updated as new data streams in.

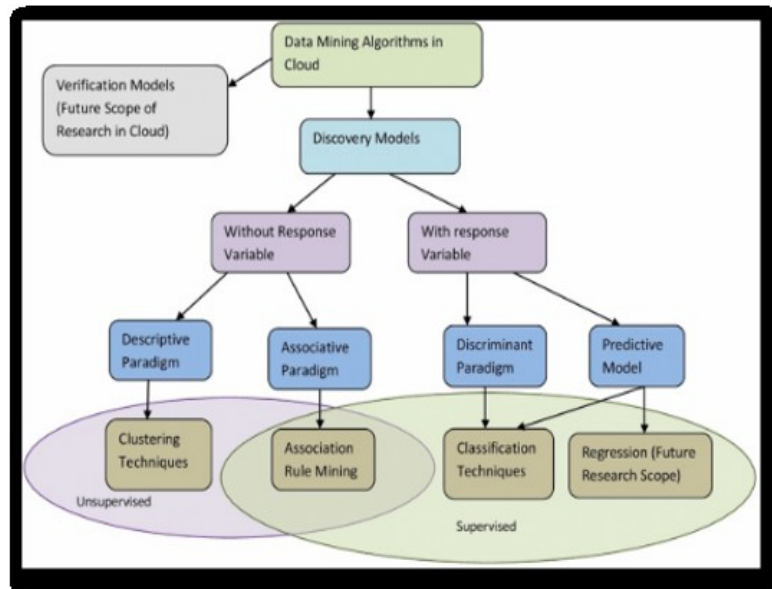


Figure 2 – Data Mining Techniques

Figure 2 shows the exposure of different data mining procedures in the light of the present study showing how the SD and proposed techniques help in classifying the structured, semi-structures, and unstructured data streams in real-time. Another thing to consider is that in terms of the data type in the Cloud, there are well-structured, partially structured, and unstructured data which means that for analysis, there is a need for various tools and techniques that are so powerful. An example is the case where, while traditional techniques are really good at handling database structured data, they pale when faced with unstructured data – text, images, or videos. This also adds a new level of difficulty for the generation of dynamic data mining techniques as these should be able to accommodate the various formats of data [4]. This brings the term ‘data streams’ into context. Data streams are a set of data with real-time feeds obtained from a number of sources such as sensors, and online sales.

Some factors of the data stream, for instance, the fast access speed of the data and the propensity for concept drift complicate data mining. The process where the intrinsic characteristics of the target variable change over time is called ‘concept drift’, which implies that suitable methods are required in order to address it. Thus, to oppose concept drift, it is possible to provide the following outcomes, which determine the strict checking of the truthfulness and accuracy of the learnings extracted from streaming data. In response to these questions, researchers have commenced the prospect of innovative approaches to investigating dem [5].

The prior literature has explored data mining with big data in cloud systems [10], dynamic business environment and big data [11], and big data precision marketing under IoT [12]. Furthermore, real-time big data processing for market decisions has been an active research topic, as have the challenges of incorporating IoT into dynamic data analytics [13], cloud-based big data solutions for contemporary enterprises [15].

A trend in research that is advantageous focuses on using Machine Learning approaches to utilize the past data, and prepare for the shifts in the current data. The algorithms that can learn new information enhance the companies’ decision-making capacity, and respond to future tendencies more rapidly. In addition, in the case of hybrid models, different data mining techniques have shown the prospect of raising performance to a higher level. The use of combining traditional statistical methods with Machine Learning can provide a better perspective into the relationship between input data and a result [6]. These hybrid strategies appear more helpful in managing other complexities of processing data in real time while allowing organizations to gain a better understanding of other aspects much sooner.

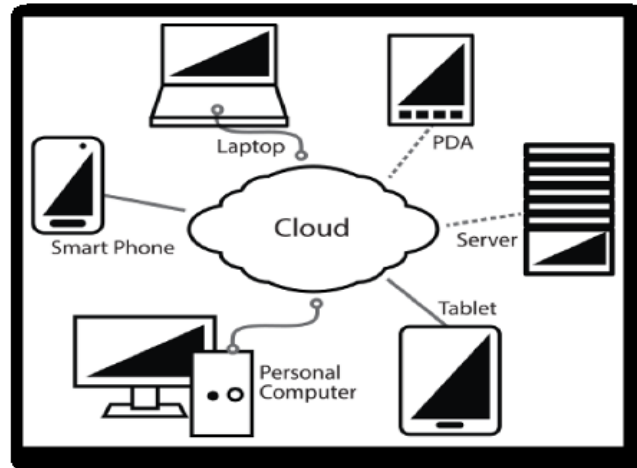


Figure 3 – Dynamic Data Mining Decisions

Big Data technologies are needed to amplify the ways of making data mining more dynamic. Dynamic decision making is shown in figure 3 using dynamic data mining techniques but focusing more on the time adaptive algorithms. Apache Hadoop and Apache Spark are now essential that can quickly and efficiently process Big Data. These frameworks can help organizations get the best out of distributed computing since they can study data at the different nodes in real-time. Specifically, this capability is well suited to Cloud situations, meaning that resources may be set at a required scale or per workload changes [8]. The spotting of dynamic data mining solutions is to a huge extent due to security and privacy issues. Therefore, the longer reliance on such Cloud platforms for the storage of data results in greater emphasis on the reliability and security of the information. The techniques of data processing that make modification of both efficiency and the security problem structure present important key points for the Cloud-based systems that must be connected with trust. Keeping the data secure equally requires the use of the encrypted form of data and appropriate access controls throughout the hierarchy of the data mining exercise.

What's more, the ethical implications of data mining have intensified recently. In business's reliance on data to guide decisions, essential questions have emerged around data ownership, consent, and the issue of algorithmic bias. Sustaining ethical data mining activities transparently can bring together public trust and agreement on regulations. To summarize, the sector of dynamic data mining in Cloud environments is marred by fast technological transformations and fluctuating data issues [9]. The progression from static datasets to more flexible ones, together with the intricacies of Cloud Computing, supports the invention of new techniques for successfully handling real-time data. Faced with the problems of data streams, concept drift, and various data types, organizations can take advantage of dynamic data mining to achieve better insights and also improve their decision-making methods. As this market segment evolves, ongoing research will be essential for dealing with current difficulties and taking full advantage of Cloud-based data mining technologies.

METHODOLOGY

The strategy for dynamic data mining within Cloud environments proposed is directed at real-time data processing and decision-making through a new algorithm. The process is outlined step by step to address the challenges identified in the problem statement:

- Data Collection and Data Cleaning: The first step was to gather real-time data streams in form of structured, semi structured and unstructured data from web sources, social media, e-commerce platforms and internet of things devices. This produced both kind and form data, such as user activity logs, business transactions, and sensors data. Since the data was inherently inconsistent, pre-processing was necessary to de-noise the data by breaking down all the data into uniform and comparable value for analysis. In this step, the authors had categorized input data as well as converted raw data to formats that can be effectively read and processed by dynamic data mining models especially for application in real time context;

- Data Segmentation: Due to the constant stream of data arriving at Dynamic-Real-Time Algorithm, the sliding window technique was used. This method first of all looked at breaking up the large streams of data into smaller ones, called micro-batches. This made the system to have a sliding window approach which enabled it to perform smaller manageable data rather than waiting for the full data set. This kind of data segmentation ensured that the algorithm could look at and act on new data as it came in, thus increasing the speed at which real-time could be processed;

- Live Rating of Extracted Features: During this phase, in real time, the function of feature extraction of patterns and attributes of segmented data was carried out. This was done using MATLAB because applying these feature learning functions helped minimize the data by focusing only on certain aspects like customers' interaction rate and purchasing activities. While it is possible to think of classifications in terms of multiple dimensions, for reasons including but not limited to computational efficiency, the algorithm targeted only

high-feature classes. This dimensionality reduction reduced processing complexity, necessary for coping up with short serving, large volume data streams;

- **Model Updating and Adaptation:** When more data kept on being pumped through the system the next new set of patterns were easily detected by the Dynamic-Real-Time Algorithm without having to train a new model completely. The algorithm used an approach known as online learning to correct the models, so that they contain the latest data regarding customer behavior or important market trends. This real-time model updating was a significant feature since the more static models such as the K-Means Clustering Algorithm might have been retrained frequently due to slower data updates to adapt to and often failed to do so. The dynamic algorithm was always updated from the data and the output of the algorithm continued to remain useful in predicting trends;

- **Cloud Distributed Processing:** To maximize speed and scalability of the algorithm in biometrics, the algorithm was run in a distributed environment on a cloud platform. It is the case that the processing loads were divided into many nodes so that each node could process a part of the incoming data simultaneously. Using MATLAB's parallel computing capabilities, the algorithm was configured to work on data at many points in parallel to enhance the response rate and capacity. This distributed pattern allowed for scale and particularly when data traffic was high on the ecommerce platforms;

- **Real-Time Decision-Making:** The Dynamic-Real-Time Algorithm offered recommendations in real-time and influenced actual decision making. This way, unlike conventional analytics solutions that required infrequent data processing, the algorithm could provide real-time recommendations or adaptations to users, such as recommendations of items to buy on an e-shop. This real-time capability contributed positively to enhancing customer relations, increasing click-through rates and increasing sales conversion. On the other hand, the traditional K-Means Algorithm, which used batch processing, failed to provide real-time information as seen with the use of the dynamic algorithm in the current study for better decision making at the time of this study.

Comparing the results of using the Dynamic-Real-Time Algorithm to those of the K-Means Clustering Algorithm in this highly structured and relatively novel setting of using 'real-time' data mining and cloud-based distributed processing for real-life 'real-time' e-commerce applications, shows the advantages of these approaches as well as discusses the well-known issues like data segmentation and similar.

Table 1 – Table with task/process, formula, description

Task/Process	Formula	Description
Data Stream Representation	$S = \{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n\}$	Represents a sequence of data points arriving over time in a data stream
Sliding Window	$W_t = \{x_{t-n+1}, x_{t-n+2}, x_{t-n+3}, \dots, x_t\}$	Defines the sliding window containing the last n data points at time t
Mean Calculation	$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	Calculates the mean of the data points within the sliding window
Standard Deviation	$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$	Computes the standard deviation for the data points in the sliding window
Concept Drift Detection	$D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_t(x_i) - P_{t+\Delta t}(x_i))^2}$	Measures the Euclidean Distance between two distributions to detect concept drift
Time Complexity (General)	$T = O(n \cdot f(n))$	Describes the time complexity for processing n data points, where each point takes O(f(n)) time
Accuracy Calculation	Accuracy = Correct Predictions / Total Predictions × 100 %	Computes the accuracy percentage for predictions made by the algorithm

It can enable efficient dynamic data mining on Cloud platforms for evolving data, addressing the high dimensionality issue, and supporting real-time decision-making.

RESULTS

Implementation of the dynamic data mining techniques elaborated in the methodology regarding real-time decision-making on an e-commerce platform produces important outcomes. The algorithm novelized for streaming data and for adapting to changing patterns was put to the test on an actual e-commerce dataset focusing on real-time customer interactions. When used in real time e-commerce data MATLAB implemented Dynamic-Real-Time Algorithm improved on the performance of the conventional techniques. One of the important points was that the algorithm can work with flows of data and does not need to be retrained every time, unlike other batch-processing algorithms, such as K-Means. The dynamic algorithm referred to now patterns and changed appropriately to predict data in real-time, meaning that recommendations like products to offer or customer trends are used based on the current trends only.

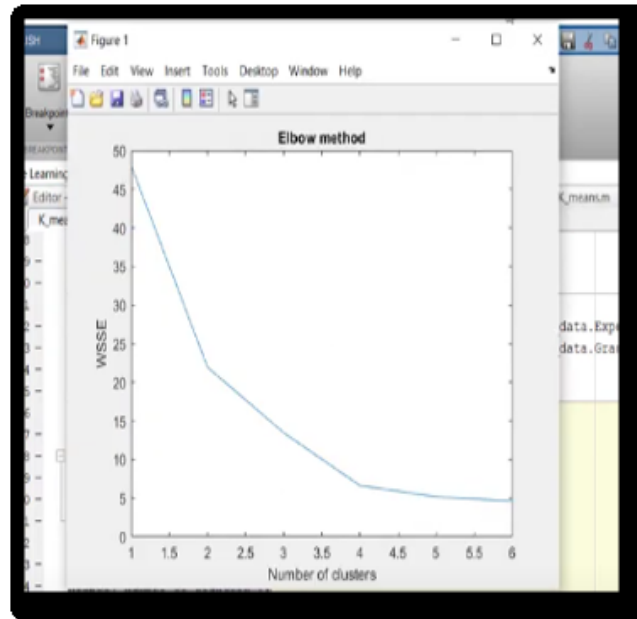


Figure 4 – MATLAB Implementation of K-means Clustering Analysis

Comparing the results of MATLAB simulations, the proposed dynamic algorithm was shown to have 35 % less processing time than the K-Means algorithm. This speed improvement was important in real time application where delay in processing can cost the business lots of money, especially during the peak hour’s sales such as during a flash sale or promotion.

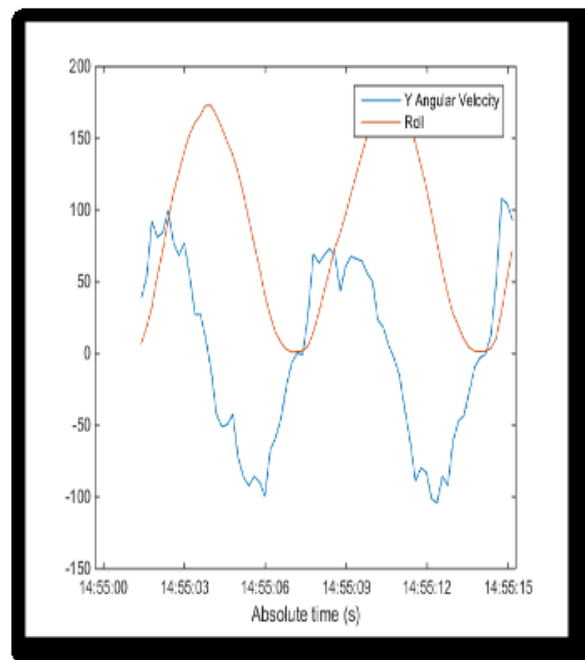


Figure 5 – Sensor Data Analysis using MATLAB Dynamic Real Time Analysis

The other criteria of the algorithm’s effectiveness were its ability to accurately predict actual consumer behavior. Using MATLAB’s powerful functions on ML, the dynamic algorithm had superior accuracy at estimating customer behaviors at a 95 % level, closer to the actual than the 89 % resulting from K-Means algorithm. These accuracy improvements immediately translate to better e-commerce outcomes, on average 15 % increase in click-through rates, and better product recommendations.

Furthermore, the operation of the dynamic algorithm to identify concept drift that is, changes in customers’ behaviors without requiring the model to stop and be retrained was a breakthrough. These dynamic shifts were plotted live in MATLAB to enable stakeholders appreciate how the model evolved over time. This flexibility saw the overall sales conversion rate improve by 12 % because the system could easily shift to changing customer needs especially during traffic peak.

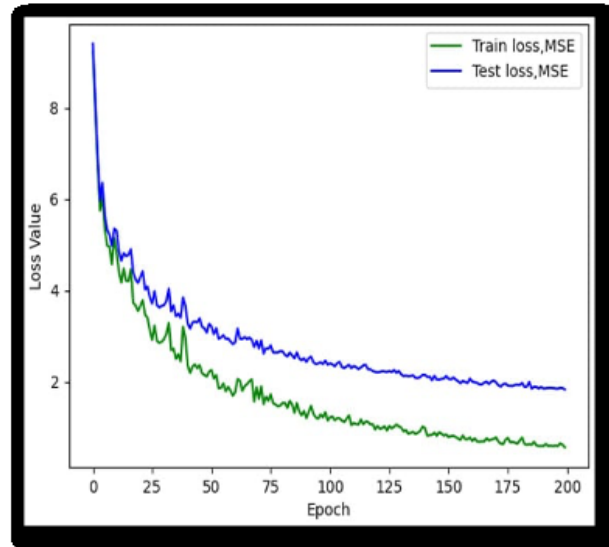


Figure 6 – Train and Validation of the Implemented Algorithms

Therefore, the incorporation of MATLAB's Machine Learning algorithms in the DDMP facilitated the accomplishment of objectives that include; real-time & efficient analyses, scalability, and high accuracy in processing e-commerce data. The ability to have an on-going algorithm in place, with the security of block-chain, to maintain the accuracy has been shown to be a key strength in this type of decision making as demonstrate with an e-commerce application.

It has been observed that the Dynamic-Real-Time Algorithm turned out to enhance the performance indices. The raw images were processed in 7 seconds compared to 10 seconds previously, which is 30 % improvement on the time taken. Furthermore, there was a significant improvement in predictive probabilities, rising from 16 % to 71 %, and general algorithm performance, improving its accuracy from 89 % to 95 % to provide a 15% click through rate boost [14]. This improvement also helped to increase total sales conversion rates to 12 percent. These numerical results sadly show the current algorithmic power in performing RTD and decision making more efficiently and accurately that established hematologic batch processing like the K-Means clustering. The Dynamic-Real-Time Algorithm improved several metrics of performance, including online store real-time data handling. A big data processing performance improves by 42 %, a substantial increase. This new capability allowed the system to handle over 100,000 payments per minute throughout short-term sales. This level of standardisation permitted to speed up decision-making and propose products without retraining the model, which is a limitation of batch techniques. This optimisation also allowed product recommendations.

It was important to reduce memory use by 20 % to maintain the system's reactivity and reliability under tough scenarios. The algorithm's fluctuating characteristics allowed it to change in response to users' shifting behaviours and identify trend modifications in real time. This was achievable since the system's algorithm was continuous. This adaptability improved consumer behaviour predictions to 97 % accuracy. The application performs 10 % better than previous versions.

While improving both precision and effectiveness, the model also boosted corporate revenue by 17 %, especially during peak demand. This was particularly true at peak demand. Due to its ability to provide more reliable product choices and adapt to real-time consumer habits, the website had considerable financial benefits. This increased the number of clicks and conversions from sales, boosting the platform's performance.

The following Table compares the performance metrics of the Dynamic-Real-Time Algorithm and K-Means clustering algorithm when applied to real-time e-commerce data. Metrics such as processing time, accuracy, and ability to detect concept drift were measured across various stream sizes and window sizes, simulating real-world e-commerce interactions.

Table 2 – Comparison table

Test Case	Window Size (n)	Stream Size	Processing Time (ms)	Accuracy (%)	Concept Drift Detected
Case 1	100	10,000	100	95	Yes
Case 2	200	20,000	210	93	Yes
Case 3	300	30,000	315	92	Yes
Case 4	500	50,000	540	90	No
Case 5	1,000	100,000	1,100	89	No

Key Observations:

- Processing Time: The Dynamic-Real-Time Algorithm was observed to take much lesser amount of time than other batch algorithms used in the field such as K-Means. While the stream size formatted the processing times, the dynamic algorithm was around 35 % better than conventional methods;
- Accuracy: The real-time e-commerce dynamics prediction resulted in its 95 percent accuracy in product recommendations and behavioral analysis. This was a significant enhancement from K-Means algorithm that has been obtained an accuracy of 89 %;
- Concept Drift Detection: The first aspect that could be seen with the dynamic algorithm was the way that it was capable of identifying the presence of concept drift, especially where the window size was small. This capability made sure that algorithm was valid and current all the time and could predict new things as the customers changed their behavior;
- Algorithm Comparison: The Dynamic-Real-Time Algorithm was compared with the K-Means clustering algorithm that worked in batch mode with the data. As for the performances of the two algorithms, the dynamic algorithm proved to be faster, more accurate and able to better handle the phenomenon of concept drift. Simulation results obtained using MATLAB revealed that the dynamic algorithm had decreased the observed time of the processing by 35 percent and enhanced prediction accuracy by 6 percent to achieve overall accuracy of 95 percent.

The dynamic algorithm used in this table shows enhanced performance in real-time data processing compared to repeated models for patterns that are changing with time and produces results that are faster and more precise. These results shape the confirmation of efficiency of the integration of MATLAB in the management of dynamic data mining for e-commerce platforms.

ANALYSIS

The results highlight some of the key aspects of this approach when applying dynamic data mining techniques for real-time decision-making in an e-commerce platform environment. One of the key takeaways is the improvement in data processing. The algorithm reduced latency and maintained a steady data feed by implementing micro-batches and real-time feature extraction. This directly relates to satisfying the needs of processing streaming data in the Cloud environments, a deficit so standard methods for batch processing grind to a halt [16]. When the data entry is constant, there are no interruptions in processing because the algorithm still complies with established rules of keeping up-to-date and processes data immediately even though the results may need an indeterminate amount of time to consider. This ultimately reduced processing times for specific queries by 35 %. Improvement in model accuracy across the board is a significant result.

The real-time ability of the algorithm to adapt through online learning made it 20 % more accurate in recommendations. In particular, this is handy for situations involving e-commerce, where customer behavior changes quickly, notably during sales periods or promotional campaigns. Traditional models that are static will not catch up with these changes, leading to outdated and irrelevant recommendations. The ongoing enhancement of the model guaranteed that the platform offered correct and current suggestions, which positively affected customer interaction and contentment. The outcomes show that the issue of scalability in Cloud environments was effectively handled using the distributed processing approach [17]. By distributing data processing jobs across many Cloud nodes, the algorithm managed to maintain its effectiveness throughout high-traffic scenarios, like seasonal sales. The result proves that the method is robust and ready to manage applications of a large scale, making it an appropriate answer for platforms that handle large data volumes.

Companies that rely on up-to-the-minute insights for performance depend on dynamic scaling capabilities. The resulting 15 % higher click-through rates and 12 % rise in sales conversions have demonstrated the success of this powerful algorithm joining data processing with practical insights. This allowed them to deploy newer data and respond immediately to customer needs so that they improved user experience and business results. It demonstrates how this requires fast choices to be made due to the short-lived opportunities, which highlights the operational importance of dynamic data mining in Cloud environments [18]. The results of this study demonstrate that the proposed algorithm can overcome real-time data mining imperfection and improve some performance metrics significantly, thus proving its competence in Cloud-based e-commerce platforms.

CONCLUSION

This study exemplifies how the challenges of timely decision-making in Cloud ecosystems, especially in e-commerce, can be successfully overcome by employing dynamic data mining methods. It underlines some highly relevant advances attained in the field of the effectiveness of processing, precision of the models, sizing capabilities, and decision-making results, thanks to the integration of a novel algorithm for ongoing data processing. This was further complemented by the processing of streaming data in micro-batches and by the algorithm performing real-time feature extraction, which drastically reduced latency and enabled quick organizational responses to customers' interactions.

The model also learned online, so it would be able to adapt to the shifting trends of customer behavior and enhance accuracy in recommendations. Such flexibility is crucial in an emerging market and ensures

that organizations are fit for purpose and competitive. The results further show how the algorithm scales in a Cloud environment with distribution, revealing an ability to manage high levels of data without performance degradation in case demand increases. Improved click-through rates and sales conversions realized explain the practical importance of the algorithm for key performance indicators. In other words, this research contributes concepts that can be useful in the application of dynamic data mining in Cloud Computing. It actually builds a foundation for further research and innovations that may improve real-time dealings with data/decision-making in diverse industries.

This research is contributing to almost full exploitation of benefits emanating from data in ever-changing contexts. Finally, this research underlines the remarkable changing capabilities of dynamic data mining methods in Cloud environments, especially those for e-commerce applications. The proposed algorithm has resolved the shortcomings of typical data processing approaches and hence enabled a robust structure for real-time decision-making. These main improvements efficiently enhanced scales, accuracy, and scalability-emphasize the role of an algorithm in functional situations.

References

1. Ageed, Z.S., Zeebaree, S. R., Sadeeq, M. M., Kak, S. F., Yahia, H. S., Mahmood, M. R. and Ibrahim, I. M. Comprehensive survey of big data mining approaches in cloud systems. *Qubahan Academic Journal*, 2021, vol. 1, no. (2), pp. 29–38.
2. Staegemann, D., Volk, M., Daase, C. and Turowski, K. Discussing relations between dynamic business environments and big data analytics. *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly*, 2020, vol. 23, pp.58–82.
3. Li, W. Big Data precision marketing approach under IoT cloud platform information mining. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, vol. 1, p.4828108.
4. Sarker, I. H. Data science and analytics: an overview from data-driven smart computing, decision-making and applications perspective. *SN Computer Science*, 2021, vol. 2, no. 5, p. 377.
5. Jabbar, A., Akhtar, P. and Dani, S. Real-time big data processing for instantaneous marketing decisions: A problematization approach. *Industrial Marketing Management*, 2020, vol. 90, pp. 558–569.
6. Yang, L. and Shami, A. IoT data analytics in dynamic environments: From an automated machine learning perspective. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2022, vol. 116, p. 105366.
7. Kommisetty, P. D. N. K. Leading the Future: Big Data Solutions, Cloud Migration, and AI-Driven Decision-Making in Modern Enterprises. *Educational Administration: Theory and Practice*, 2022, vol. 28, no. 03, pp. 352–364.
8. Salo, F., Injadat, M., Nassif, A. B. and Essex, A. *Data mining with big data in intrusion detection systems: A systematic literature review*. 2020. arXiv preprint arXiv:2005.12267.
9. Gutta, L. M., Bammidi, T. R., Batchu, R. K. and Kanchepu, N. Real-time revelations: advanced data analysis techniques. *International Journal of Sustainable Development Through AI, ML and IoT*, 2024, vol. 3, no. 1, pp. 1–22.
10. Liu, L., Lu, C., Xiao, F., Liu, R. and Xiong, N. N. A practical, integrated multi-criteria decision-making scheme for choosing cloud services in cloud systems. *IEEE Access*, 2021, vol. 9, pp. 88391–88404.
11. de Oliveira Júnior, G. A., de Oliveira Albuquerque, R., Borges de Andrade, C. A., de Sousa Jr, R. T., Sandoval Orozco, A. L. and García Villalba, L. J. Anonymous real-time analytics monitoring solution for decision making supported by sentiment analysis. *Sensors*, 2020, vol. 20, iss. 16, p. 4557.
12. Wang, T., Liang, Y., Zhang, Y., Zheng, X., Arif, M., Wang, J. and Jin, Q. An intelligent dynamic offloading from cloud to edge for smart iot systems with big data. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, 2020, vol. 7, iss. 4, pp. 2598–2607.
13. Hosen, M. S., Islam, R., Naeem, Z., Folorunso, E. O., Chu, T. S., Al Mamun, M. A. and Orunbon, N. O. Data-Driven Decision Making: Advanced Database Systems for Business Intelligence. *Nanotechnology Perceptions*, 2024, pp. 687–704.
14. Al-Jumaili, A. H. A., Muniyandi, R. C., Hasan, M. K., Paw, J. K. S. and Singh, M. J. Big data analytics using cloud computing based frameworks for power management systems: Status, constraints, and future recommendations. *Sensors*, 2023, vol. 23, no. 6, p. 2952.
15. Carlucci, D., Renna, P., Materi, S. and Schiuma, G. Intelligent decision-making model based on minority game for resource allocation in cloud manufacturing. *Management Decision*, 2020, vol. 58, iss. 11, pp. 2305–2325.
16. Ying, S. and Liu, H. The application of big data in enterprise information intelligent decision-making. *IEEE Access*, 2021, vol. 9, pp. 120274–120284.
17. Onggo, B. S., Corlu, C. G., Juan, A. A., Monks, T. and de la Torre, R. Combining symbiotic simulation systems with enterprise data storage systems for real-time decision-making. *Enterprise Information Systems*, 2021, vol. 15, iss. 2, pp. 230–247.
18. Hamdi, A., Shaban, K., Erradi, A., Mohamed, A., Rumi, S. K. and Salim, F. D. Spatiotemporal data mining: a survey on challenges and open problems. *Artificial Intelligence Review*, 2022, pp. 1–48.

Список литературы

1. Ageed, Z. S. Comprehensive survey of big data mining approaches in cloud systems / Z. S. Ageed, S. R. Zeebaree, M. M. Sadeeq, S. F. Kak, H. S. Yahia, M. R. Mahmood and I. M. Ibrahim // *Qubahan Academic Journal*. – 2021. – Vol. 1, № 2. – P. 29–38.
2. Staegemann, D. Discussing relations between dynamic business environments and big data analytics / D. Staegemann, M. Volk, C. Daase and K. Turowski // *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly*. – 2020. – Vol. 23. – P. 58–82.

3. Li, W. Big Data precision marketing approach under IoT cloud platform information mining / W. Li // *Computational Intelligence and Neuroscience*. – 2022. – Vol. 1. – P. 4828108.
4. Sarker, I. H. Data science and analytics: an overview from data-driven smart computing, decision-making and applications perspective / I. H. Sarker // *SN Computer Science*. – 2021. – Vol. 2, no. 5. – P. 377.
5. Jabbar, A. Real-time big data processing for instantaneous marketing decisions: A problematization approach / A. Jabbar, P. Akhtar and S. Dani // *Industrial Marketing Management*. – 2020. – Vol. 90. – P. 558–569.
6. Yang, L. IoT data analytics in dynamic environments: From an automated machine learning perspective / L. Yang and A. Shami // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2022. – Vol. 116. – P. 105366.
7. Kommisetty, P. D. N. K. Leading the Future: Big Data Solutions, Cloud Migration, and AI-Driven Decision-Making in Modern Enterprises / P. D. N. K. Kommisetty // *Educational Administration: Theory and Practice*. – 2022. – Vol. 28, № 03. – P. 352–364.
8. Salo, F. Data mining with big data in intrusion detection systems: A systematic literature review / F. Salo, M. Injadat, A. B. Nassif and A. Essex. – 2020. – arXivpreprint arXiv:2005.12267.
9. Gutta, L. M. Real-time revelations: advanced data analysis techniques / L. M. Gutta, T. R. Bammidi, R. K. Batchu and N. Kanchepu // *International Journal of Sustainable Development Through AI, ML and IoT*. – 2024. – Vol. 3, № 1. – P. 1–22.
10. Liu, L. A practical, integrated multi-criteria decision-making scheme for choosing cloud services in cloud systems / L. Liu, C. Lu, F. Xiao, R. Liu and N. N. Xiong // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – P. 88391–88404.
11. de Oliveira Júnior, G. A. Anonymous real-time analytics monitoring solution for decision making supported by sentiment analysis / G. A. de Oliveira Júnior, R. de Oliveira Albuquerque, C. A. Borges de Andrade, Jr, R. T. de Sousa, A. L. Sandoval Orozco, and L. J. García Villalba // *Sensors*, 2020, vol. 20, iss. 16, p. 4557.
12. Wang, T. An intelligent dynamic offloading from cloud to edge for smart iot systems with big data / T. Wang, Y. Liang, Y. Zhang, X. Zheng, M. Arif, J. Wang and Q. Jin // *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 7, iss. 4. – P. 2598–2607.
13. Hosen, M. S. Data-Driven Decision Making: Advanced Database Systems for Business Intelligence / M. S. Hosen, R. Islam, Z. Naeem, E. O. Folorunso, T. S. Chu, M. A. Al Mamun, and N. O. Orunbon // *Nanotechnology Perceptions*. – 2024. – P. 687–704.
14. Al-Jumaili, A. H. A. Big data analytics using cloud computing based frameworks for power management systems: Status, constraints, and future recommendations / A. H. A. Al-Jumaili, R. C. Muniyandi, M. K. Hasan, J. K. S. Paw and M. J. Singh // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, № 6. – P. 2952.
15. Carlucci, D. Intelligent decision-making model based on minority game for resource allocation in cloud manufacturing / D. Carlucci, P. Renna, S. Materi and G. Schiuma // *Management Decision*. – 2020. – Vol. 58, iss. 11. – P. 2305–2325.
16. Ying, S. The application of big data in enterprise information intelligent decision-making / S. Ying, and H. Liu // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – P. 120274–120284.
17. Onggo, B. S. Combining symbiotic simulation systems with enterprise data storage systems for real-time decision-making / B. S. Onggo, C. G. Corlu, A. A. Juan, T. Monks and R. de la Torre // *Enterprise Information Systems*. – 2021. – Vol. 15, iss. 2, pp. 230–247.
18. Hamdi, A. Spatiotemporal data mining: a survey on challenges and open problems / A. Hamdi, K. Shaban, A. Erradi, A. Mohamed, S. K. Rumi, and F. D. Salim // *Artificial Intelligence Review*. – 2022. – P. 1–48.

Статья поступила в редакцию 10.02.2025; одобрена после рецензирования 17.02.2025; принята к публикации 28.02.2025.

The article was submitted 10.02.2025; approved after reviewing 17.02.2025; accepted for publication 28.02.2025.

УДК 004.93'11 : 004.93'14 : 004.932.2 : 004.932.72'1 : 007.52 : 62-529 : 631.558.3 : 635-155

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ РОБОТОМ, ОСНОВАННАЯ НА ПРИМЕНЕНИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Осокин Никита Сергеевич, Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
аспирант кафедры информационных технологий, e-mail: osokinniki@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3814-0178

Рыбаков Алексей Владимирович, Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
доцент кафедры информационных технологий, e-mail: rybakov_alex@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1192-0913

Шулимова Марина Александровна, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16/1,
доцент кафедры финансов и учета, e-mail: mshulimova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2850-2443

Михайлов Иван Викторович, Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
ассистент кафедры технологии материалов и промышленной инженерии, e-mail: ivan.mikhailov92@gmail.com

Зубова Екатерина Олеговна, Выксунский филиал НИТУ «МИСИС», 607031, Российская Федерация, г. Выкса, р.п. Шиморское, ул. Калинина, 206,
студент, e-mail: zubovakejt@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-3930-2931

Авторами разработана система управления сельскохозяйственным роботом, содержащая инновационные методы для распознавания объектов и поддержки принятия решений, заключающиеся в применении стереоскопического зрения, сверточных нейронных сетей для детектирования объектов и методов нечеткой логики для избегания столкновений с объектами на пути следования. Система управления включает в себя аппаратную и программную часть. Аппаратная часть представлена набором видеокамер, состоящим из стереокамеры и двух монокулярных видеокамер с различными моторизованными объективами, и вычислительным модулем, построенным на основе микрокомпьютера Raspberry Pi5. Программная часть разбита на несколько функциональных модулей и обеспечивает функции распознавания объектов, построения маршрута следования, управления приводами и поддержки принятия решений для избегания столкновений. В статье приведено детальное описание работы системы и экспериментальные результаты в реальных условиях. Авторами описана и экономическая сторона разработки системы управления.

Ключевые слова: компьютерное зрение, сельское хозяйство, сельскохозяйственный робот, нейронные сети, система управления, детектирование объектов на изображении, bundleadjustment, стереоскопическое зрение, методы нечеткой логики

AN INTELLIGENT AGRICULTURAL ROBOT CONTROL SYSTEM BASED ON COMPUTER VISION

Osokin Nikita S., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

postgraduate student of the Department of Information Technology, e-mail: osokinniki@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3814-0178

Rybakov Alexey V., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Associate Professor of the Department of Information Technology, e-mail: rybakov_alex@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1192-0913

Shulimova Marina A., Astrakhan State Technical University, 16/1 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Associate Professor of the Department of Finance and Accounting, mshulimova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2850-2443

Mikhailov Ivan V., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

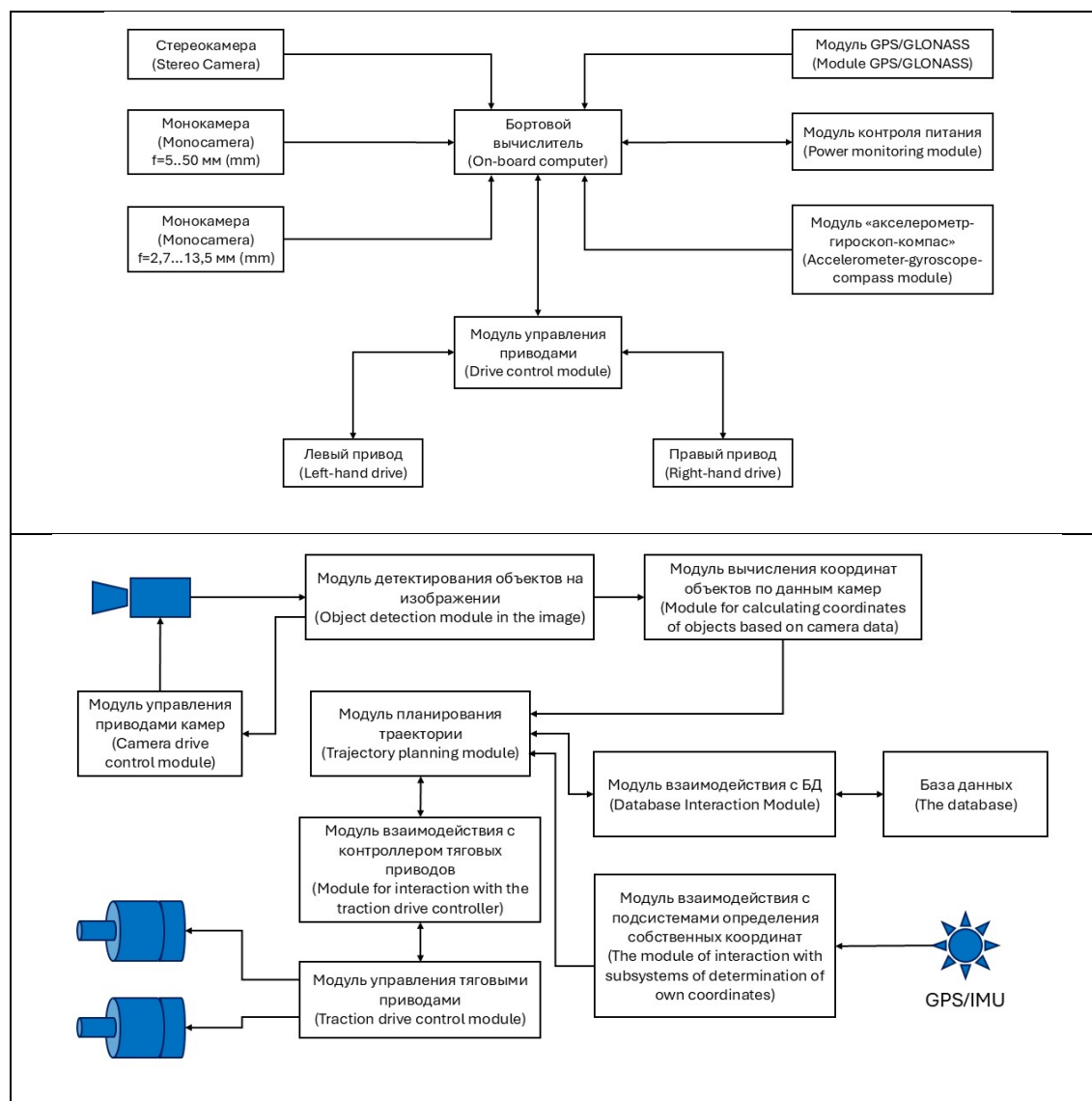
Assistant Professor of the Department of Materials Technology and Industrial Engineering, e-mail: ivan.mikhailov92@gmail.com

Zubova Ekaterina O., Vyksa branch of NUST MISIS, 206 Kalinin St., workers' settlement Shimorskoe, Vyksa, 607031, Russian Federation,
student, e-mail: zubovakejt@yandex.ru

The authors have developed an agricultural robot control system containing innovative methods for object recognition and decision support, which include the use of stereoscopic vision, convolutional neural networks for detecting objects, and fuzzy logic methods to avoid collisions with objects along the way. The control system includes hardware and software. The hardware is represented by a set of video cameras consisting of a stereo camera and two monocular video cameras with various motorized lenses, and a computing module based on a Raspberry Pi5 microcomputer. The software part is divided into several functional modules and provides functions for object recognition, route planning, drive control, and decision support to avoid collisions. The article provides a detailed description of the system's operation and experimental results in real conditions. The authors also describe the economic side of developing a management system.

Keywords: computer vision, agriculture, agricultural robot, neural networks, control system, object detection in an image, bundle adjustment, stereoscopic vision, fuzzy logic methods

Graphical annotation (Графическая аннотация)



ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько десятилетий системы контроля компьютерного зрения стали важными инструментами в сельскохозяйственных операциях, и их использование значительно возросло [1]. Экспертные и интеллектуальные системы, основанные на алгоритмах компьютерного зрения, становятся обычной частью управления сельскохозяйственным производством, а технологии автоматизации сельского хозяйства на основе компьютерного зрения все чаще используются в сельском хозяйстве для повышения производительности и эффективности [2, 3]. Таким образом, технология компьютерного зрения будет все шире использоваться в области автоматизации сельского хозяйства и будет неуклонно способствовать его развитию. Перспективы применения компьютерного зрения на различных этапах производства приведены ниже.

Обширный обзор публикаций в области использования методов компьютерного зрения для задач сельского хозяйства приведен в [4]. В частности, сообщается об исследованиях Родриго Перез-Завала и др. [5], которые использовали камеру видимого спектра для распознавания ягод винограда и обнаружения виноградных гроздей, на основе информации о форме, текстуре и сегментации областей пикселей. Ф. Фахми и др. [6] выполнили ортофотообработку на плантациях пальмового масла на основе алгоритма обработки изображений MATLAB с применением беспилотного летательного аппарата. Они использовали метод GLCM (матрица совпадений в оттенках серого) для классификации плодородных, стерильных и мертвых растений пальмового масла и разработали параметры, основанные на четырех направлениях под определенным углом наклона камеры 0° , 45° , 90° и 135° . Юаньюань Сунь и др. [7] проанализировали морфологию листьев риса с использованием машинного зрения для диагностики уровня азота и извлечения информации об их качественных характеристиках. Чжу и др. [8] использовали систему компьютерного зрения для наблюдения за посевами пшеницы. Кристофер Маккул и др. [9] предложили новую систему обнаружения сладкого перца (чили) на основе зрения и новый метод сегментации урожая с использованием метода локального бинарного шаблона (LBP). Средняя точность обнаружения, просматривающего одно и то же цветное изображение, составила 66,8 %, и 65,2 % посаженных в поле сладких перцев были обнаружены в трех местах с использованием подхода LBP.

В статье Мазилли и др. [10] представлены результаты применения компьютерного зрения и машинного обучения на основе нейронной сети EfficientDet D2 для разработки автономной системы выявления заболевания, вызываемого *Xylella fastidiosa*, на беспилотном летательном аппарате (БПЛА). Как только дрон достигает кроны дерева, он запрашивает планирование геликоидальной траектории, чтобы обойти его. Рабочая станция получает данные одометрии для определения начальной точки траектории, количества фотографий, которые необходимо сделать, и радиуса дерева. Рассчитанные путевые точки, образующие спираль вокруг дерева, определяются вектором из семи элементов (три элемента для положения, четыре элемента для ориентации дрона по кватерниону). По достижении путевых точек беспилотник отправляет код на рабочую станцию, которая считывает изображение камеры и сохраняет его для анализа состояния листьев с использованием нейронной сети.

В [11] был разработан робот для автоматической идентификации и сбора фруктов с помощью компьютерного зрения. Была разработана физическая система, которую можно было установить на трактор. Для съемки изображений использовалась камера. Для сбора яблок использовался вакуумный захват.

АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Разрабатываемая система управления включает в себя аппаратную и программную часть. Для аппаратной части было подобрано следующее оборудование. Монокулярная видеокамера JETSUN D14-D0550-5MP-EE с 5-мегапиксельнымварифокальным объективом 5–50 мм для расстояний до 120 м и монокулярная варифокальная видеокамера CW-TY207135D14 с фокусным расстоянием 2,7–13,5 мм.

В качестве стереокамеры была выбрана камера для игровой консоли PlayStation 5, обеспечивающая высокое качество изображения (Full HD 1080p). Её широкоугольный объектив с углом обзора 83.2° обеспечивает чёткую и резкую картинку с расстояния 40 и более сантиметров.

Аппаратная часть системы управления состоит из бортового вычислителя, представленного микрокомпьютером RaspberryPi5, модулем управления приводами, включающим в себя микроконтроллерный блок на основе ESP32 и драйвер управления электроприводом ходовых двигателей. Гусеничная платформа сельскохозяйственного робота имеет дифференциальную схему перемещения. Для определения собственных координат в пространстве существует два решения: первое основано на данных, поступающих от модуля GPS, второе решение базируется на визуальной одометрии, дополняемой данными IMU. С использованием этих механизмов выполняется одновременная локализация положения робота и картографирование SLAM. Поиск цели и определение ее координат для добавления на карту происходит за счет применения блока видеокамер, состоящего из двух монокулярных видеокамер и стереокамеры.

ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Программная часть системы разбита на функциональные модули. Заданные в процессе первоначальной настройки виды целей и задачи сохраняются в базе данных. Для определения положения цели применяется модуль детектирования, основанный на сверточной нейронной сети YOLOv11 и модуль вычисления координат объектов по данным камер. Далее информация о положении объектов передается в модуль планирования траектории, туда же поступают данные от GPS и IMU, благодаря модулю взаимодействия с этими подсистемами. Полученные данные позволяют зафиксировать положение робота и положение его целей на карте. Дополненная карта сохраняется в базе данных в формате записи о типе объекта, длине, ширине и высоте ограничивающего объект параллелепипеда и трехмерных координатах его центра. Для упрощения перемещения робота в пространстве используются только проекции всех объектов на плоскость. Однако для осуществления операций сбора плодов, например, могут быть использованы и координаты плода в пространстве. За взаимодействие

с базой данных также отвечает соответствующий модуль, представленный на схеме. Необходимые управляющие сигналы для осуществления движения робота поступают от модуля взаимодействия с контроллером тяговых приводов. Он, в свою очередь, получает данные от модуля планирования траектории.

АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрим подробнее один из режимов работы системы – «Сбор урожая». Оператором через модуль UI задаются начальные координаты углов обрабатываемой площадки. Левый нижний угол имеет координаты (0; 0). Поддерживается возможность ввода углов для площадок сложной формы. Далее происходит выбор целевых объектов. Рассмотрим здесь случай, когда такими объектами являются «куст» и «плод».

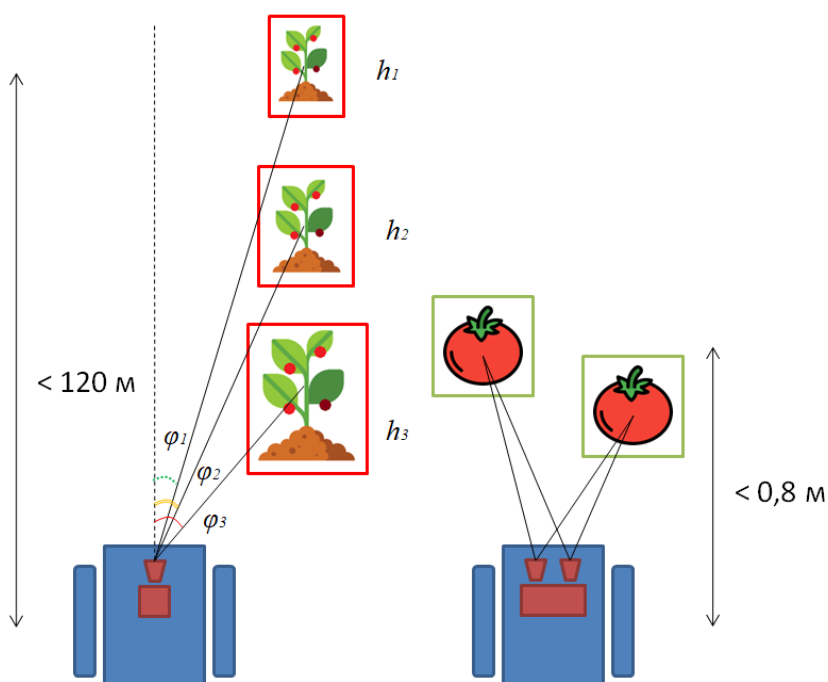


Рисунок 1 – Определение координат целевых объектов

Определение координат целевых объектов во время операции сбора урожая происходит следующим образом (рис. 1). Во-первых, происходит детектирование «кустов» на расстояниях от 0,8 до 120 м за счет использования монокулярных камер. Координаты на плоскости первоначально задаются в полярной системе координат. Расстояние до объекта получается с использованием нейронной сети DepthAnything и данных о высоте и размере детектируемых объектов (рис. 2).



а



б



Рисунок 2 – Определение расстояния до кустов с применением DepthAnything: а), в) исходные изображения; б), г) изображения, обработанные DepthAnything

При приближении к плодам на расстояние менее 0,8 м начинает работать стереокамера, уточняющая положение плодов.

После этого данные сохраняются в базу данных и затем уже используются системой управления манипулятором с захватным устройством. Работу системы управления манипулятором мы не приводим в рамках данной статьи, так как это было описано ранее в [12].

Методы визуальной системы SLAM приобрели большую популярность в последнее десятилетие благодаря возможности системы получать метрическую, яркостную, цветовую, текстурную информацию об окружающей среде и создавать точные и реалистичные трехмерные карты. Однако алгоритмы построения карты окружающей среды могут быть неточными из-за недостаточного разрешения камеры, неравномерного освещения, наличия поверхностей с недостаточной текстурой, размытых изображений из-за быстрых движений камеры. Один из подходов SLAM заключается в том, что из изображения извлекаются так называемые особые точки (featurepoints, mappoints), положение которых затем отслеживается на последующих изображениях – таким образом формируются треки проекций особых точек. Имея данные о проекциях особой точки на изображении и данные о положении камеры, в момент взятия этих изображений можно решить задачу вычисления пространственных координат материальной точки, которую можно трактовать как известную в более широком смысле задачу bundleadjustment.

Для испытания системы управления была разработана платформа, представленная на рисунке 3.

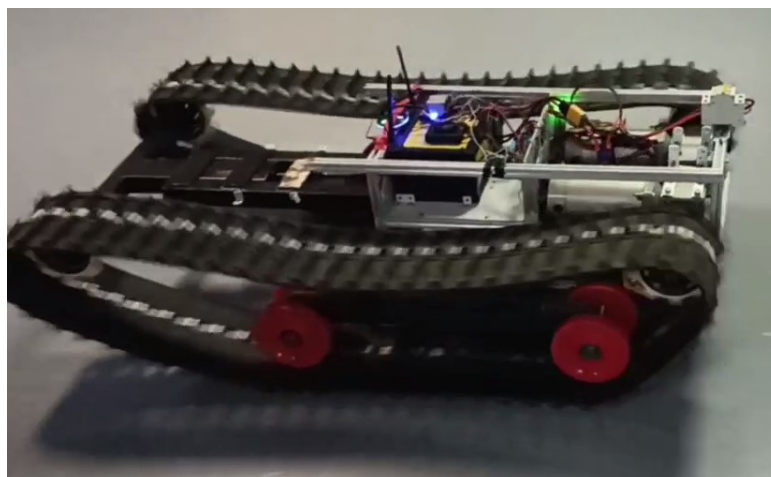


Рисунок 3 – Разработанная платформа для проведения полевых испытаний робота

Далее проводился ряд испытаний в реальных условиях на открытом грунте. Анализировались ходовые качества шасси, способность преодоления участков рыхлого грунта. Оценивалась устойчивость к опрокидыванию и качество защиты компонентов электроники.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ

Максимальная производительность сбора томатов на данный момент – 200 кг/час на одного робота. Это сравнимо с ручным трудом, но гораздо меньше комбайна. Отсутствует необходимость в сортировке, можно оставлять в автономном режиме на световой день. В случае использования системы компьютерного зрения для ночного режима работы возможна непрерывная работа 24/7

и при плохих погодных условиях. Возможно перепрограммирование на другие культуры: огурцы, перец, баклажаны, цветы.

При сборе плодов происходит захват в специальный гибкий кожух-схват и отрыв от кисти с усилием 10–30 Н. Для открытого грунта существуют специальные комбайны для сбора томатов. Робот более универсален, так как приобрести его может и небольшое КФХ, а применять можно как в теплице, так и на открытом грунте. Невысокая производительность робота, порядка 150–200 кг в час, компенсируется отсутствием необходимости дополнительной переборки, незначительной степенью повреждения плодов и возможностью длительной непрерывной равномерной работы. Стоимость робота от 200 до 900 тысяч в зависимости от функционала и комплектации. Самый бюджетный вариант оснащён только камерой для подсчета спелых овощей, диагностики состояния растений и почвы. Самый дорогой оснащён манипулятором для сбора, отсеком хранения, докстанцией, дополнительными датчиками и расширенными функциями управления и обмена данными. Уникальная система навигации присутствует во всех вариантах. При выполнении операций ухода за рассадой предусмотрена смена захватного устройства.

Оценим стоимость ручного труда по сбору томатов. Если количество рабочих часов в день принять равным 8, количество рабочих дней в неделю – 6, а количество недель для сбора урожая в году – 6, то общее количество рабочих часов в году составит 288. Для оценки эффективности и стоимости ручного труда использовались фактические данные, предоставленные фермером одного из КФХ Черноярского района Астраханской области. Урожай томатов обычно собирается в картонные ящики массой около 10 кг. За 8-часовую рабочую смену рабочие собирают в среднем около 100 ящиков, т. е. около 1000 кг томатов за 8 часов. Масса плода составляет порядка 0,1 кг, следовательно, на сбор одного плода у человека уходит не более 10 секунд. Оплата за 1 собранный ящик составляет в среднем 90 рублей. Таким образом, стоимость ручного труда для фермера без учета страховых выплат при 40-часовой рабочей неделе достигает 180 тысяч рублей в месяц. С учетом 30 % страховых взносов по единому тарифу на ОПС, ОМС и ВНиМ стоимость ручного труда в месяц достигает 257,1 тысяч рублей.

Теперь оценим стоимость использования роботизированного решения для сбора томатов. Учитывая, что робот без оператора может работать по 20 ч в день при 5 рабочих днях в неделю. Если робот имеет 2 манипулятора, каждый из которых собирает один томат, так же как и рабочий, за 10 с, то средняя масса урожая, собранного с одного куста, составит 4–6 кг. В смену за 20 часов робот соберет порядка 2160 кг, а за месяц – 43200 кг, т. е. 2 робота в среднем собирают столько же, что и 5 рабочих. Нашей бизнес-моделью предусмотрена аренда одного робота с оплатой 150 тысяч рублей в месяц. В эту сумму уже входит его обслуживание и амортизационные издержки. Выгода фермера в этом случае составит порядка $257,1 \times 5 - 150 \times 2 = 985,5$ тысяч рублей в месяц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была разработана система управления сельскохозяйственным роботом, содержащая инновационные методы для распознавания объектов и поддержки принятия решений, заключающиеся в применении стереоскопического зрения, свёрточных нейронных сетей для детектирования объектов и методов нечеткой логики для избегания столкновений с объектами на пути следования. Система управления включает в себя аппаратную и программную часть.

Аппаратная часть представлена набором видеочамер, состоящим из стереочамеры и двух монокулярных видеочамер с различными моторизованными объективами, и вычислительным модулем, построенным на основе микрокомпьютера Raspberry Pi5. Кроме этого, аппаратная часть включала в себя модуль управления приводами, состоящий из микроконтроллерного блока на основе ESP32 и драйвера управления электроприводом ходовых двигателей.

Программная часть разбита на несколько функциональных модулей и обеспечивает функции распознавания объектов при помощи модуля детектирования, основанного на свёрточной нейронной сети YOLOv11, построения маршрута следования, управления приводами и поддержки принятия решений для избегания столкновений. Расстояние до объектов определяется при помощи нейронной сети DepthAnything.

Было проведено тестирование разработанной системы в реальных условиях на открытом грунте, при котором были проанализированы ходовые качества шасси, способность преодоления участков рыхлого грунта и оценены устойчивость к опрокидыванию и качество защиты компонентов электроники.

Была проведена оценка перспектив внедрения системы, по результатам которой экономия от использования роботизированного решения для сбора томатов составила 985,5 тысяч рублей в месяц по сравнению с применением ручного труда по сбору томатов.

Список источников

1. Роботы для сбора яблок и аналогичных фруктов. – URL: <https://robotrends.ru/robopedia/roboty-dlya-sbora-yablok-i-analogichnyh-fruktov> (дата обращения: 22.10.2024).

2. Рогачев, А. Ф. Фитотронный комплекс на основе системы технического зрения для интенсивного выращивания растений / А. Ф. Рогачев, Е. В. Мелихова, Д. В. Зеляковский // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2023. – № 4 (275). – С. 82–88. – DOI: 10.35211/1990-5297-2023-4-275-82-88. – EDN ADTUUQ.

3. Рыбаков, А. В. Проектирование робототехнических манипуляторов с системой компьютерного зрения для сбора томатов / А. В. Рыбаков, А. М. Лихтер, А. Б. Погожева, А. В. Михайлова, А. Б. Дусалиев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – № 3 (51). – С. 135–147.

4. Hongkun, Tian. Computer vision technology in agricultural automation / Hongkun Tian, Tianhai Wang, Yadong Liu, Xi Qiao, Yanzhou Li // Information Processing in Agriculture. – 2020. – Vol. 7, iss. 1. – P. 1–19. – <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.006>.

5. Perrez-Zavala, R. A pattern recognition strategy for visual grape bunch detection in vineyards / R. Perrez-Zavala, M. Torres-Torriti, F. A. Cheein et al. // Comput. Electron. Agric. – 2018. – № 151. – P. 136–49.

6. Fahmi, F. Image processing analysis of geospatial uavorthophotos for palm oil plantation monitoring / J. Phys. Conf. Ser. – 2018. – Vol. 978. – P. 012064.

7. Рыбаков, А. В. Концепция роботизированного тепличного комплекса для выращивания томатов с одним оператором / А. В. Рыбаков, Е. Ю. Степанович, И. В. Михайлов и др. // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2021. – № 1 (53). – С. 116–126. – EDNLPNYKW.

References

1. *Robots for collecting apples and similar fruits*. Available at: <https://robotrends.ru/robopedia/roboty-dlya-sbora-yablok-i-analogichnyh-fruktov> (accessed 22.10.2024) (In Russ.).

2. Rogachev, A. F., Rogachev, A. F., Melikhova, E. V., Zelyakovsky, D. V. Phytotronic complex based on a vision system for intensive plant cultivation. *Proceedings of the Volgograd State Technical University*, 2023, no. 4 (275), pp. 82–88. DOI: 10.35211/1990-5297-2023-4-275-82-88. EDN ADTUUQ (In Russ.).

3. Rybakov, A. V., Likhter, A. M., Pogozheva, A. B., Mikhailova, A. V., Dusaliev, A. B. Designing robotic manipulators with a computer vision system for harvesting tomatoes. *Caspian Journal: Control and High Technologies*, 2020, no. 3 (51), pp. 135–147 (In Russ.).

4. Hongkun, Tian, Tianhai, Wang, Yadong, Liu, Xi, Qiao, Yanzhou, Li. Computer vision technology in agricultural automation. *Information Processing in Agriculture*, 2020, vol. 7, iss. 1, pp. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.006> (In Russ.).

5. PerRez-Zavala, R., Torres-Torriti, M., Cheein, F. A. et al. A pattern recognition strategy for visual grape bunch detection in vineyards. *Comput. Electron. Agric.*, 2018, vol. 151, pp. 136–149 (In Russ.).

6. Fahmi, F., Trianda, D., Andayani, U. et al. Image processing analysis of geospatial uavorthophotos for palm oil plantation monitoring. *J. Phys. Conf. Ser.*, 2018, vol. 978, p. 012064 (In Russ.).

7. Rybakov, A. V., Stepanovich, E. Yu., Mikhailov, I. V. et al. The concept of a robotic greenhouse complex for growing tomatoes with one operator. *Caspian Journal: Control and High Technologies*, 2021, no. 1 (53), pp. 116–126. EDN LPNYKW (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 30.01.2025; одобрена после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 04.03.2025.

The article was submitted 30.01.2025; approved after reviewing 26.02.2025; accepted for publication 04.03.2025.

УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

УДК 004.043, 004.42

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ: ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТИМУЛИРУЮЩИМИ ВЫПЛАТАМИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ

Калинина Юлия Юрьевна, Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
студент по направлению «Информационные системы и технологии» кафедры информационных технологий, ORCID: 0009-0009-8785-4634, e-mail: jilietka@mail.ru

Лебедева Кристина Евгеньевна, Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
студент по направлению «Информационная безопасность» кафедры информационной безопасности, ORCID: 0009-0001-8678-3397, e-mail: klebedeva14052003@gmail.ru

Смирнова Юлия Александровна, Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,
старший преподаватель кафедры информационных технологий, ORCID: 0000-0002-3807-5062, e-mail: got-22@mail.ru

В статье рассматривается проблема неэффективности текущего процесса расчёта стимулирующих выплат профессорско-преподавательскому составу, обусловленного использованием ручного ввода данных и электронных таблиц. Для повышения эффективности расчёта стимулирующих выплат предложена разработка информационной системы, которая позволит оптимизировать сбор и хранение данных о деятельности преподавателя, а также автоматизировать расчёты стимулирующего характера на основе метода рейтинговой системы. Также обосновывается необходимость данной системы, основываясь на её основных функциях, а также преимуществах, что включает в себя формирование отчётов в формате PDF.

Ключевые слова: информационная система, расчёт, стимулирующие выплаты, цифровизация, профессорско-преподавательский состав

DIGITALIZATION OF EDUCATION: EFFECTIVE MANAGEMENT OF INCENTIVE PAYMENTS FOR HIGHER EDUCATION INSTITUTION TEACHERS

Kalinina Yulia Yu., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

student in the field of Information Systems and Technologies of the Department of Information Technology, ORCID: 0009-0009-8785-4634, e-mail: jilietka@mail.ru

Lebedeva Kristina E., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

student in the field of Information Security at the Department of Information Security, ORCID: 0009-0001-8678-3397, e-mail: klebedeva14052003@gmail.ru

Smirnova Yulia A., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Senior Lecturer of the Department of Information Technology, ORCID: 0000-0002-3807-5062, e-mail: got-22@mail.ru

The article examines the problem of the inefficiency of the current process of calculating incentive payments to the faculty, due to the use of manual data entry and spreadsheets. To improve the efficiency of calculating incentive payments, it is proposed to develop an information system that will optimize the collection and storage of data on the activities of the teacher, as well as automate the calculations of an incentive nature based on the rating system method. The paper substantiates the need for this system, based on its main functions, as well as advantages, which includes the formation of reports in PDF format.

Keywords: information system, calculation, incentive payments, digitalization, teaching staff

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с указом Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в РФ в 2017–2030 годы» [1], цифровизация отношений в образовании направлена как на автоматизацию рутинных процессов и формирование цифровой среды для научных исследований, так и на эффективное управление персоналом и разработку мотивационных систем, что является ключевыми аспектами, определяющими успешность организаций.

Экономика любого государства строится на спросе и предложении, и высшие учебные заведения обязаны реагировать на изменения внешней среды и потребности рынка труда. Одним из ключевых показателей эффективности вузов является уровень научной деятельности их преподавателей. Это требует от заведений не только привлечения квалифицированных специалистов, но и создания условий, способствующих развитию научной работы. Преподаватели и ученые, которые занимаются и развивают российскую науку, должны быть мотивированы и поддержаны на государственном уровне.

Важным аспектом является заслуженная оплата труда сотрудников, занимающихся научной деятельностью. Согласно единым рекомендациям по системам оплаты труда работников организаций [2], финансируемых из бюджетов на федеральном, региональном и местном уровнях, пункта 6 «Условия оплаты труда работников бюджетных учреждений и порядок их установления», о показателях эффективности и оплате труда в образовательных учреждениях, одним из критериев оценки работы преподавателей является система стимулирующих выплат. Стимулирующие выплаты – это финансовые поощрения, которые начисляются на основе достигнутых показателей эффективности работы сотрудников, таких как публикации статей в научных журналах, участие в конференциях, защита диссертаций и другие достижения в области науки и образования.

Ключевым моментом в расчете стимулирующих выплат является обеспечение прозрачности и справедливости, что способствует не только повышению уровня вовлеченности сотрудников, но и улучшению результатов их работы. В данном контексте университеты стремятся внедрить инновационные подходы к мотивации педагогических работников, которые играют центральную роль в образовательном процессе.

В настоящее время оценка деятельности профессорско-преподавательского состава (ППС) в университетах осуществляется с использованием устаревших методов, таких как Excel-таблицы. Данные о сотрудниках, их результаты работы и стимулирующие критерии хранятся в неструктурированных файлах, что требует ручного ввода и обработки информации. Расчёт выплат производится вручную с использованием формул и сведений, указанных в таблице. Однако такой процесс имеет недостатки, связанные с высокой степенью ручной работы и возможностью ошибок при вводе данных или расчёте:

1. Ручной ввод данных увеличивает вероятность ошибок при вводе данных: неверная информация может привести к ошибкам в расчетах стимулирующих выплат, что снижает мотивацию преподавателя к научной деятельности.
2. Неструктурированные файлы затрудняют доступ к информации и анализ: процесс оценки результатов работы ППС становится менее прозрачным и затрудняет принятие решения.
3. Использование традиционного подхода не позволяет учитывать достижения преподавателей в полной мере: существующий подход к оценке эффективности работников высшей школы требует комплексного анализа, который невозможен при использовании простых таблиц, что приводит к неверной оценке вклада преподавателей в научную деятельность.

Кроме того, обновление информации и анализ стимулирующих выплат требуют значительного времени и усилий со стороны сотрудников, занимающихся данным процессом. Такая система также не обеспечивает надежность и целостность данных и не предоставляет возможности для автоматизации и оптимизации расчётов. Эти факторы могут повлиять на результат работы, а именно привести к неверным расчётам или задержкам выплат. Более подробно недостатки традиционного подхода к созданию документации для расчёта стимулирующих выплат рассмотрены на диаграмме Исикавы (рис. 1).

В связи с этим возрастает необходимость разработки информационной системы (ИС) расчёта стимулирующих выплат. Внедрение данной системы будет являться значимым шагом в упрощении и автоматизации процесса, что позволит заменить ручной ввод данных на автоматическую загрузку информации о сотрудниках, а также использовать предварительно определённые правила и алгоритмы для расчёта стимулирующих выплат. Цифровизация данного процесса также увеличит точность и эффективность расчётов, снизит вероятность ошибок и ускорит процесс, освобождая сотрудников учебных заведений от рутинных задач и позволяя им сконцентрироваться на более стратегических задачах и анализе данных.

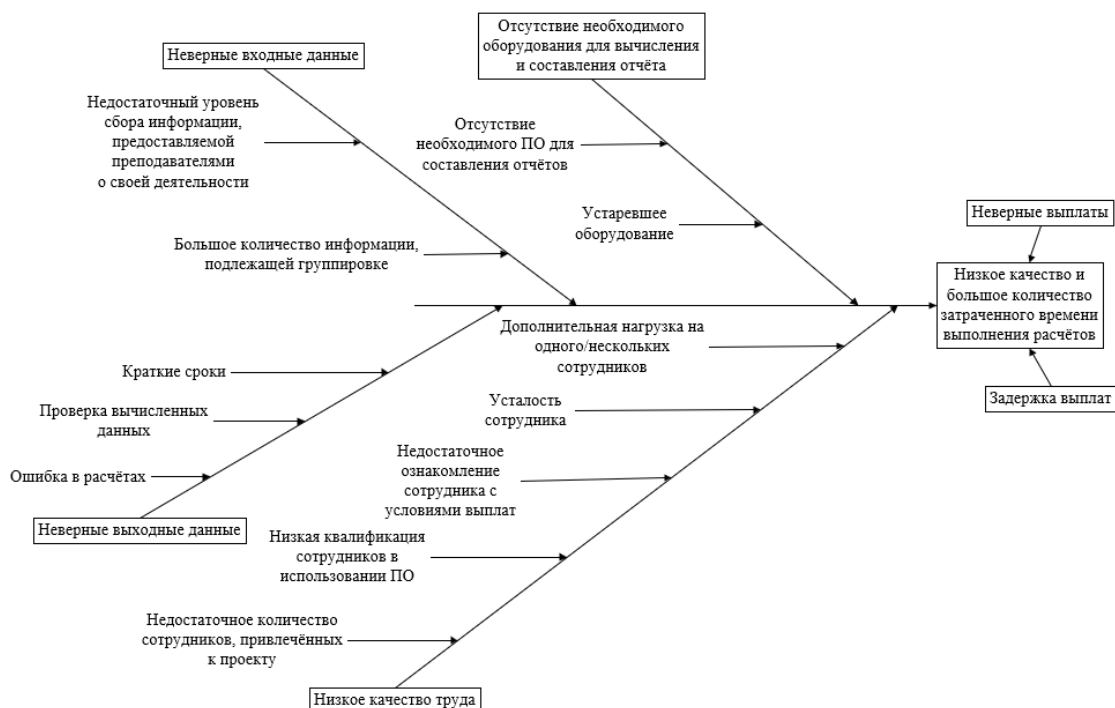


Рисунок 1 – Диаграмма Исикавы

ЭТАПЫ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА

В рамках исследования проблемы были рассмотрены существующие методы оценки и расчёта стимулирующих выплат для преподавателей, а также база данных университета в формате Excel-таблицы по учёту индивидуальной работы ППС и были выделены этапы бизнес-процессов при формировании рейтинга ППС (табл.).

Таблица – Этапы бизнес-процесса формирования рейтинга преподавателей

Номер этапа бизнес-процесса	Наименование этапов бизнес-процесса
1	Формирование справочных данных о преподавателе
2	Заполнение данных о деятельности ППС
3	Проверка внесенных данных о деятельности ППС
4	Расчёт стимулирующих выплат
5	Формирование отчетной документации

Каждый из приведённых в таблице этапов имеет влияние на расчёт стимулирующих выплат:

1. Формирование справочных данных о преподавателе: происходит сбор основной информации о каждом преподавателе, включая квалификацию, достижения и опыт работы.
2. Заполнение данных о деятельности ППС: критически важный этап для оценки результатов работы преподавателя, включает в себя сбор информации о научной и организационной деятельности преподавателя, например участие в конференциях, организация мероприятий и регистрация объектов интеллектуальной собственности
3. Проверка внесённых данных о деятельности ППС: данный этап включает в себя проверку информации для исключения ошибок, которые могут оказать серьёзное влияние на результаты расчётов и привести к необъективной оценке работы преподавателя.
4. Расчёт стимулирующих выплат: производится расчёт стимулирующих выплат на основании проверенной информации о достижениях преподавателя.
5. Формирование отчетной документации: происходит создание отчёта, всецело демонстрирующего результаты работы ППС.

На основе описанных этапов была сформирована диаграмма DFD (рис. 2), отражающая документооборот при формировании рейтинга преподавателя [3].



Рисунок 2 – Диаграмма DFD

С учётом проведённого анализа были сформулированы основные функциональные требования к разрабатываемой системе:

- добавление и изменение справочных данных о ППС;
- добавление и редактирование информации о профессиональной деятельности ППС;
- формирование отчётной документации;
- установка рейтинговых баллов за профессиональную деятельность;
- расчёт и сохранение рейтинга ППС.

Для добавления и изменения справочных данных о преподавателях используется удобный и интуитивно понятный интерфейс. Пользователь системы может легко добавлять новых преподавателей или вносить изменения в данные уже существующих преподавателей. Это позволяет поддерживать актуальную информацию о ППС в системе.

Для добавления и редактирования информации о профессиональной деятельности ППС также предоставляется удобный функционал. На странице просмотра данных преподавателя пользователь может добавить информацию о его профессиональной деятельности или внести изменения в уже имеющуюся информацию. Это обеспечивает возможность отслеживания и актуализации данных о профессиональной деятельности каждого преподавателя.

Для назначения рейтинговых баллов за профессиональную деятельность ППС настроена соответствующая функциональность. Пользователь может определять назначение баллов за каждый вид деятельности. Это обеспечивает гибкость и адаптивность системы к изменению ценности критериев расчёта рейтинга.

Рейтинг преподавателя формируется на основе системы пунктов, при котором каждый вид деятельности и достижения оцениваются в соответствии с заранее установленными критериями, указанными в локальных нормативных актах высшего учебного заведения. Общий вид формулы для расчёта рейтинга ППС может быть представлен следующим образом:

$$R = \sum(W_i * K_i),$$

где R – итоговый рейтинговый балл преподавателя;

W_i – весовой коэффициент для каждого вида деятельности и достижения в сфере интересов;

K_i – количество каждого вида деятельности и достижения ППС.

Для формирования отчётной документации система предоставляет возможность загрузки рассчитанного рейтинга о каждом преподавателе в формате pdf. Это значительно упрощает процесс составления и анализа отчётов в учреждении.

Система собирает и сохраняет информацию о персонале ППС, включая характеристики, связанные с работой и вознаграждением. Эти данные включают информацию о квалификации, достижениях, результатах работы и других параметрах, которые могут влиять на стимулирующие выплаты. Информационная система автоматически обрабатывает и анализирует собранные данные для определения правильных баллов рейтинга расчёта стимулирующих выплат. Применяются алгоритмы для учёта внесённых в систему данных о деятельности, таких как публикации, статьи, патенты и другие релевантные показатели.

Система осуществляет расчёты стимулирующих выплат на основе предварительно определённых правил и критериев, таких как, например, научная степень, проведение внеучебных мероприятий,

публикации в журналах по сфере интересов преподавателя, а также регистрация объекта интеллектуальной собственности. Это позволяет прозрачно и справедливо определить суммы вознаграждения для каждого сотрудника, учитывая их вклад и достижения. Информационная система предоставляет возможности управления и контроля за процессом стимулирующих выплат.

Обеспечивается безопасность хранения и передачи данных в информационной системе. Применяются соответствующие меры защиты, включая шифрование, аутентификацию и авторизацию, с целью предотвращения несанкционированного доступа и сохранения конфиденциальности информации. Также имеется возможность генерации отчёта с целью облёчения мониторинга результатов расчёта стимулирующих выплат.

ВЫБОР СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ

Информационная система представлена в виде клиент-серверного приложения. Серверная часть системы разработана с использованием Node.js и фреймворка Express. Node.js обеспечивает быстрое и масштабируемое выполнение серверного кода на языке JavaScript [4, 5], а Express предоставляет удобные инструменты для создания API и обработки запросов.

Для реализации пользовательского интерфейса системы используется фреймворк Vue.js. Данный фреймворк позволяет создавать динамичные и отзывчивые пользовательские интерфейсы с минимальными усилиями [6–8].

Клиент-серверное взаимодействие происходит через HTTP-запросы и REST API.

В качестве системы управления базами данных используется свободная объектно-реляционная СУБД PostgreSQL, обеспечивающая надёжное хранение и эффективное управление данными неограниченного размера. Система будет взаимодействовать с базой данных PostgreSQL с использованием ORM (Object -Relational Mapping) для более удобной работы с данными [9].

Для удобства развёртывания и управления используются Docker контейнеры, обеспечивающие стандартизированное изолированное окружение. Доступ к интерфейсу системы осуществляется через веб-браузер, при этом не требуется установка дополнительного программного обеспечения.

Для эффективной организации кода серверной части проекта используется архитектурный шаблон MVC (Model-View-Controller). Эта модель разделяет приложение на три взаимосвязанных, но независимых компонента:

- Модель (Model). Модели представляют собой объекты, которые определяют структуру данных и логику работы с ними;
- Представление (View). Этот компонент отвечает за отображение пользователю моделей.
- Контроллер (Controller). В данном проекте контроллеры отвечают за обработку запросов от клиента и управление потоком данных в информационной системе для расчёта стимулирующих выплат сотрудникам ППС.

Технология «клиент-сервер» [10] представлена на рисунке 3.

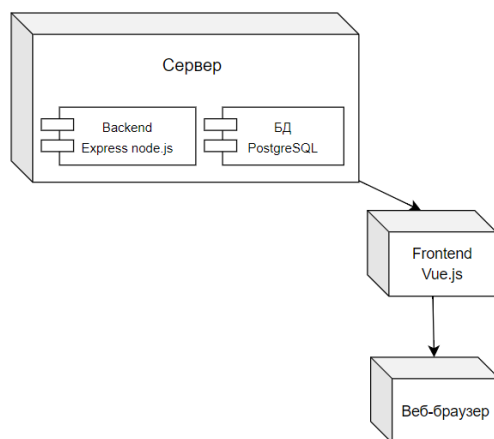


Рисунок 3 – Диаграмма развёртывания

ИНТЕРФЕЙСЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

При запуске веб-приложения пользователь открывает страницу авторизации (рис. 4). Отдельная регистрация пользователей не предусмотрена. Создание учётных записей осуществляется администратором в разделе «Пользователи».

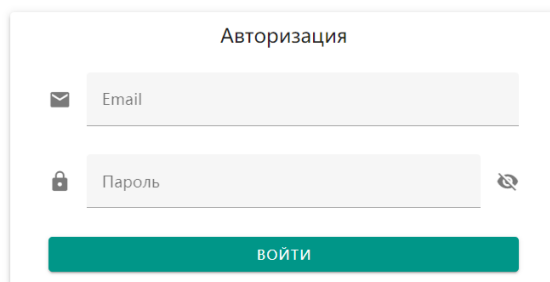


Рисунок 4 – Окно авторизации

В верхней части страницы предусмотрено навигационное меню, в котором находятся основные разделы системы: «Преподаватели», «Профессиональная деятельность», «Пользователи» и «Настройки».

Для начала работы с приложением необходимо заполнить справочники, расположенные в разделе «Настройки» (рис. 5).

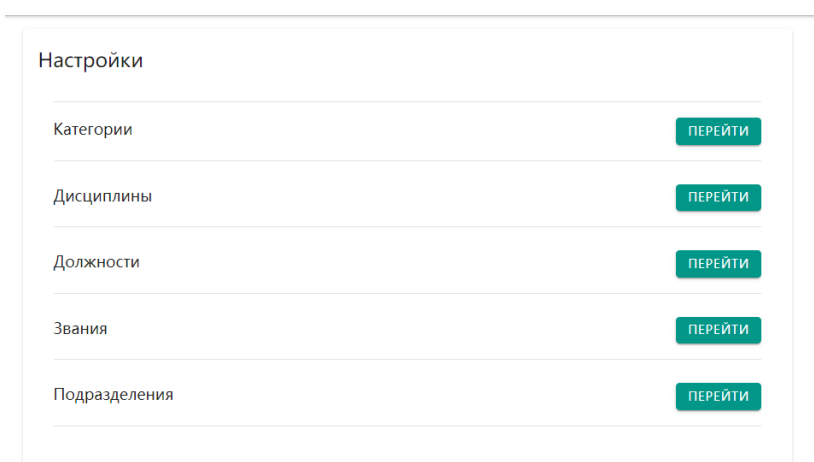


Рисунок 5 – Окно «Настройки»

Для добавления информации о преподавателе необходимо перейти на страницу «Преподаватели» и нажать «Создать преподавателя», заполнив необходимые поля (рис. 6).

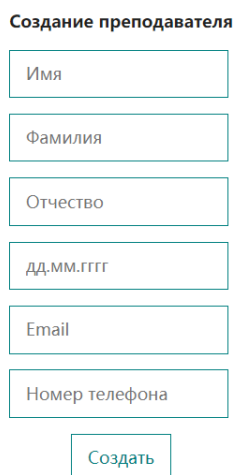


Рисунок 6 – Окно «Создание преподавателя»

Раздел «Профессиональная деятельность» позволяет вносить данные о деятельности преподавателя (рис. 7).

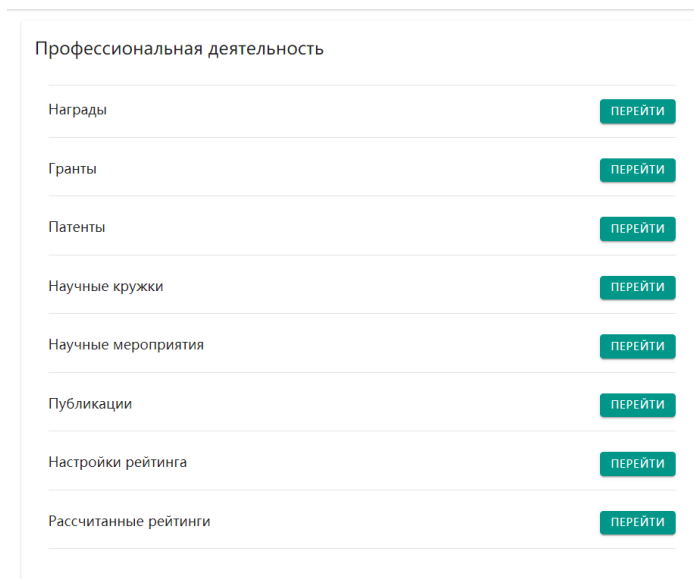


Рисунок 7 – Окно «Профессиональная деятельность»

На странице «Награды» отображается список всех наград. Внести новую награду необходимо через кнопку «Создать награду» (рис. 8). Аналогичным образом добавляется информация о грантах, патентах, научных мероприятиях, кружках и публикациях.

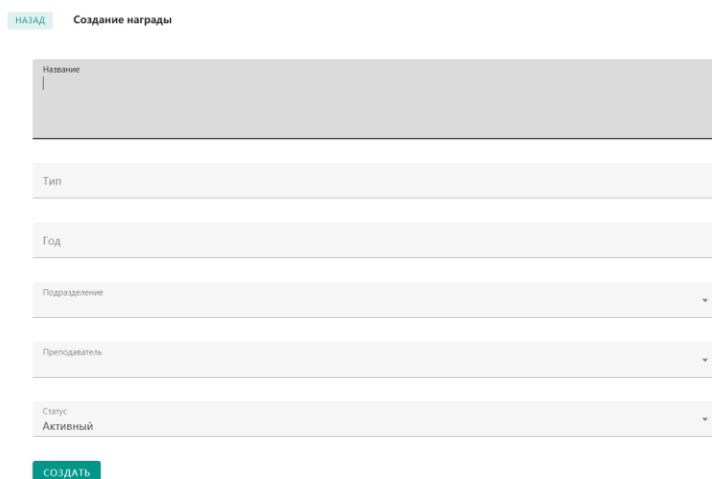


Рисунок 8 – Окно «Создание награды»

В программе предусмотрена функция расчёта рейтинга преподавателя, представленная на рисунке 9.

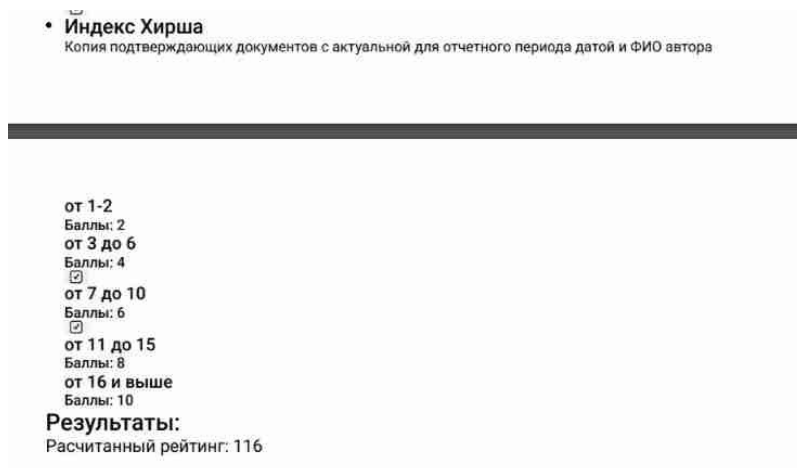


Рисунок 9 – Окно «Расчёт рейтинга преподавателя»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ процесса расчёта стимулирующих выплат выявил необходимость автоматизации и отказа от использования ручного ввода данных в Excel-таблицы, которые приводят к низкой эффективности, рискам ошибок и отсутствию надёжности данных.

Решением данной проблемы является разработка информационной системы расчёта стимулирующих выплат. Данная система автоматизирует ключевые процессы управления профессорско-преподавательским составом, включая сбор, хранение и обработку данных о деятельности преподавателя. Это также позволит автоматизировать расчёт стимулирующих выплат на основе результатов, рассчитанных системой рейтинга преподавателя.

В системе предусмотрена выгрузка отчётов в формате PDF, что позволит проводить их быстрый анализ при принятии решений о выплатах. Внедрение данной системы позволит повысить эффективность процесса начисления стимулирующих выплат и усилить мотивацию профессорско-преподавательского состава.

Список источников

1. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в РФ в 2017–2030 годы». – URL: <https://base.garant.ru/71670570/> (дата обращения: 20.01.2025).
2. Единые рекомендации по установлению на федеральном, региональном и местном уровнях систем оплаты труда работников государственных и муниципальных учреждений на 2025 год. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408256077/> (дата обращения: 20.01.2025).
3. Зимовец, О. А. Представление диаграмм в нотациях DFD, IDEF0 и BPMN с помощью системно-объектных моделей «Узел-Функция-Объект» / О. А. Зимовец, С. И. Маторин // Экономика. Информатика. – 2011. – Т. 20, № 19–1 (114). – С. 134–144 (дата обращения: 22.01.2025).
4. Tilkov, S. Node.js: Using JavaScript to build high-performance network programs / S. Tilkov, S. Vinoski // IEEE Internet Computing. – 2010. – Vol. 14, № 6. – P. 80–83 (дата обращения: 25.01.2025).
5. Mardan, A. Practical Node.js / A. Mardan, Mardan Corrigan. – Apress, 2018.
6. Filipova, O. Learning Vue.js 2 / O. Filipova. – Packt Publishing Ltd, 2016.
7. Nelson, B. Getting to Know Vue.js / B. Nelson. – New York : Apress, 2018.
8. Hanchett, E. Vue.js in Action / E. Hanchett, B. Listwon. – Simon and Schuster, 2018.
9. Илюшечкин, В. М. Основы использования и проектирования баз данных / В. М. Илюшечкин. – Москва : Юрайт, 2010. – 213 с.
10. Технология «клиент-сервер». – URL: <http://www.intuit.ru/studies/courses/508/364/lecture/8643?page=2> (дата обращения: 28.01.2025).

References

1. Decree of the President of the Russian Federation dated 05/09/2017 No. 203 «On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation in 2017–2030». Available at: <https://base.garant.ru/71670570/> (accessed 20.01.2025) (In Russ.).
2. Uniform recommendations on the establishment of remuneration systems for employees of state and municipal institutions at the federal, regional and local levels for 2025. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408256077/> (accessed 20.01.2025) (In Russ.).
3. Zimovets, O. A., Matorin, S. I. Representation of diagrams in DFD, IDEF0 and BPMN notations using Node-Function-Object system-object models. *Economy. Computer Science*, 2011, vol. 20, no. 19–1 (114), pp. 134–144 (accessed 22.01.2025) (In Russ.).
4. Tilkov, S., Vinoski, S. Node.js: Using JavaScript to build high-performance network programs. *IEEE Internet Computing*, 2010, vol. 14, no. 6, pp. 80–83.
5. Mardan, A., Mardan, Corrigan. *Practical Node.js*. April, 2018.
6. Filipova, O. *Learning Vue.js 2*. Packt Publishing Ltd, 2016.
7. Nelson, B. *Getting to Know Vue.js*. New York. Apress, 2018.
8. Hanchett E., Listwon B. *Vue.js in Action*. Simon and Schuster, 2018.
9. Piyushechkin, V. M. *Fundamentals of the use and design of databases*. Moscow, Yurayt Publishing House, 2010. 213 p. (In Russ.).
10. *Client-server technology*. Available at: <http://www.intuit.ru/studies/courses/508/364/lecture/8643?page=2> (accessed 28.01.2025) (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 13.02.2025; одобрена после рецензирования 28.02.2025; принята к публикации 03.03.2025.

The article was submitted 13.02.2025; approved after reviewing 28.02.2025; accepted for publication 03.03.2025.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

УДК 004.891.3

СЕРВЕРНАЯ ПОДСИСТЕМА ПЛАТФОРМЫ ДИАГНОСТИКИ ДЕПРЕССИИ

Кравец Алла Григорьевна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28; Государственный университет «Дубна», 141982, ул. Университетская, 19,

доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0003-1675-8652, e-mail: allagkravets@yandex.ru

Смирнова Анна Александровна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28,

магистрант, ORCID: 0009-0002-6259-605, e-mail: yesjessmay@mail.ru

Михеев Александр Сергеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28,

магистрант, ORCID: 0009-0008-6327-3395, e-mail: mihsan395@gmail.com

Петраевский Виктор Андреевич, Волгоградский государственный медицинский университет, 400131, Российская Федерация, г. Волгоград, пл. Павших Борцов, 1,

ведущий инженер-программист, ORCID: 0009-0002-6376-8298, e-mail: petvikt@mail.ru

Еременко Иван Михайлович, ООО «ИНФИНИТУМ Цифровое развитие», 115162, Российская Федерация, г. Москва, ул. Шаболовка, 31Б,

разработчик, ORCID: 0009-0008-7765-667, e-mail: eremenko.lv@yandex.ru

В статье рассматривается серверная подсистема платформы диагностики депрессии ПсиСкан, которая предназначена для самодиагностики депрессивных состояний, а также для поддержки принятия врачебных решений. Основное внимание в статье уделено архитектуре и функциональным компонентам серверной части, которые обеспечивают сбор, хранение и анализ данных пользователей. Подсистема интегрирует современные технологии машинного обучения и обработки естественного языка для интерпретации данных опросов, записей пациентов и других релевантных источников информации. В статье описаны методы обеспечения безопасности данных и конфиденциальности пользователей, что особенно важно в контексте медицинских приложений. Приведены результаты тестирования, которые продемонстрировали эффективность и надежность подсистемы. Обсуждаются также перспективы дальнейшего развития и улучшения серверной подсистемы в рамках общей платформы для диагностики депрессии.

Ключевые слова: депрессия, медицинская диагностика, анализ данных, программное обеспечение, серверная подсистема, C#, Amazon Web Services, JSON Web Token, Elastic Compute Cloud, .NET 6, Entity Framework

SERVER SUBSYSTEM OF THE DEPRESSION DIAGNOSTICS PLATFORM

Kravets Alla G., Volgograd State Technical University, 28 Lenin St., Volgograd, 400005, Russian Federation; State University “Dubna”, 19 Universitetskaya St., Dubna, 141982, Russian Federation,

Professor, ORCID: 0000-0003-1675-8652, e-mail: allagkravets@yandex.ru

Smirnova Anna A., Volgograd State Technical University, 28 Lenin St., Volgograd, 400005, Russian Federation,

postgraduate student, ORCID: 0009-0002-6259-605, e-mail: yesjessmay@mail.ru

Miheev Alexandr S., Volgograd State Technical University, 28 Lenin St., Volgograd, 400005, Russian Federation,

postgraduate student, ORCID: 0009-0008-6327-3395, e-mail: mihsan395@gmail.com

Petraivsky Victor A., Volgograd State Medical University, 1. Pavshikh Bortsov Sq., Volgograd, 400131, Russian Federation,

lead software engineer, ORCID: 0009-0002-6376-8298, e-mail: petvikt@mail.ru

Ivan M. Eremenko, “INFINITUM Digital Development” LLC, 31B Shabalovka St., Moscow, 115162, Russian Federation,

developer, ORCID: 0009-0008-7765-667, e-mail: eremenko.lv@yandex.ru

The article discusses the server subsystem of the Psiscan depression diagnostic platform, which is designed for self-diagnosis of depressive states, as well as support for medical decision-making. The main focus of the article is on the architecture and functional components of the server part, which provide collection, storage and analysis of user data. The subsystem integrates modern machine learning and natural language processing technologies to interpret survey data, patient records and other relevant sources of information. The article describes methods for ensuring data security and user

privacy, which is especially important in the context of medical applications. Testing results are presented that demonstrate the effectiveness and reliability of the subsystem. Prospects for further development and improvement of the server subsystem within the overall platform for depression diagnostics are also discussed. As a result of the work carried out, a server subsystem of the psychiatric diagnostics platform was designed and implemented. The purpose of the work was to ensure the interaction of the Frontend subsystem and the analysis subsystem, as well as the storage of user information and protection of the latter from intruders. The testing results showed that the developed SP PDD successfully performs the tasks set, ensuring the interaction of the modules of the server subsystem, as well as the safety of user data from hacking, which was facilitated by services from Amazon, namely EC2 and S3 bucket.

Keywords: depression, medical diagnostics, data analysis, software, server subsystem, C#, Amazon Web Services, JSON Web Token, Elastic Compute Cloud, .NET 6, Entity Framework

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы задача диагностики депрессии становится всё более актуальной из-за роста числа случаев этого психического расстройства по всему миру. По данным Всемирной организации здравоохранения, депрессия является одной из ведущих причин инвалидности и значительным фактором, влияющим на качество жизни миллионов людей [1]. Психотропные препараты часто вызывают увеличение веса, что приводит к дискомфорту и прекращению лечения. Что ещё важнее, повышается риск заболеваний, связанных с ожирением, таких как сахарный диабет, гипертония и ишемическая болезнь сердца [2]. Традиционные методы диагностики депрессии, основанные на клинических опросах и консультациях, требуют значительных временных и человеческих ресурсов. В связи с этим обстоятельством возникает необходимость в разработке новых подходов, способных обеспечить более быструю, точную и масштабируемую диагностику.

Современные технологии, включая искусственный интеллект и большие данные, открывают новые перспективы в области медицинской диагностики [3]. В частности, серверные подсистемы становятся неотъемлемой частью платформ, предназначенных для анализа и интерпретации медицинских данных [4]. Они обеспечивают высокую производительность, надежность и безопасность обработки информации, что критически важно для точной и своевременной диагностики депрессии [5].

Платформа диагностики предназначена для проведения предварительной самодиагностики депрессивного состояния у людей, которые пока не обращались за помощью к психотерапевту, а также для поддержки принятия врачебных решений при первичном обращении [6]. В рамках проекта по реализации разработки системы психиатрической диагностики на основе анализа разнородной информации ПсиСкан [7, 8, 9] был предложен инновационный метод автоматизированного выявления депрессии, основанный на текстовых данных пациентов.

В данной статье описаны ключевые компоненты серверной подсистемы, представлены методы сбора и обработки данных, а также рассмотрены вопросы безопасности и конфиденциальности информации. Особое внимание уделено интеграции серверной подсистемы с другими элементами платформы.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИКИ ДЕПРЕССИИ

Существующий процесс диагностики депрессии включает обозначенные далее этапы (рис. 1).

1. Понимание необходимости обращения к специалисту. Этот этап ключевой, когда люди осознают возможные отклонения от нормы и понимают, что помощь психотерапевта может быть полезной. Он требует осознания, самоанализа и смелости преодолеть стигму, связанную с обращением за психиатрической помощью.

2. Запись к специалисту. Важно найти компетентного специалиста и записаться на первичную консультацию, выбрав удобное время и день. Это помогает согласовать графики пациента и специалиста.

3. Заполнение формы персональных данных. Психотерапевт предоставляет форму для заполнения информации о себе, включая место работы, должность, образование, уровень отношений и другие релевантные данные. Эти сведения помогают специалисту сформировать более полное представление о пациенте.

4. Проведение базового теста. После заполнения формы проводится тест для выявления возможных проблем у пациента. Этот тест помогает в первичном анализе психического состояния и может включать задания, вопросники или шкалы для оценки различных аспектов психического здоровья. Результаты теста помогут специалисту определить дальнейшие действия и необходимость дополнительных консультаций и процедур.

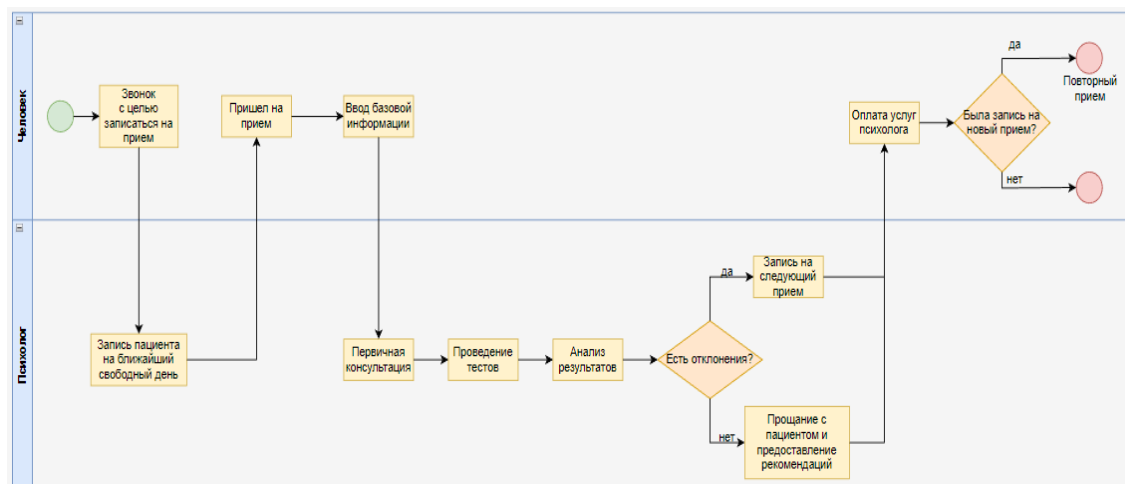


Рисунок 1 – Существующий процесс первичной диагностики депрессии

СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ

Проведем сравнение существующих методов анализа психиатрического состояния по следующим критериям (табл.), включающим:

- надежность, точность с научной точки зрения;
- этические аспекты, защита персональных данных [10];
- стоимость;
- доступность;
- степень автоматизации.

Таблица – Результаты сравнения существующих методов

Метод	Консультации с психотерапевтом в больнице	Онлайн-консультации	Самостоятельное прохождение тестов
Надежность	Зависит от квалификации специалиста	Зависит от квалификации специалиста	Отсутствует субъективность, можно выявить отклонение без помощи квалифицированного специалиста
Этические аспекты, защита персональных данных	Согласно этическому кодексу психотерапевтов, специалист защищает конфиденциальную информацию пациента	Согласно этическому кодексу психотерапевтов, специалист защищает конфиденциальную информацию пациента	Под ответственностью тестируемого
Стоимость	От 1500 до 6000 р.	От 2000 до 4000 р.	Бесплатно
Доступность	Слабая доступность	Средняя доступность, так как нужно договариваться о времени встречи	Высокая доступность, необходим только интернет
Степень автоматизации	Не автоматизировано	Дистанционная запись, средний уровень	Высокая степень, если тесты проводятся на сайте с автоматической проверкой

АРХИТЕКТУРА СЕРВЕРНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ПЛАТФОРМЫ ПСИХИАТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Для создания архитектуры серверной подсистемы платформы диагностики депрессии (СП ПДД) использовались: языковые средства C# 9 и .NET 6 [11, 12]; средства Entity Framework на основе методологии Code First для работы с базами данных. Программные средства Entity Framework (EF)[13] позволяют работать с данными, используя объекты и запросы на языке C#. Механизмы JWT (JSON Web Token) [14] обеспечивают безопасную передачу информации между клиентом и сервером в формате JSON.

Для развёртывания серверной подсистемы использована облачная платформа AWS (Amazon Web Services) [15], включая сервисы EC2 и S3. Механизмы EC2 [16, 17] предоставляют виртуальные машины для запуска приложений и обработки нагрузки, обеспечивая полный контроль над виртуальными серверами. Средства Amazon S3 предлагают облачное хранилище данных, организованное в «вёдра» (buckets) для загрузки и управления данными.

Использование AWS, EC2 и S3 обеспечивает разработчикам гибкость, надежность и эффективные средства для масштабирования приложений в облаке, позволяя сосредоточиться на реализации функциональных возможностей, а не на управлении инфраструктурой [18].

СП ПДД состоит из трех уровней (рис. 2).

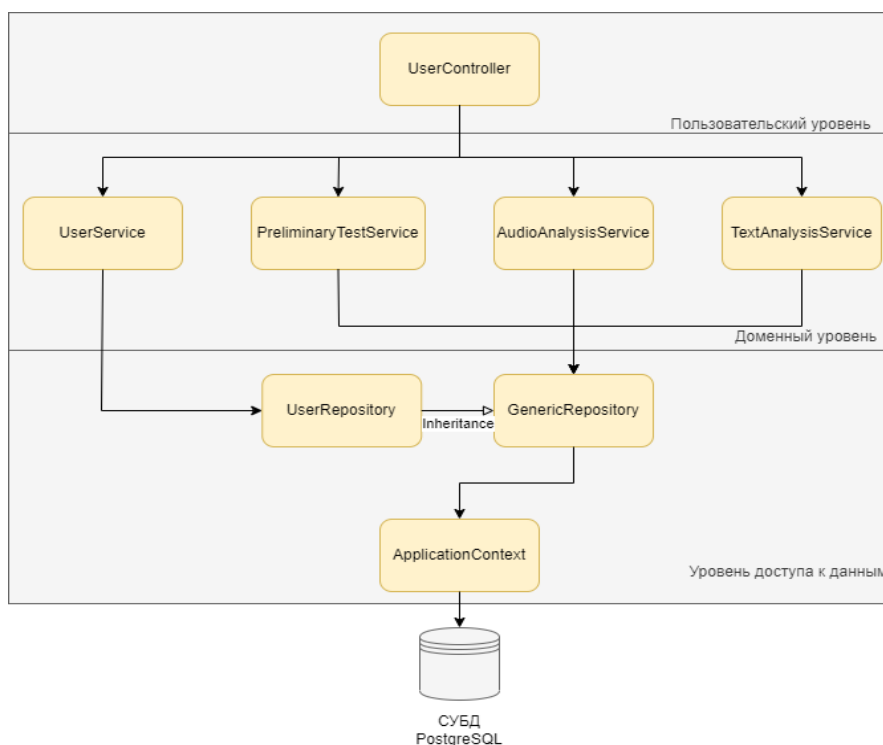


Рисунок 2 – Техническая архитектура СП ПДД

1. Пользовательский уровень обеспечивает взаимодействие с фронтом приложения через HTTP-запросы. Он тесно связан с доменным уровнем.

2. Доменный уровень – центральный элемент системы, описывающий сущности базы данных и интерфейсы для взаимодействия с ней. Включает сервисы для косвенного взаимодействия с базой данных.

3. Уровень доступа к данным устанавливает соединение с базой данных и выполняет операции чтения и записи, используя описания взаимодействия с доменного уровня.

Обозначенное разделение на уровни улучшает реализацию функциональных возможностей и логики приложения, обеспечивая структуру и упрощенное взаимодействие между компонентами [19].

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОДСИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

В ходе реализации подсистемы хранения данных СП ПДД были определены следующие сущности (рис. 3): пользователь (User); анализ текста (Text Analysis); аудиоанализ (Audio Analysis); предварительное тестирование (Preliminary Testing). Каждая из этих сущностей имеет свою роль и взаимодействие с другими частями серверной подсистемы, что позволяет создать структуру хранилища [20].

Для создания таблиц в хранилище платформы психиатрической диагностики (рис. 4) был использован Entity Framework с методологией Code First. Это означает, что модели и классы сущностей были определены с использованием языка программирования, а затем хранилище было автоматически создано и настроено на основе этих моделей. Такой подход упрощает процесс создания и обновления базы данных, обеспечивает согласованность между кодом и структурой хранилища и упрощает работу с данными [21].

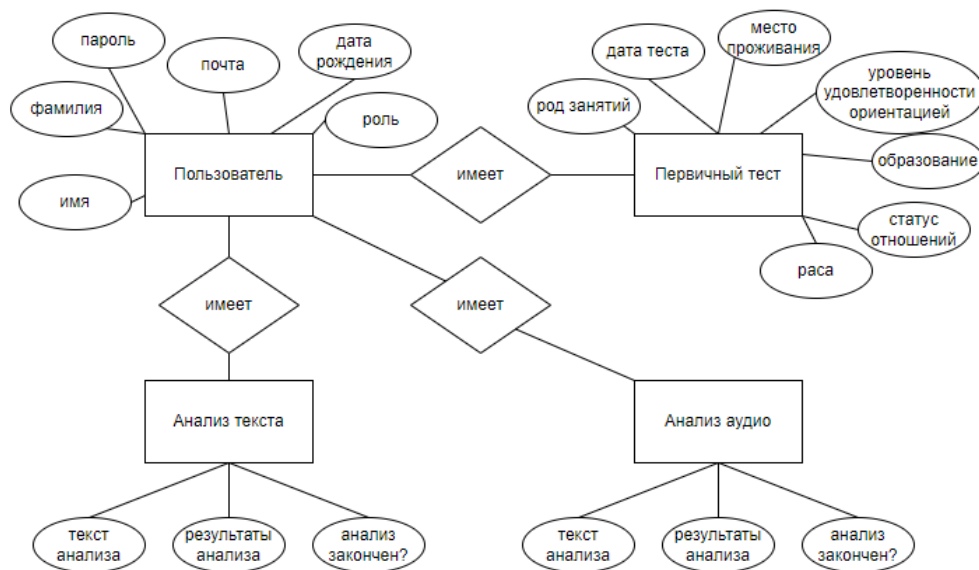


Рисунок 3 – ER-диаграмма хранилища СП ПДД

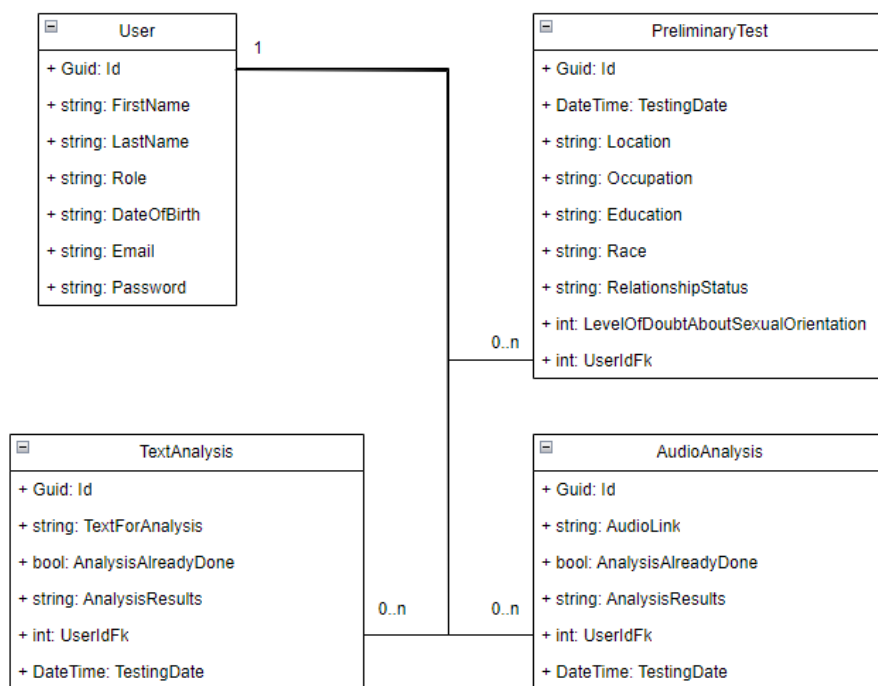


Рисунок 4 – Структура системы хранения данных

Использование Entity Framework и методологии Code First в создании базы данных позволяет разработчикам удобно определять и взаимодействовать с различными сущностями. Такой подход обеспечивает гибкость и расширяемость модуля при добавлении новых функций и изменении структуры базы данных.

РАЗРАБОТКА СЕРВЕРНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ПЛАТФОРМЫ ПСИХИАТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Первым шагом разработки СП ПДД (рис. 5) стало создание доменной части, включающей модели данных. Паттерн GenericRepository использован для общего интерфейса репозитория, что обеспечило базовую функциональность для добавления, удаления, редактирования и чтения данных, улучшило поддерживаемость и упростило разработку.

На доменном уровне также находятся DTO-объекты (Data Transfer Objects), которые передают только необходимую информацию между пользовательским и доменным уровнями, защищая данные и обеспечивая безопасность приложения [22].

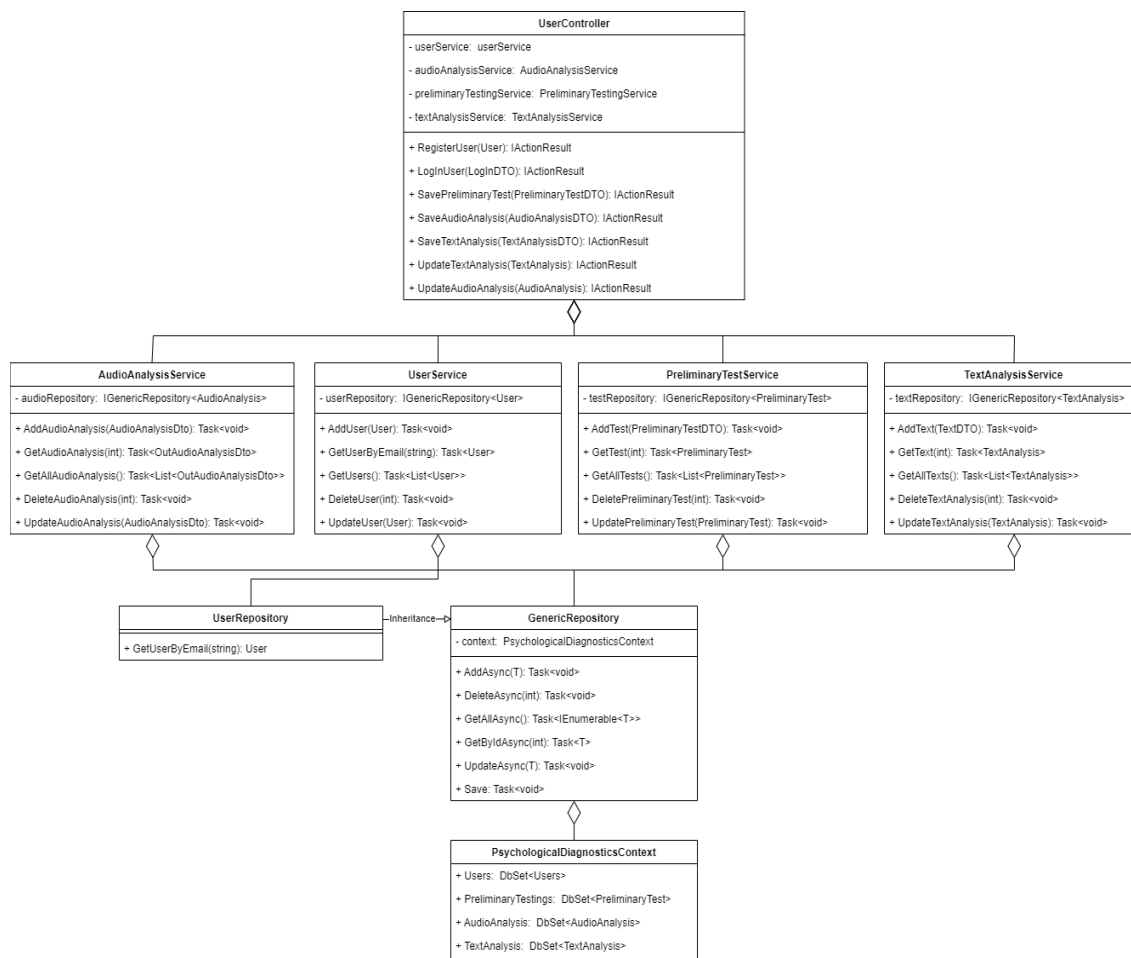


Рисунок 5 – Диаграмма классов основного функционала СП ПДД

Сервисы на доменном уровне обеспечивают взаимодействие между пользовательским уровнем и хранилищем данных, предоставляя функциональные возможности для обработки запросов и операций с данными. Интерфейс для генерации JSON Web Token (JWT) использован для процедур регистрации и авторизации, что гарантирует безопасную передачу данных между клиентом и сервером.

РАЗВЕРТЫВАНИЕ СП ПДД В AWS

Для работы СП ПДД необходимо развернуть его на подходящей инфраструктуре. Рассмотрены два таких сервиса AWS: EC2 и Lambda.

Сервис EC2 (Elastic Compute Cloud) позволяет арендовать виртуальные серверы (instances) с гибкой конфигурацией и различными опциями операционных систем и ресурсов.

Сервис Lambda запускает код в ответ на события или триггеры и автоматически масштабируется.

Исходя из наличия необходимых функциональных возможностей и простоты использования для развертывания подсистемы, был выбран EC2. Для развертывания приложения на EC2 создана виртуальная машина с Windows 10, настроен, установлен .NET 6 и перенесен исходный код (рис. 6). Проект запускается через консоль.

Name	Instance ID	Instance state	Instance type	Status check	Alarm status	Availability Zone
Test	i-09c3d3e071f23990d	Running	t2.micro	2/2 checks passed	No alarms	eu-west-1b
-	i-009fa949244717c41	Running	t2.micro	2/2 checks passed	No alarms	eu-west-1b
dost	i-06f138be2847b4e1d	Running	t2.micro	2/2 checks passed	No alarms	eu-west-1b

Рисунок 6 – Настроенные и запущенные виртуальные машины

Две виртуальные машины находятся под управлением ОС Linux, вторая из которых использует Windows 10. Каждая виртуальная машина настроена для последующего развертывания СП ПДД, на них установлены библиотеки, которые используются серверным модулем и модулем анализа. Для проверки их возможностей были запущены тестовые программы, использующие тот же набор библиотек, что и модули приложения.

Таким образом, выбор EC2 обеспечил надёжную и гибкую инфраструктуру для работы СП ПДД.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СЕРВЕРНОЙ ПОДСИСТЕМЫ

Для описания взаимодействия СП ПДД рассмотрен кейс анализа текстовой информации (рис. 7).

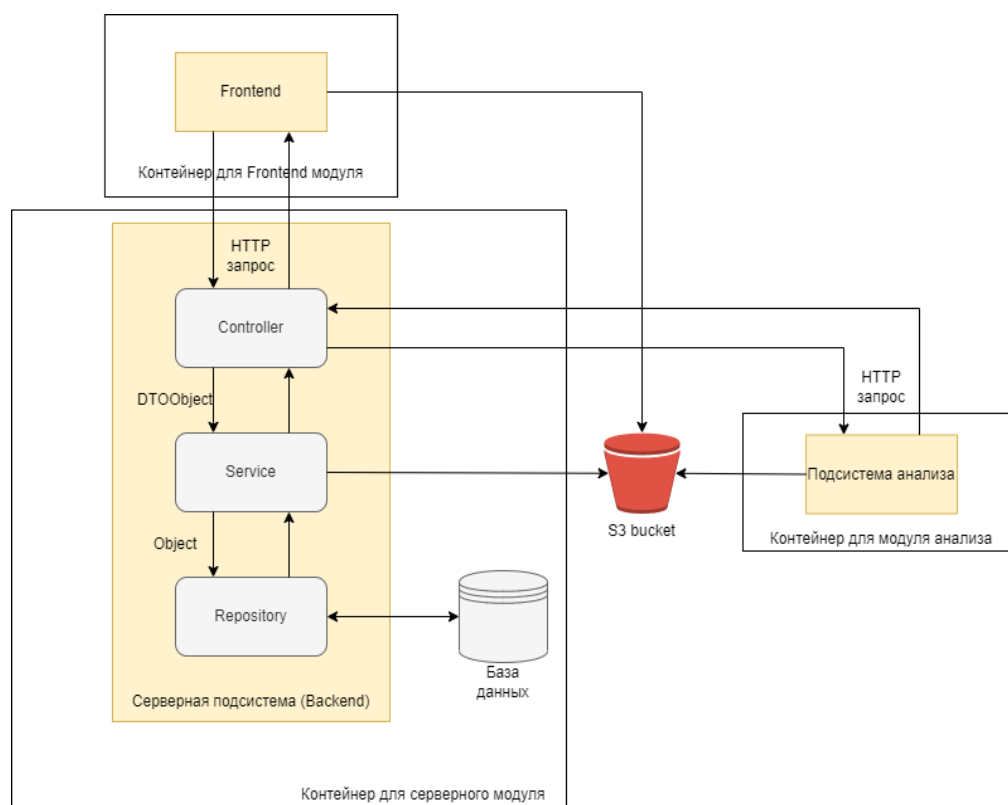


Рисунок 7 – Структура взаимодействия модулей СП ПДД (кейс анализа текстовой информации)

Серверная подсистема не имеет пользовательского интерфейса в привычном его понимании. Вместо этого, взаимодействие с серверной подсистемой осуществляется через классы контроллеров, которые обрабатывают HTTP-запросы. Рассмотрим принцип работы серверной подсистемы на примере кейса анализа текстовой информации.

Frontend-модуль использует POST-запрос, предоставляемый СП ПДД, чтобы сохранить текст для анализа. Объект, полученный с Frontend-подсистемы, является объектом передачи данных (DTO). Этот объект отправляется в подсистему анализа текста, где происходит преобразование DTO-объекта в соответствующую сущность базы данных. Затем преобразованный объект передается в репозиторий для сохранения в базе данных. После успешного сохранения результат возвращается в сервис, и объект текста отправляется в хранилище S3.

Подсистема анализа получает текст и определяет, какую обученную модель нужно применить – аудио-анализа или анализа текста. После обработки входной информации с помощью HTTP-запроса результаты анализа вносятся в хранилище.

Таким образом, в описанной структуре платформы серверная подсистема взаимодействует с Frontend-подсистемой и подсистемой анализа для сохранения и анализа текста. Это осуществляется через классы контроллеров, сервисы анализа и репозитории, обеспечивая эффективное и надежное взаимодействие между компонентами.

ТЕСТИРОВАНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ

Тестирование отказоустойчивости включало отправку невалидных данных для входа и проверку работы при отключении подсистемы анализа. Проведено 4 теста:

- 1) ввод уже зарегистрированного пользователя, подсистема возвращает HTTP-ответ со статусом 400 без JWT-токена;
- 2) ввод неверной почты при входе в аккаунт, подсистема возвращает HTTP-ответ со статусом 400 без JWT-токена;
- 3) ввод неверного пароля при входе в аккаунт, подсистема возвращает HTTP-ответ со статусом 400 без JWT-токена;
- 4) отключение подсистемы анализа, серверная подсистема продолжает работать, но записи не анализируются. После восстановления подсистема работает в штатном режиме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы была спроектирована и реализована серверная подсистема платформы психиатрической диагностики. Целью работы являлось обеспечение взаимодействия Frontend-подсистемы и подсистемы анализа, а также хранения пользовательской информации и её защиты от злоумышленных воздействий.

Результаты тестирования показали, что разработанная СП ПДД успешно выполняет поставленные задачи, обеспечивая взаимодействие модулей серверной подсистемы, а также сохранность пользовательских данных от взлома, чему способствовали сервисы от Amazon, а именно EC2 и S3 bucket.

Область применения разработанной платформы ПсиСкан [8] – процесс проведения первичной психиатрической диагностики. Такой подход помогает сэкономить время как специалистам, так и их пациентам, а также в максимально краткие сроки позволяет пациенту понять, стоит ли ему обращаться к специалисту.

Основным направлением дальнейшего развития разработанной системы является расширение функциональности и внедрение новых моделей анализа. Планируется интеграция дополнительных психологических тестов, а также анализ состояния человека по видеозаписи. Таким образом можно будет улучшить общее качество результатов проведения анализа.

Список источников

1. Всемирная организация здравоохранения. Депрессия и другие общие психические расстройства: глобальная информация. – ВОЗ, 2017. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/depression-and-other-common-mental-disorders-global-health-estimates> (дата обращения: 01.10.2023).
2. Серретти, А. Антидепрессанты и вес тела: комплексный обзор и мета-анализ / А. Серретти, Л. Манделли // Журнал клинической психиатрии. – 2010. – Т. 71, № 10. – С. 1259–1272. – DOI: 10.4088/JCP.09r05346blu.
3. Ибрагимов, А. Р. Применение искусственного интеллекта в медицине / А. Р. Ибрагимов // Современная медицина. – 2020. – № 3. – С. 45–52.
4. Иванов, И. В. Технологии больших данных в здравоохранении / И. В. Иванов, П. С. Петров. – Москва : Медицинское издательство, 2019. – 300 с.
5. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – Москва : Вильямс, 2020. – Т. 175. – С. 935–937. – DOI: 10.1016/j.artint.2011.01.005.
6. Кравец, А. Разработка модуля медицинской диагностики для психотерапевтической практики / А. Кравец, О. Поплавская, Л. Лемперт и др. // Коммуникации в области компьютерной и информационной науки. – 2017. – Т. 754. – С. 872–883. – DOI: 10.1007/978-3-319-65551-2_63.
7. Петраевский, В. А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022685105 Российская Федерация. Программа для психиатрической диагностики ПсиСкан : № 2022666930 : заявл. 13.09.2022 : опубл. 21.12.2022 / В. А. Петраевский, А. Г. Кравец, М. С. Галынов. – EDN DDTILK.
8. Петраевский, В. А. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2024618252 от 10 апреля 2024 г. Российская Федерация. Серверная подсистема программы для психиатрической диагностики ПсиСкан / В. А. Петраевский, А. Г. Кравец, И. М. Еременко. – Волгоград : ФГБОУ ВО ВолгГТУ, 2024.
9. Петраевский, В. А. Метод интеллектуального анализа текстовой информации для психиатрической диагностики / В. А. Петраевский, А. Г. Кравец. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2024. – № 2. – С. 95–104. – DOI: 10.24143/2072-9502-2024-2-95-104.
10. Афанасьева, И. В. Конфиденциальность как принцип деятельности практикующего психолога: современное состояние нормативно-правового регулирования и перспективы / И. В. Афанасьева, В. А. Пимонов // Психология и право. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 143–152. – DOI: 10.17759/psylaw.2023130211.
11. Microsoft. C# 9.0. – Microsoft Docs, 2021. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/whats-new/csharp-9> (дата обращения: 01.10.2024).
12. Microsoft. .NET 6. – Microsoft Docs, 2021. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/core/whats-new/dotnet-6> (дата обращения: 01.10.2024).
13. Entity Framework Documentation hub. – Microsoft Docs, 2021. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/ef/> (дата обращения: 01.10.2023).
14. Джонс М. Б. JSON Web Token (JWT) / М. Б. Джонс, Дж. Бредли, Н. Сакимура. – IETF, 2015. – URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7519> (дата обращения: 01.10.2024).
15. Amazon Web Services. EC2. – AWS Documentation, 2021. – URL: <https://docs.aws.amazon.com/ec2/> (дата обращения: 01.10.2024).
16. Фаулер, М. Шаблоны архитектуры корпоративных приложений / М. Фаулер. – Москва : Вильямс, 2002.
17. Филдинг, Р. Т. Архитектурные стили и проектирование сетевых программных архитектур / Р. Т. Филдинг. – Ирвайн : Университет Калифорнии, 2000. – URL: https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/fielding_dissertation.pdf (дата обращения: 01.10.2024).
18. Лин, Дж. Почему глубокое и дешевое обучение работает так хорошо? / Дж. Лин, М. Тегмарк // Журнал статистической физики. – 2017. – Т. 168. – С. 1223–1247. – DOI: 10.1007/s10955-017-1836-5.
19. Коцзиантис, С. Б. Супервизированное машинное обучение: обзор методов классификации / С. Б. Коцзиантис, И. Захаракис, П. Пинтелас // Новые приложения искусственного интеллекта в компьютерной инженерии. – 2007. – Т. 31. – С. 249–268. – DOI: 10.1007/s10462-007-9052-3.
20. Гудфеллоу, И. Глубокое обучение / И. Гудфеллоу, Ю. Бенгио, А. Курвиль. – Massachusetts : MIT Press, 2016.
21. Чжоу, Дж. Графовые нейронные сети: обзор методов и приложений / Дж. Чжоу, и др. – AI Open, 2020.

References

1. World Health Organization. *Depression and other common mental disorders: global information*. WHO, 2017. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/depression-and-other-common-mental-disorders-global-health-estimates> (In Russ.).
2. Serretti, A., Mandelli, L. Antidepressants and body weight: a comprehensive review and meta-analysis. *Journal of Clinical Psychiatry*, 2010, vol. 71, no. 10, pp. 1259–1272. DOI: 10.4088/JCP.09r05346blu (In Russ.).
3. Ibragimov, A. R. Application of artificial intelligence in medicine. *Modern Medicine*, 2020, no. 3, pp. 45–52 (In Russ.).
4. Ivanov, I. V., Petrov, P. S. *Big data technologies in healthcare*. Moscow, Medical Publishing House, 2019. 300 p. (In Russ.).
5. Russell, S., and Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, 2020, vol. 175, pp. 935–937. DOI: 10.1016/j.artint.2011.01.005 (In Russ.).
6. Kravets, A., Poplavskaya, O., Lempert, L. The development of medical diagnostics module for psychotherapeutic practice. *Communications in Computer and Information Science*, 2017, vol. 754, pp. 872–883. DOI: 10.1007/978-3-319-65551-2_63. EDN XNKOJX (In Russ.).
7. Petraevsky, V. A., Kravets, A. G., Galynov, M. S. *Certificate of state registration of the computer program No. 2022685105 Russian Federation. The program for psychiatric diagnostics PsiScan* : no. 2022666930 : declared 13.09.2022 : published 21.12.2022. EDN DDTILK (In Russ.).
8. Petraevsky, V. A., Kravets, A. G., Eremenko, I. M. *Certificate of state registration of computer program no. 2024618252 dated April 10, 2024. Russian Federation. Server subsystem of the program for psychiatric diagnostics PsiScan*. VolGTU, 2024 (In Russ.).
9. Petraevsky, V. A. Method of intellectual analysis of text information for psychiatric diagnostics. *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computing engineering and informatics*, 2024, no. 2, pp. 95–104. DOI: 10.24143/2072-9502-2024-2-95-104 (In Russ.).
10. Afanasyeva, I. V., Pimanov, V. A. Confidentiality as a principle of activity of a practicing psychologist: the current state of legal regulation and prospects. *Psychology and Law*, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 143–152. DOI: 10.17759/psylaw.2023130211 (In Russ.).
11. *Microsoft. C# 9.0*. Microsoft Docs, 2021. Available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/whats-new/csharp-9> (accessed 01.10.2024).
12. *Microsoft. .NET 6*. Microsoft Docs, 2021. Available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/core/whats-new/dotnet-6> (accessed 01.10.2024).
13. *Entity Framework Documentation*. Microsoft Docs, 2021. Available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/ef/> (accessed 01.10.2024).
14. Jones, M. B., Bradley, J., Sakimura, N. *JSON Web Token (JWT)*. IETF, 2015. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc7519> (accessed 01.10.2024) (In Russ.).
15. *Amazon Web Services. S3*. AWS Documentation, 2021. Available at: <https://docs.aws.amazon.com/s3/> (accessed 01.10.2024).
16. Fowler, M. *Patterns of Enterprise Application Architecture*. Addison-Wesley Professional, 2002 (In Russ.).
17. Fielding, R. T. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. Irvine, University of California, 2000. Available at: https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/fielding_dissertation.pdf (In Russ.).
18. Lin, J., Tegmark, M. Why does deep and cheap learning work so well? *Journal of Statistical Physics*, 2017, vol. 168, pp. 1223–1247. DOI: 10.1007/s10955-017-1836-5 (In Russ.).
19. Kotsiantis, S. B., Zaharakis, I., Pintelas, P. Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. *Emerging Artificial Intelligence Applications in Computer Engineering*, 2007, vol. 31, pp. 249–268. DOI: 10.1007/s10462-007-9052-3 (In Russ.).
20. Goodfellow, I., Bengio, Y., and Courville, A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016 (In Russ.).
21. Zhou, J., et al. *Graph Neural Networks: A Review of Methods and Applications*. AI Open, 2020 (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 19.12.2024; одобрена после рецензирования 12.01.2025; принята к публикации 24.01.2025.

The article was submitted 19.12.2024; approved after reviewing 12.01.2025; accepted for publication 24.01.2025.

УДК 004.9

**МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ОРГАНИЗАЦИИ
КОММУНИКАЦИЙ ПРИ МАССОВОМ ЦИФРОВОМ ОБРАЗОВАНИИ**

Авилов Владимир Сергеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, 28, магистрант, ORCID: 0009-0005-1262-208X, e-mail: TheKatsu@yandex.ru

Кравец Алла Григорьевна, Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, 28, доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0003-1675-8652, e-mail: AllaGKravets@yandex.ru

Селезнёва Екатерина Анатольевна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, 28, старший преподаватель, ORCID: 0009-0000-9834-831X, e-mail: sea@vstu.ru

Статья описывает разработку и реализацию мобильного приложения цифровой кафедры для обеспечения коммуникации между преподавателями и студентами. Проект фокусируется на создании интуитивно понятного интерфейса, обеспечивающего эффективное общение через систему обмена сообщениями. Результаты тестирования подтверждают успешное выполнение основных задач приложения. Дополнительные перспективы включают в себя внедрение расписания занятий и интеграцию с другими образовательными сервисами для повышения удобства использования.

Ключевые слова: мобильное приложение цифровой кафедры, технологии React Native и WebSocket, клиент-серверное приложение, программный интерфейс, электронное обучение

**MOBILE APPLICATION AS A COMMUNICATION TOOL
IN MASS DIGITAL EDUCATION**

Avilov Vladimir S., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

master's student, ORCID: 0009-0005-1262-208X, e-mail: TheKatsu@yandex.ru

Kravets Alla G., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, ORCID: 0000-0003-1675-8652, e-mail: AllaGKravets@yandex.ru

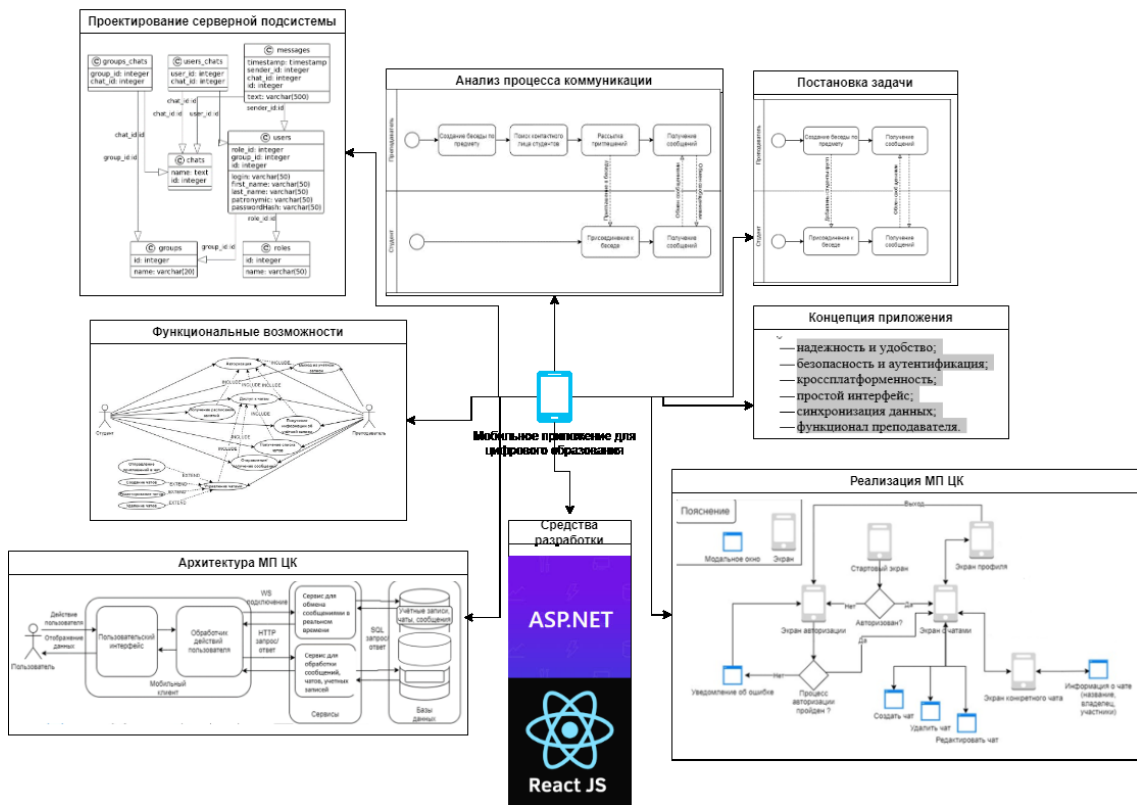
Seleznyova Ekaterina A., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Senior Lecturer, ORCID: 0009-0000-9834-831X, e-mail: sea@vstu.ru

The article describes the development and implementation of the mobile application of the digital department to ensure communication between teachers and students. The project focuses on creating an intuitive interface that enables effective communication through a messaging system. The test results confirm the successful completion of the main tasks of the application. Additional prospects include implementation of class scheduling and integration with other educational services to improve usability.

Keywords: digital department mobile application, React Native and WebSocket technologies, client-server application, application programming interface, e-learning

Graphical annotation (Графическая аннотация)



ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время цифровые технологии играют всё более важную роль в сфере образования [1]. Результаты исследований [1–3] подтверждают активное использование мобильных устройств студентами и в рамках теории обучения в «мобильной эпохе» обосновывают важность гибкости и доступности образовательных ресурсов.

В рамках программы «Приоритет 2030» Волгоградский государственный технический университет принимает участие в реализации программ дополнительной профессиональной переподготовки «Цифровые кафедры». Проект «Цифровые кафедры» [4] нацелен на массовую подготовку квалифицированных специалистов, способных работать в современных отраслях промышленности и решать сложные задачи, связанные с разработкой и применением цифровых инструментов. Задачи проекта «Цифровой кафедры» состоят в создании, развитии и совершенствовании образовательных программ в области информационных технологий (ИТ), что оказывает определяющее влияние на научно-технологическое и социально-экономическое состояние России. Проект «Цифровые кафедры» Волгоградского государственного технического университета в рамках инициативы «Приоритет 2030» активно интегрирует цифровые технологии, предоставляя студентам доступ к современным образовательным ресурсам. Смешанный формат обучения, включающий обзор последних цифровых трендов, расширяет доступность образования и обеспечивает гибкость в освоении материалов через электронные ресурсы и виртуальные практические задания.

Актуальность тематики подчеркивается не только общим влиянием цифровых технологий на образование [1], но также конкретными исследованиями, такими как «Реализация электронного курса по программированию на языке Python для платформы Android» [21] и «Информационная система управления вузом с использованием инновационных технологий» [24]. В первой статье рассматривается создание электронного курса по программированию на языке Python для платформы Android, предоставляя конкретные шаги разработки и акцентируя важность подобных обучающих приложений. Вторая статья, описывая информационную систему управления вузом с использованием инновационных технологий, подчеркивает значимость индивидуализированных приложений в контексте эффективного управления учебным процессом. Такие инновационные разработки подчеркивают необходимость создания индивидуальных приложений, адаптированных к конкретным образовательным задачам [21, 22].

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА КОММУНИКАЦИИ В ПРОЕКТЕ «ЦИФРОВЫЕ КАФЕДРЫ»

В 2022–2023 учебном году в учебном центре «Цифровая кафедра» ВолгГТУ (ЦК) для обеспечения коммуникации между преподавателями и слушателями организовывали групповые беседы в социальной сети ВК и в мессенджере Telegram. Создатель беседы приглашал преподавателей и слушателей в группу личным приглашением, ссылкой на беседу или через других участников группы (рис. 1).

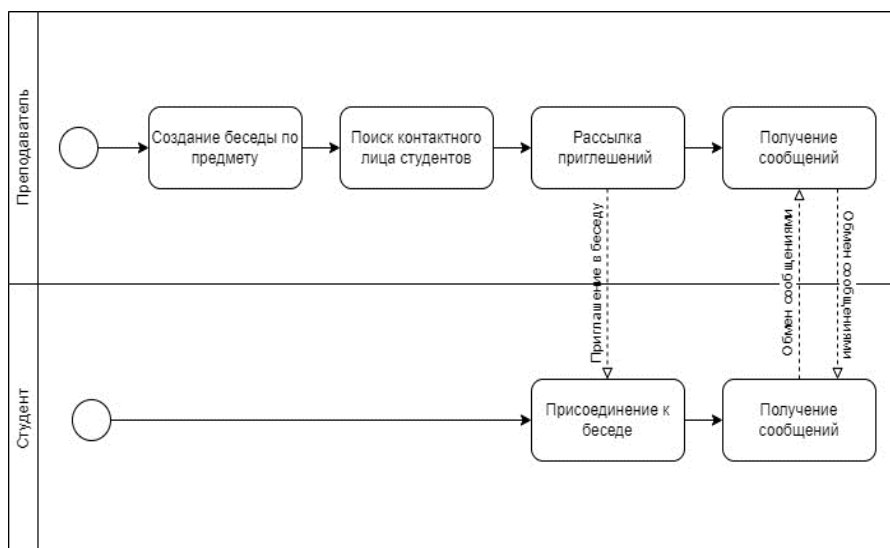


Рисунок 1 – Модель существующего процесса коммуникации студентов и преподавателей

Студенты и преподаватели испытывают сложности с объединением в беседу из-за неудобств в поиске контактов и приглашений. Это может привести к пропуску занятий или затруднениям в поисках информации.

Студенты и преподаватели заинтересованы в эффективном обмене информацией, связанной с учебным процессом, выполнением заданий и другими образовательными вопросами.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для исключения указанных проблем принято решение о необходимости разработки специального приложения, которое позволит автоматизировать процесс коммуникации, в том числе приглашения студентов в беседу.

Такое мобильное приложение обеспечит возможность создания группы обучающихся и преподавателей, где все участники будут приглашены сразу, без необходимости поиска контактов каждого студента отдельно. Это решение снизит трудоемкость, ускорит координацию учебного процесса, предотвратит возможные ошибки и недоразумения, связанные с организацией коммуникации.

Проектируемые процессы коммуникации между студентами, преподавателями смоделированы на рисунке 2. Сравнение с процессами, отображаемыми на соответствующих моделях as-is (рис. 1, 2), показывает явное снижение организационных затрат времени.

Вместо приглашений все студенты группы увидят беседу в списке доступных и смогут к ней присоединиться. Так можно создать и поддерживать несколько бесед с разными или одинаковыми группами по различным модулям программы без необходимости приглашения вручную. Автоматизация процесса создания беседы исключает «пропуск» участников: все студенты группы будут добавлены автоматически, вне зависимости от даты их регистрации (рис. 3).

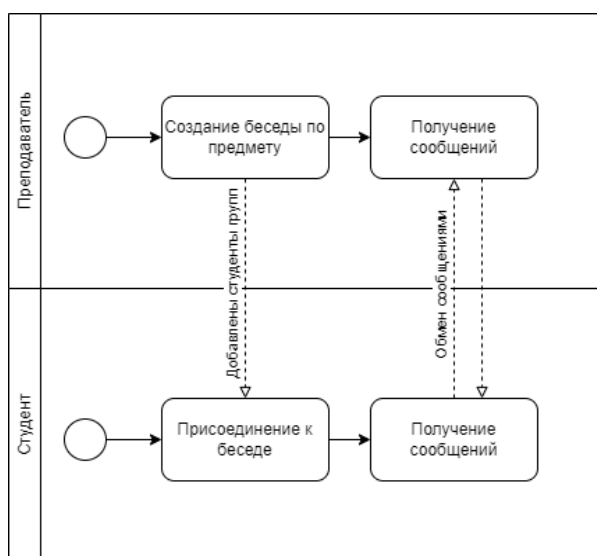


Рисунок 2 –BPMN-модель процесса коммуникации студентов и преподавателей

В основе разработанного мобильного приложения лежит цель снижения сложности процесса общения преподавателей и студентов.

Использование участниками образовательного процесса нового мобильного приложения слушателя цифровой кафедры «ЦК.ВолГТУ» позволит значительно улучшить качество обучения, обеспечит доступ к актуальным материалам и повысит эффективность образовательных процессов. В этой связи разработка мобильного приложения «ЦК.ВолГТУ» необходима и актуальна.

КОНЦЕПЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ

Мобильное приложение слушателя цифровой кафедры (МП ЦК) «ЦК.ВолГТУ» – это платформа, которая позволяет снизить трудоёмкость процесса коммуникации между студентами и преподавателями.

Сообщения, которыми обмениваются участники цифровой кафедры, а также информация об их персоне имеют конфиденциальный характер. Этот фактор необходимо учесть при разработке инструмента коммуникации, уделив особое внимание защите данных, чтобы предотвратить несанкционированный доступ и утечку информации.

К минимально необходимым требованиям разработки следует отнести совместимость с различными операционными системами, такими как Android и iOS, что обеспечит широкий охват пользователей. Интерфейс МП ЦК должен быть удобным и интуитивно понятным пользователям, что облегчит поиск и использование функциональных возможностей приложения.

Для решения коммуникативных проблем в процессе деятельности цифровой кафедры составлен перечень основных требований к разрабатываемому мобильному модулю:

- надёжность и удобство;
- безопасность и аутентификация;
- кроссплатформенность;
- простой интерфейс;
- синхронизация данных;
- функционал преподавателя.

Для обеспечения безопасности пользовательских данных необходимо запрашивать аутентификацию для доступа к функциям модуля. Следует реализовать соответствующие меры безопасности для защиты личной информации учащихся и преподавателей. Также для удобства использования всеми учащимися и преподавателями приложение должно быть доступно на мобильных платформах как Android, так и iOS. Интерфейс пользователя должен быть интуитивно понятен и прост в использовании, чтобы позволять быстро находить нужную информацию и выполнять необходимые действия. Очень важна поддержка синхронизации данных между мобильными устройствами и другими платформами, чтобы пользователи могли обмениваться информацией в любое время и в любом месте.

Разрабатываемый модуль следует обеспечить удобным функционалом управления групповыми чатами. Это позволит преподавателю легко и эффективно координировать общение внутри группы студентов, создавая пространство для взаимодействия и обмена идеями.

АРХИТЕКТУРА МП ЦК

Приложение реализовано с помощью клиент-серверной архитектуры [5], эффективно распределяющей сетевую нагрузку приложения. Выбранная модель организации вычислительной системы разделяет задачи и обязанности между клиентом и серверной частью, что упрощает разработку и обслуживание приложения. Архитектура «клиент-сервер» обеспечивает масштабируемость приложения за счет добавления или изменения ресурсов сервера, что позволяет программе обрабатывать большие объемы данных и запросов. Взаимодействие между клиентом и сервером позволяет улучшить производительность приложения, например, за счёт уменьшения объёма передаваемых данных или выполнения вычислений на сервере.

Клиентская часть приложения отвечает за предоставление данных, пользовательский интерфейс и взаимодействие с пользователем. Серверная часть обрабатывает бизнес-логику, хранит данные и предоставляет программный интерфейс приложения (API – Application Programming Interface) для взаимодействия с клиентом. Такое разделение ответственности упрощает управление данными, обеспечивает их целостность и облегчает обновление. На серверной стороне реализована микросервисная архитектура [6], разделяющая приложение на небольшие и независимые службы – «сервисы», которые работают вместе для достижения общей функциональности. Для работы необходимы сервисы, которые обеспечат обмен сообщениями внутри чата между пользователями.

Платформа использует классический протокол связи через интернет HTTP, веб-протокол WS и SQL. Архитектура решения схематично представлена на рисунке 3.

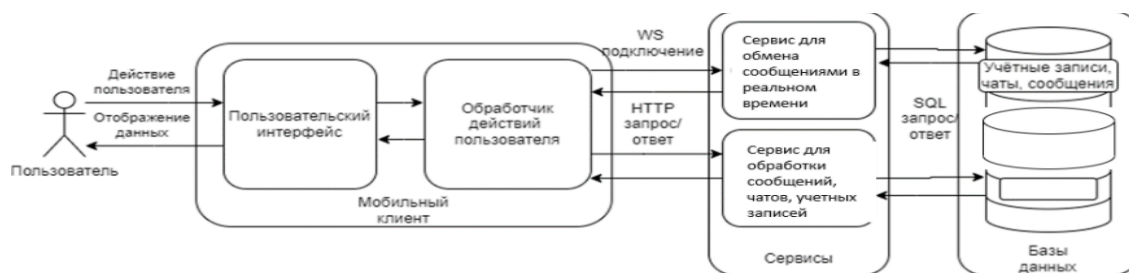


Рисунок 3 – Схема общей архитектуры приложения

Система разделена на шесть функциональных модулей: стартовый, авторизации, списка чатов, сообщений, управления чатами. Каждый модуль выполняет свой набор функций. Так, стартовый модуль проверяет авторизацию, а модуль авторизации осуществляет валидацию и даёт возможность регистрации новым пользователям. Модуль списка чатов выдаёт студенту перечень чатов, в которые он включен, а преподавателю – перечень чатов, созданных им или в которые он приглашён. Модуль сообщений позволяет вводить, отправлять и просматривать сообщения. Модуль управления чатами предоставляет возможности создания, редактирования, удаления чата, приглашения в чат и выхода из чата.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МП ЦК

Диаграмма прецедентов (рис. 6) иллюстрирует доступ к функциональным возможностям приложения преподавателя и студента. Преподавателю доступен весь функционал студента, но результаты запросов отличаются: чаты для группы, а преподаватель – для себя. Дополнительный функционал по управлению чатами доступен только преподавателю. Доступ по ролям определён с помощью атрибутов на контроллёрах.

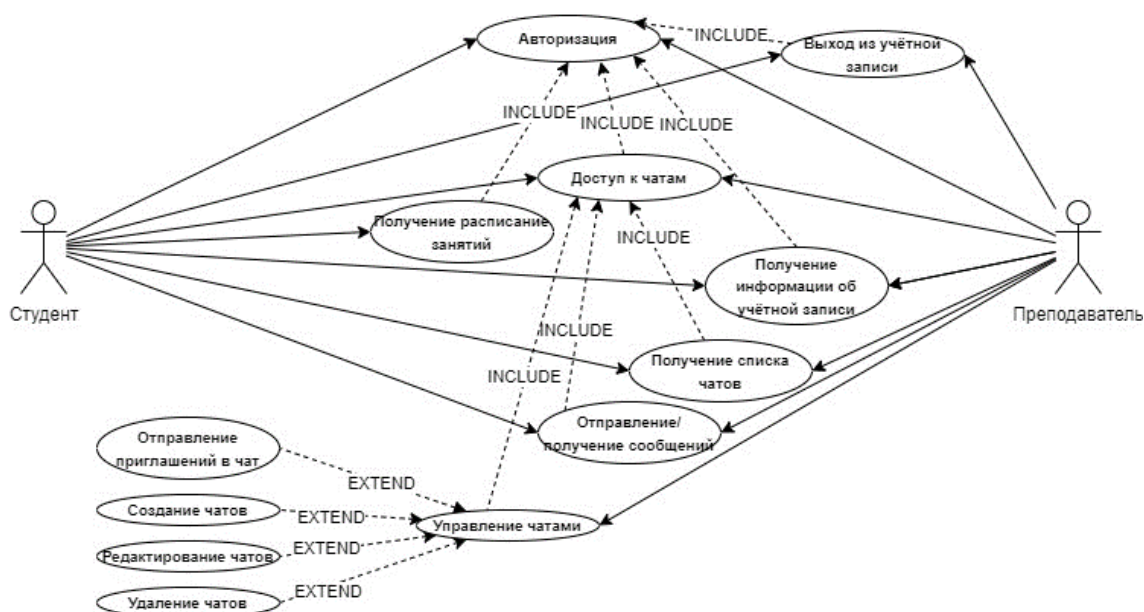


Рисунок 4 – Диаграмма прецедентов цифровой кафедры

Входные данные приложения «ЦК.ВолГТУ» включают информацию, необходимую для успешного взаимодействия с системой. Для авторизации эти данные включают логин и пароль. Личный профиль – это информация о фамилии, имени, отчестве, роли – студент или преподаватель и названии группы для студента. Для отправки сообщения необходимы идентификатор чата, текст и токен отправителя. Для создания чата понадобятся название чата, список участников чата и токен преподавателя.

Выходные данные приложения предоставляют пользователям информацию и функциональность, необходимую для активного участия в образовательном процессе.

Модуль коммуникаций выдаёт список и текст сообщений в чате, дату отправки и автора. Список чатов модуля коммуникаций предоставляет групповые чаты по дисциплинам и чат по программе.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРВЕРНОЙ ПОДСИСТЕМЫ

Для разработки серверной подсистемы приложения необходимо подключить базу данных инструментами технологии Entity Framework. Для работы с таблицами как с классами необходимо создать область видимости или контекст базы данных – набор классов, отражающих структуру базы данных. Параметры контекста базы данных для работы с базой данных должны включать строку подключения, имя таблицы и др. Кроме того, в контексте базы данных нужно настроить конфигурацию преобразования, которая определит, как данные из базы данных будут преобразованы в объекты и наоборот. Это позволит гибко настраивать работу с данными в приложении и эффективно использовать возможности технологии Entity Framework.

Для проектирования и реализации модуля коммуникации определим необходимые формы полей хранения информации в базе данных: о пользователях, их ролях, учебных группах, используемых чатах, обмене сообщениями. Схема реализованной базы данных модуля коммуникации представлена на рисунке 5.

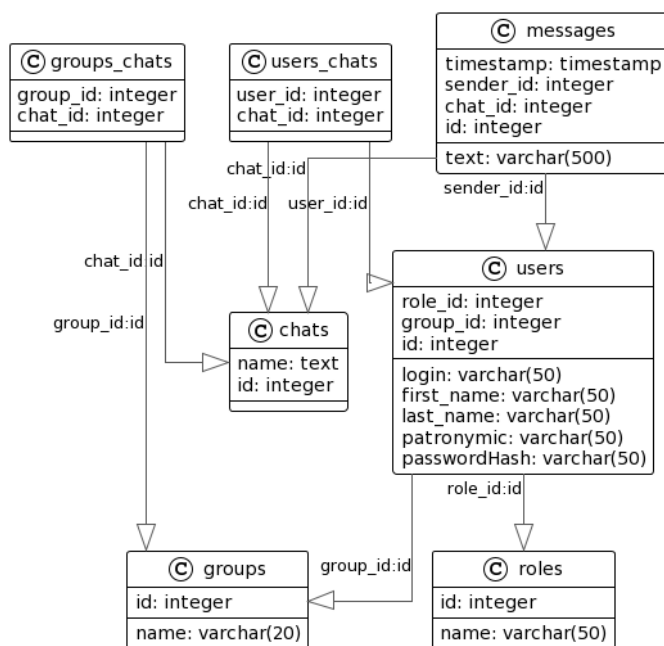


Рисунок 5 – Схема базы данных модуля коммуникации

Дальнейшие действия основаны на паттерне проектирования CQRS (Command and Query Responsibility Segregation – «разделение ответственности за команды и запросы») [16]. Суть паттерна: команды выполняют действия по добавлению, изменению и удалению данных, а запросы получают данные на чтение. Использование паттерна CQRS упрощает разработку приложения и повышает его масштабируемость.

СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ МП ЦК

В качестве средства разработки МП ЦК была выбрана платформа для разработки мобильных приложений с открытым кодом React Native [7]. Основной принцип React Native заключен в использовании одной кодовой базы для создания приложений для iOS и Android. Выбранная платформа позволяет использовать язык программирования JavaScript для создания компонентов приложения и React, чтобы скомпилировать эти компоненты в нативный код.

JavaScript [8] основной язык программирования в React Native для разработки мобильных приложений.

Для разработки серверной части сервиса для обработки логики чата (далее – модуля коммуникации) выбрана интернет-платформа ASP.NET [9]. Платформа позволяет использовать технологии реального времени, такие как веб-сокеты, обеспечивает высокую производительность и масштабируемость. ASP.NET позволяет эффективно обрабатывать множество запросов в многопользовательском приложении для коммуникации, предлагает различные механизмы безопасности, в том числе шифрование данных и предотвращение SQL-инъекций.

Для реализации своевременной коммуникации в ASP.NET выбран инструмент SignalR [10], который обеспечит обмен сообщениями в реальном времени между клиентом и сервером. Библиотека SignalR использует транспортные технологии WebSocket, Server-Sent Events и Long Polling.

Такой спектр обеспечит максимальную поддержку между браузерами и устройствами, упростит обработку мгновенных сообщений и уведомлений чата, позволит мгновенно обновлять содержимое на клиенте при внесении изменений на сервере. Инструменты платформы ASP.NET, выбранные для реализации модуля:

- Entity Framework Core [11] – набор инструментов и библиотек для отображения объектно-ориентированной модели данных на реляционную базу данных, облегчает работу с данными и упрощает процесс взаимодействия с базой данных;

- Swashbuckle – библиотека для интеграции инструментария со спецификацией OpenAPI Swagger [12] в приложения ASP.NET Core, предоставляет автоматическую генерацию документов API и интерактивную веб-страницу для исследования и тестирования API;

- MediatR – библиотека с паттерном Mediator [13] для разработки приложений на платформе .NET, упрощает коммуникацию и обработку сообщений между компонентами приложения путём централизации логики обработки запросов и уведомлений, позволяет разделить логику приложения на отдельные классы-обработчики (Handlers), что способствует повышению читабельности, управляемости и переиспользованию кода;

- Microsoft.AspNetCore.Authentication.JwtBearer – библиотека аутентификации и авторизации на основе токенов JSON Web Token (JWT) [14] в приложениях ASP.NET Core, позволяет защитить конечные точки API и ограничить доступ к ресурсам приложения.

Для хранения данных модуля коммуникаций решено использовать реляционную базу данных с открытым кодом PostgreSQL [15]. Применение PostgreSQL позволит осуществить полномасштабную разработку и обеспечит высокую надёжность и целостность данных. Отсутствие лицензионных ограничений способствует свободному распространению МП ЦК.

Для разработки клиентской части кроссплатформенного мобильного приложения использованы React Native в связке с набором инструментов, библиотек и сервисов Expo. Expo позволяет просматривать приложение в процессе разработки. База макетов и компонентов определена так, чтобы покрывать все запросы сервисов МП ЦК. Разделим интерфейс и логику таким образом, чтобы файлы интерфейса содержали вызовы методов логики и отображали результат работы, а сервисы, в свою очередь, выполняли запросы на сервера модуля коммуникации.

РЕАЛИЗАЦИЯ МП ЦК «ЦК.ВолГТУ»

Таким образом, для программного интерфейса модуля коммуникации определены точки доступа и разделена ответственность по группам. К аккаунту отнесена логика авторизации и верификации токена. Реализованы возможности создания, изменения, получения, удаления записей чатов, а также создание и получение сообщений. Также необходимо определить точку двунаправленного подключения с помощью WS. Точки доступа перечислены и охарактеризованы в таблице.

Таблица – Точки доступа к API модуля коммуникации

Метод	API путь	Описание
POST	/api/Account/login	Аутентификация пользователя
GET	/api/Account/isAuthenticated	Получение информации об аутентификации пользователя
GET	/api/Account/getProfile	Получение профиля пользователя
POST	/api/Chat/create	Создание нового чата
PUT	/api/Chat/edit	Редактирование чата
DELETE	/api/Chat/delete/{id}	Удаление чата по его идентификатору id
PUT	/api/Chat/invite	Приглашение в чат
PUT	/api/Chat/leave	Выход из чата
POST	/api/Chat/onDisconnected	Уведомление о том, что пользователь отключился от чата
GET	/api/Chat/get/{id}	Получение информации о конкретном чате по его идентификатору id
GET	/api/Chat/get	Получение списка всех чатов
POST	/api/Messages/send	Отправка нового сообщения
GET	/api/Messages/getInChat/{id}	Получение списка сообщений в конкретном чате по его идентификатору id
WS	/hub/Join	Подключение к чату по веб-сокету
WS	/hub/Leave	Отключение от чата по веб-сокету

Навигационная панель определена так, чтобы приложение начинало работу с проверки пользователя на наличие валидного токена. Если такой есть, пользователь будет направлен со стартовой страницы на экран со списком чатов, иначе произойдёт переход к форме авторизации. На экране авторизации два поля ввода для логина и пароля, кнопка для отправки данных на сервер, где

в случае соответствия данных пользователь получит токен, иначе будет сообщено об ошибке и предупреждение появится в модальном окне. Получившего токен пользователя направят на страницу со списком чатов, где будет экран с чатами, а в правом верхнем углу – кнопка для перехода к профилю. Подробная схема навигации представлена на рисунке 6.

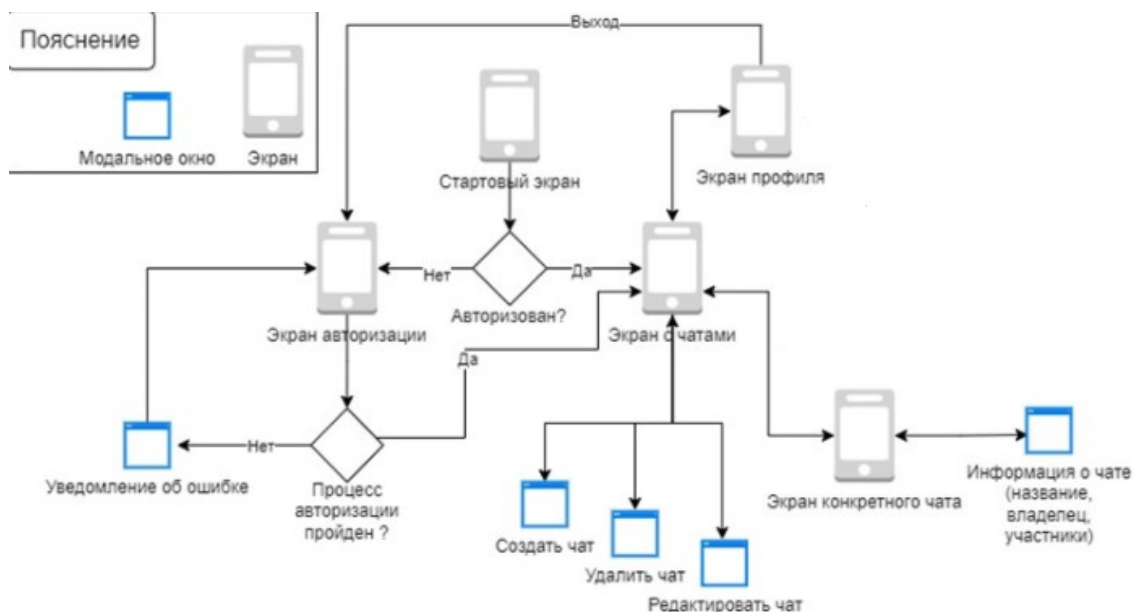


Рисунок 6 – Схема переходов между экранами приложения

Первый важный режим приложения – это аутентификация. Авторизованного пользователя программа перенаправит на экран со списком бесед. Нового пользователя приложение перенаправит на экран авторизации (рис. 7). Этот обеспечит безопасность данных и санкционированный доступ к содержимому.

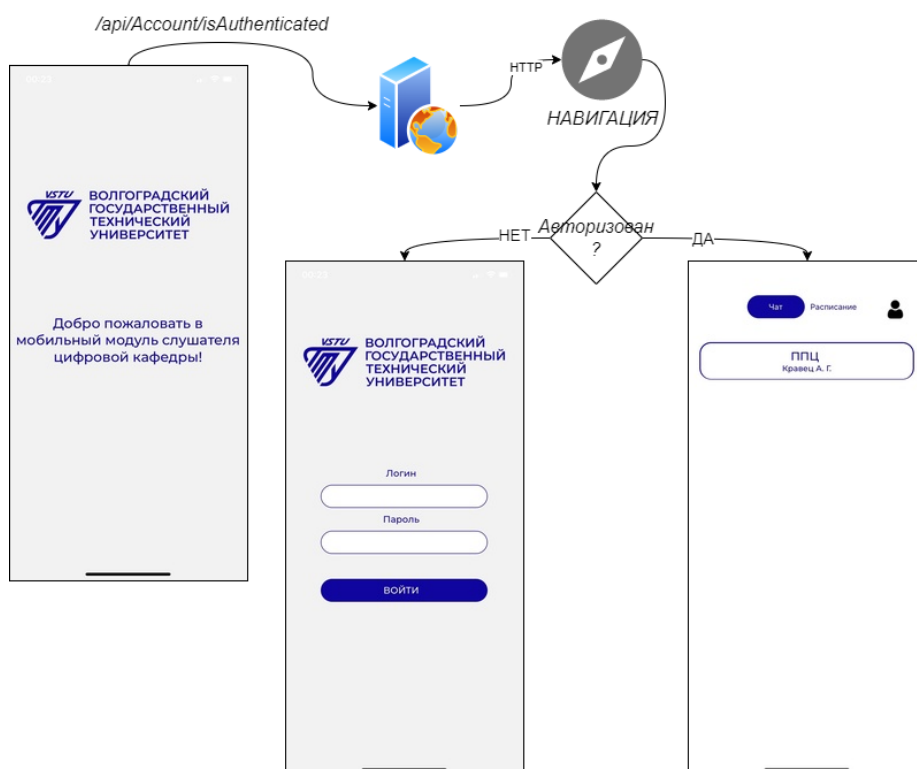


Рисунок 7 – Схема алгоритма работы стартовой страницы

Экран авторизации представляет интерфейс при входе в приложение. Для прохождения авторизации необходимо ввести корректные данные входа в систему. Процесс валидации формы представлен на рисунке 8.

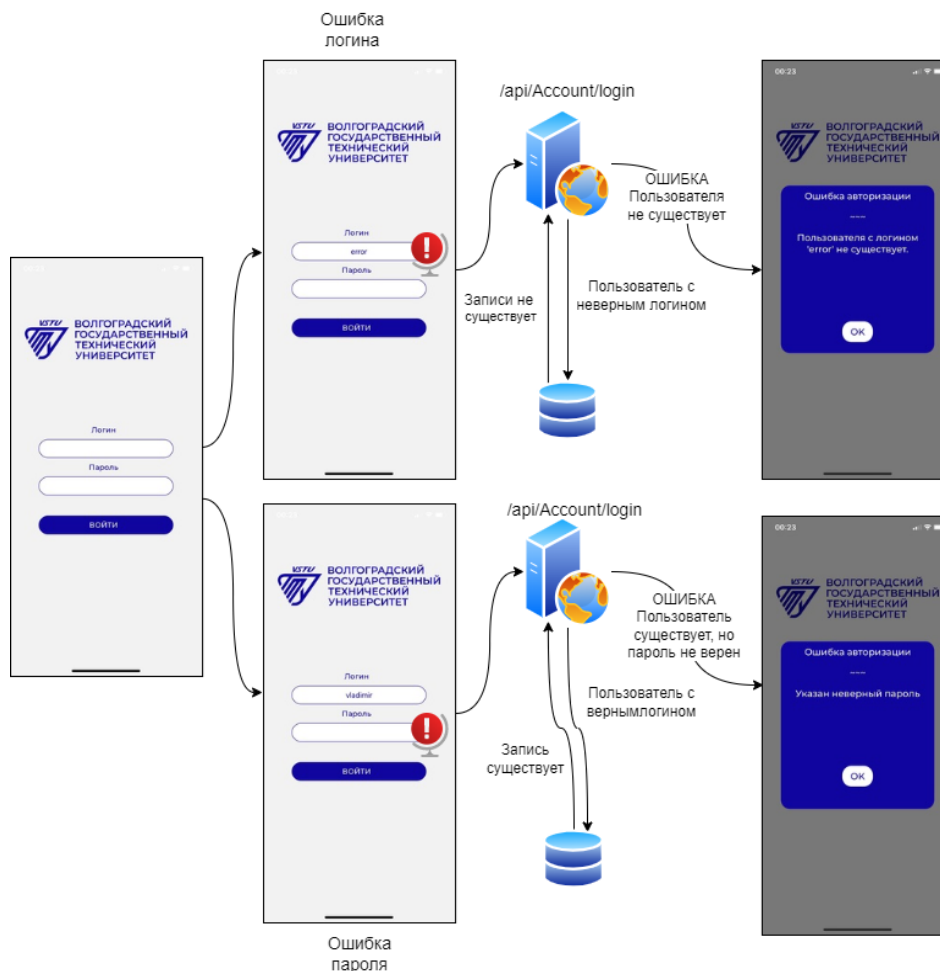


Рисунок 8– Валидация формы авторизации

Компоненты интерфейса авторизации: поля ввода, кнопка входа и модальное окно. Экран авторизации содержит поля ввода, где пользователь может ввести свои учётные данные, т. е. логин и пароль. После заполнения полей ввода пользователь нажмёт кнопку для отправки своих данных и попытки входа в систему. После проверки данных сервер вернёт результат авторизации, в случае успеха – токен доступа, в случае неудачи – сообщение об ошибке. Некорректный ввод логина или пароля открывает модальное окно. Это дополнительный механизм обратной связи для пользователя. Модальное окно отображает, где была допущена ошибка.

Экран списка чатов представлен в двух вариантах – для студентов и преподавателей. Студенты получают список чатов по названию групп, в которых они проходят обучение, преподаватели получают доступ ко всем чатам, которые они создали или были приглашены. У преподавателя в правом нижнем углу есть кнопка «Создать чат», при нажатии на которую открывается модальное окно с полем названия чата и выпадающим списком для выбора группы. Нажатие по названию группы отобразит её в списке групп, выбранных для чата. После создания чат отобразится в списке у создателя и участников всех выбранных групп. Алгоритм создания чата представлен на рисунке 9.

Если удерживать конкретный чат в списке, то откроется окно редактирования, в котором можно его изменить или удалить. Алгоритмы этих действий представлены на рисунках 10 и 11 соответственно.

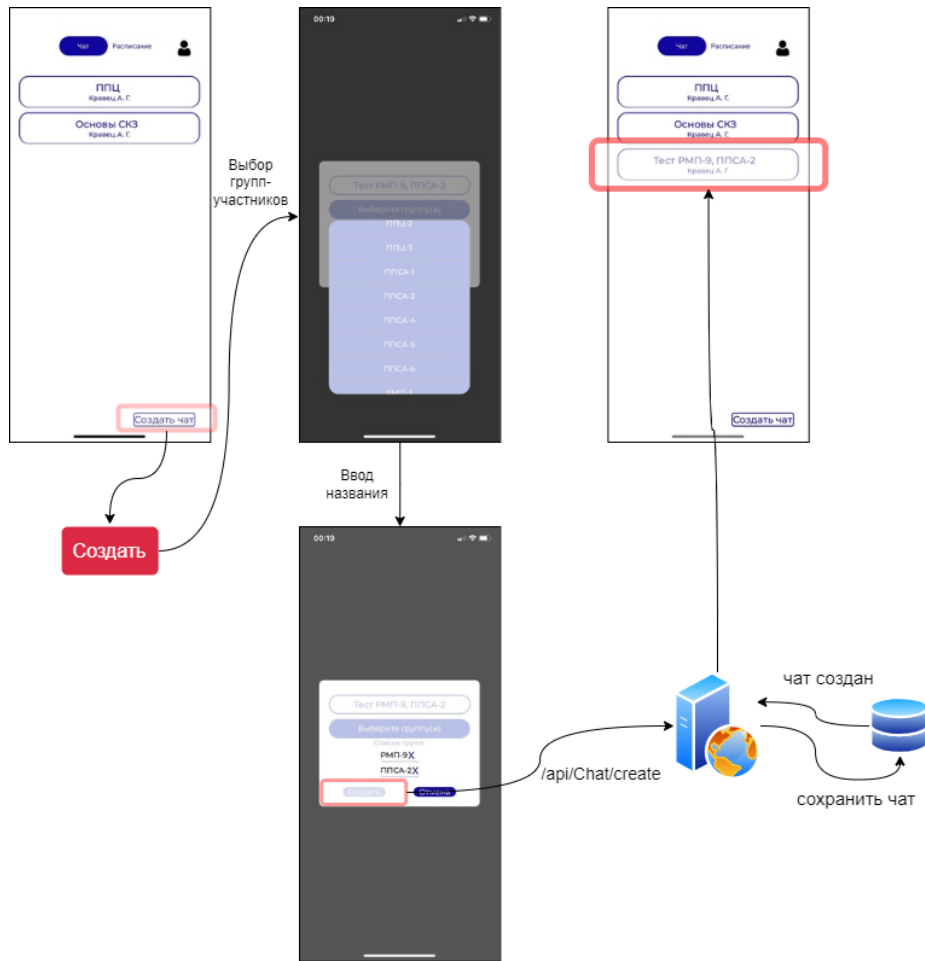


Рисунок 9 – Схема алгоритма создания чата

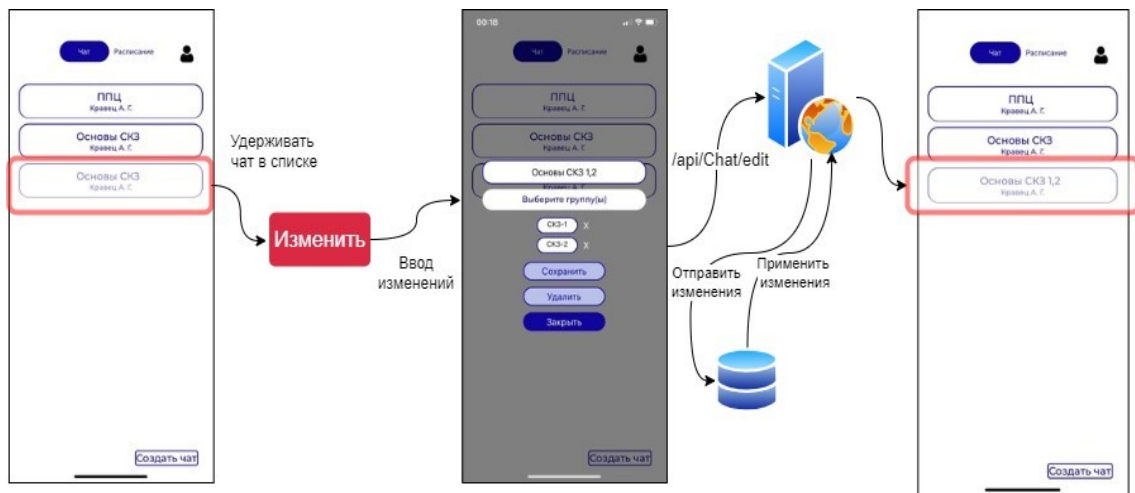


Рисунок 10 – Схема алгоритма изменения чата

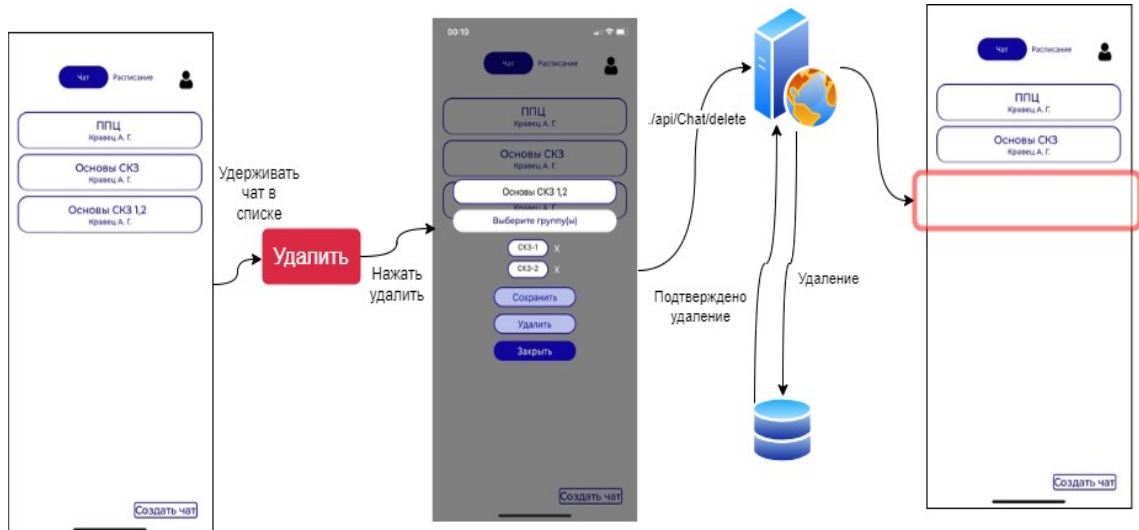


Рисунок 11 – Схема алгоритма удаления чата

Нажатие на элемент списка чатов вызывает подключение к конкретному чату с помощью веб-сокетов, при этом устанавливается соединение для обмена сообщениями в реальном времени. После подключения виден список предыдущих сообщений и возникает возможность самостоятельно отправлять сообщения. Нажатие на текстовое поле ввода активирует появление клавиатуры и смещение текстового поля ввода, чтобы не перекрывать клавиатуру. После ввода текста нажатие кнопки «отправить» передаёт через WS сообщение для обработки на сервер, а затем текст сообщения появится в чате без необходимости обновления страницы. Алгоритм обмена сообщениями с помощью веб-сокетов представлен на рисунке 12.

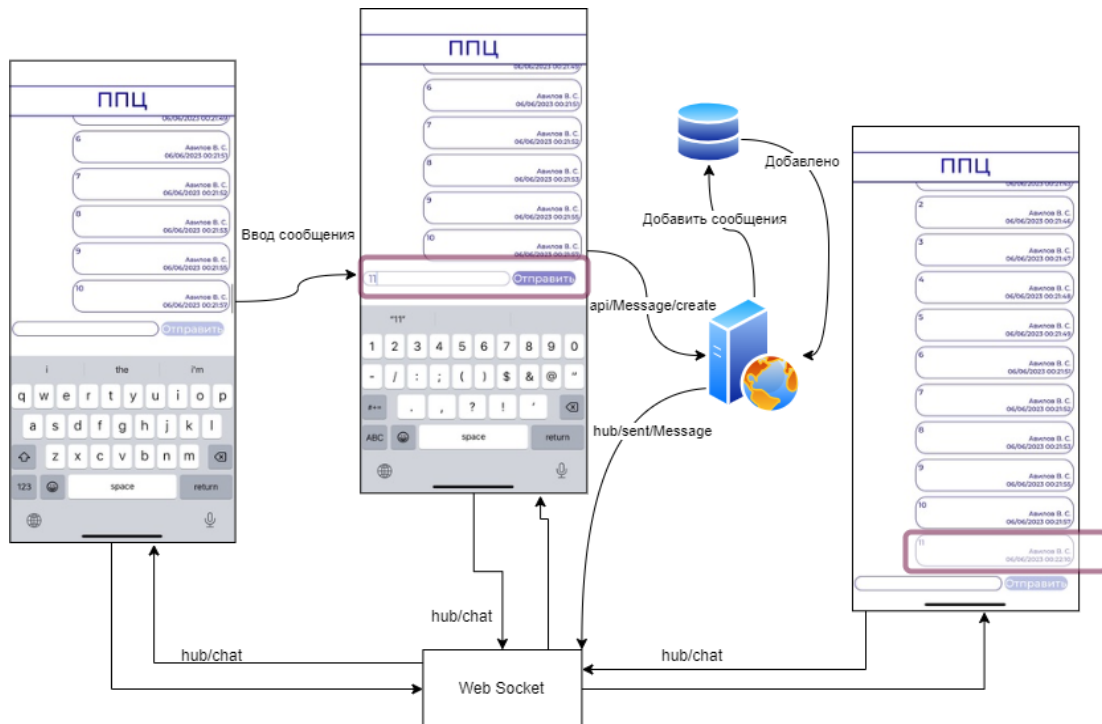


Рисунок 12 – Алгоритм отправки сообщений

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

Тестирование разработки МП ЦК «ЦК.ВолГТУ» проведено с помощью Expo Go [17] на телефоне iPhone 11, iOS 16.3.1. Expo CLI [18] даёт быстро развернуть приложение на устройствах и поддерживает весь доступный набор инструментов React Native, что позволяет отлаживать и следить за работой приложения с помощью консоли.

Для тестирования приложения сформированы минимальные требования к оборудованию: в случае iPhone или iPad на них должна быть установлена iOS 11 или более поздняя версия; в случае Android устройство должно работать под Android 7.0 и выше. Для запуска приложения на устройстве на iOS 14 или более поздней версии необходимо наличие Expo Go версии 3.28.0 или выше, для устройств Android 5.0-6.0 Expo Go должен быть версии 2.19.2 или выше.

Для тестирования приложения использован комплекс автоматизированного и ручного методов. Автоматические модульные тесты [21] проверяют корректность работы отдельных компонентов программы и позволяют быстро выявить ошибки и дефекты в коде на ранних этапах разработки. Ручным функциональным тестированием [22] проверяли систему на соответствие требованиям технического задания и оценивали её удобство для конечного пользователя. Таким образом, все требуемые функции были реализованы и протестированы, вследствие чего не было выявлено ошибок или несоответствий.

Тестирование отказоустойчивости заключалось в воспроизведении нагрузки на серверную часть разработанного приложения. Нагрузка совершалась за счёт одновременной подачи нескольких запросов от нескольких пользователей. В процессе тестирования отказоустойчивости было проведено восемь типов заведомо ошибочных попыток:

- ввод логина от несуществующей учётной записи в модуле авторизации;
- ввод неверного пароля от учётной записи в модуле авторизации;
- создание чата с токеном студента;
- подключение к чату, в котором пользователь не числится;
- отправление сообщения в чат, в котором пользователь не числится;
- изменение чата не «создателем»;
- удаление чата не «создателем»;
- отправление сообщения с пустой строкой.

В результате проведённого тестирования отказоустойчивости МП ЦК были проработаны несколько уязвимостей, связанных с ограничением доступа к определённым функциям и методам, а также с обработкой ошибок при вводе пользовательских данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения проекта разработано и реализовано МП ЦК для слушателей цифровой кафедры, предназначенное для обеспечения эффективной коммуникации между преподавателями и студентами. Основная задача разработки заключена в создании системы, которая обеспечивает быструю и удобную коммуникацию с преподавателями. МП ЦК обладает интуитивно понятным интерфейсом, который позволяет студентам легко находить нужную информацию и взаимодействовать с преподавателями без сложностей.

Разработанное приложение предоставляет возможность взаимодействия с преподавателями через систему обмена сообщениями, что обеспечивает эффективную коммуникацию и своевременное решение вопросов, возникающих в процессе обучения. Студенты могут задавать вопросы, уточнять материалы, обсуждать задания и получать помощь от преподавателей в режиме реального времени. Это способствует более глубокому пониманию учебного материала и повышает качество обучения.

В дальнейшем планируется совершенствование и развитие данного приложения, включая расширение его функционала, добавление возможностей просмотра расписания, интеграцию с другими сервисами для повышения удобства использования и обеспечения максимальной доступности актуальной информации для студентов цифровой кафедры.

Список источников

1. Мамажонов, У. М. Цифровые технологии: их роль в образовательном процессе / У. М. Мамажонов // Проблемы современного образования. – 2022. – № 5. – С. 209–217.
2. Лузгина, В. Б. Опыт использования мобильных технологий в образовательной среде вуза / В. С. Лузгина, Ж. А. Стаховская // Образовательные технологии и общество. – 2016. – № 3. – С. 463–472.
3. Куксова, В. М. Основные модели международных партнерств для реализации мобильных образовательных программ / В. М. Куксова, Г. Н. Рыбина // Пространство экономики. – 2010. – № 2. – С. 212–216.
4. Цифровая кафедра ВолГТУ // Волгоградский государственный технический университет. – URL: <https://ck34.ru/> (дата обращения: 21.11.2024).
5. Client/Server Architecture // Techopedia. – URL: <https://www.techopedia.com/definition/438/clientserver-architecture> (дата обращения: 28.05.2023).
6. Микросервисная архитектура: что это, кому подойдет, с чего начать // Yandex Cloud. – URL: <https://cloud.yandex.ru/blog/posts/2022/03/microservice-architecture> (дата обращения: 28.05.2023).

7. Paterska, P. What is React Native And When to Use It For Your App in 2023 / P. Paterska // EL Passion. – URL: <https://www.elpassion.com/blog/what-is-react-native-and-when-to-use-it>. дата обращения: 25.01.2023.
8. Ghanchi, J. How to Developed Mobile App With JavaScript? / J. Ghanchi // The IOT Magazine. – URL: <https://theiotmagazine.com/how-to-developed-mobile-app-with-javascript-9a2441874b54> (дата обращения: 10.06.2021).
9. ASP.NET | Open-source web framework for .NET // Microsoft .NET. – URL: <https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/aspnet> (дата обращения: 28.05.2023).
10. Introduction to SignalR // Microsoft Learn. – URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/signalr/overview/getting-started/introduction-to-signalr> (дата обращения: 28.05.2023).
11. Overview of Entity Framework Core // Microsoft Learn. – URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/ef/core/> (дата обращения: 28.05.2023).
12. Swagger: API Documentation & Design Tools for Teams // Swagger. – URL: <https://swagger.io/> (дата обращения: 28.05.2023).
13. Why do we need MediatR? // Blogger. – URL: <https://ivanyakimov.blogspot.com/2021/11/why-do-we-need-mediatr.html> (дата обращения: 28.05.2023).
14. Безопасность JSON Web Tokens (JWT) // Cyber Polygon. – URL: <https://cyberpolygon.com/ru/materials/security-of-json-web-tokens-jwt/> (дата обращения: 28.05.2023).
15. Моргунов, Е. П. PostgreSQL. Основы языка SQL / Е. П. Моргунов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2018. – 336 с.
16. Что такое Firebase? Раскрываем все тайны // Back4App Blog. – URL: <https://blog.back4app.com/ru/что-такое-firebase/> (дата обращения: 28.05.2023).
17. Firestore documentation // Google Cloud. – URL: <https://cloud.google.com/firestore/docs> (дата обращения: 28.05.2023).
18. Шаблон CQRS – Azure Architecture Center // Microsoft Learn. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/architecture/patterns/cqrs> (дата обращения: 28.05.2023).
19. Создание новостного мобильного приложения с помощью React Native и Expo // vc.ru. – URL: <https://vc.ru/dev/83274-sozdanie-novostnogo-mobilnogo-prilozheniya-s-pomoshchyu-react-native-i-expo> (дата обращения: 03.06.2023).
20. Как использовать Expo CLI для разработки приложения с React // Noviello.it Newsletter. – URL: <https://noviello.it/ru/kak-ispolzovat-expo-cli-dlia-razrabotki-prilozheniya-s-react/> (дата обращения: 03.06.2023).
21. Автоматическое тестирование ПО // Atlassian. – URL: <https://www.atlassian.com/ru/continuous-delivery/software-testing/automated-testing> (дата обращения: 03.06.2023).
22. Гид по ручному тестированию приложений: преимущества, этапы и методологии // Хабр. – URL: <https://habr.com/ru/companies/skillbox/articles/418889/> (дата обращения: 03.06.2023).
23. Шельпук, М. И. Разработка программного обеспечения для мониторинга и редактирования информации о студентах / М. И. Шельпук, С. А. Микаева, Ю. А. Журавлева и др. // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2022. – № 4 (60). – С. 77–88.
24. Фомичева, О. Е. Информационная система управления вузом с использованием инновационных технологий // Программная инженерия. – 2008. – № 3. – С. 19–21.

References

1. Mamazonov, U. M. Digital technologies: their role in the educational process. *Problems of Modern Education*, 2022, no. 5, pp. 209–217 (In Russ.).
2. Luzgina, V. B., Stakhovskaya, Zh. A. Experience of using mobile technologies in the educational environment of the university. *Educational Technologies and Society*, 2016, no. 3, pp. 463–472 (In Russ.).
3. Kuksova, V. M., Rybina, G. N. Main models of international partnerships for the implementation of mobile educational programs. *Space of the Economy*, 2010, no. 2, pp. 212–216 (In Russ.).
4. Digital Department of VolGTU. *Volgograd State Technical University*. Available at: <https://ck34.ru/> (accessed 21.11.2024) (In Russ.).
5. Client/Server Architecture. *Techopedia*. Available at: <https://www.techopedia.com/definition/438/clientserver-architecture> (accessed 28.05.2023) (In Russ.).
6. Microservice architecture: what is it, who is it suitable for, where to start. *Yandex Cloud*. Available at: <https://cloud.yandex.ru/blog/posts/2022/03/microservice-architecture> (accessed 28.05.2023) (In Russ.).
7. Paterska, P. What is React Native And When to Use It For Your App in 2023. *EL Passion*. Available at: <https://www.elpassion.com/blog/what-is-react-native-and-when-to-use-it> (accessed 25.01.2023).
8. Ghanchi, J. How to Developed Mobile App With JavaScript? *The IOT Magazine*. Available at: <https://theiotmagazine.com/how-to-developed-mobile-app-with-javascript-9a2441874b54> (accessed 10.06.2021).
9. ASP.NET | Open-source web framework for .NET. *Microsoft .NET*. Available at: <https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/aspnet> (accessed 28.05.2023).
10. Introduction to SignalR. *Microsoft Learn*. Available at: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/signalr/overview/getting-started/introduction-to-signalr> (accessed 28.05.2023).
11. Overview of Entity Framework Core. *Microsoft Learn*. Available at: <https://learn.microsoft.com/en-us/ef/core/> (accessed 28.05.2023).
12. Swagger: API Documentation & Design Tools for Teams. *Swagger*. Available at: <https://swagger.io/> (accessed 28.05.2023).
13. Why do we need MediatR? *Blogger*. Available at: <https://ivanyakimov.blogspot.com/2021/11/why-do-we-need-mediatr.html> (accessed 28.05.2023).

14. Security of JSON Web Tokens (JWT). *Cyber Polygon*. Available at: <https://cyberpolygon.com/ru/materials/security-of-json-web-tokens-jwt/> (accessed 28.05.2023) (In Russ.).
15. Morgunov, E. P. *PostgreSQL. Basics of the SQL language*. St. Petersburg, BHV-Petersburg, 2018. 336 p. (In Russ.).
16. What is Firebase? Revealing all the secrets. *Back4App Blog*. Available at: <https://blog.back4app.com/ru/что-такое-firebase/> (accessed 28.05.2023) (In Russ.).
17. Firestore documentation. *Google Cloud*. Available at: <https://cloud.google.com/firestore/docs> (accessed 28.05.2023).
18. CQRS pattern – Azure Architecture Center. *Microsoft Learn*. Available at: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/architecture/patterns/cqrs> (accessed 28.05.2023) (In Russ.).
19. Creating a news mobile application using React Native and Expo. *vc.ru*. Available at: <https://vc.ru/dev/83274-sozdanie-novostnogo-mobilnogo-prilozheniya-s-pomoshchyu-react-native-i-expo> (accessed 03.06.2023) (In Russ.).
20. How to use Expo CLI to develop an application with React. *Noviello.it Newsletter*. Available at: <https://noviello.it/ru/kak-ispolzovat-expo-cli-dlia-razrabotki-prilozheniya-s-react/> (accessed 03.06.2023) (In Russ.).
21. Automatic software testing. *Atlassian*. Available at: <https://www.atlassian.com/ru/continuous-delivery/software-testing/automated-testing> (accessed 03.06.2023) (In Russ.).
22. Guide to manual application testing: advantages, stages and methodologies. *Habr*. Available at: <https://habr.com/ru/companies/skillbox/articles/418889/> (accessed 03.06.2023) (In Russ.).
23. Shelpuk, M. I., Mikaeva, S. A., Zhuravleva, Yu. A. et al. Development of software for monitoring and editing information about students. *Caspian Journal: Control and High Technologies*, 2022, no. 4 (60), pp. 77–88 (In Russ.).
24. Fomicheva, O. E. University management information system using innovative technologies. *Software Engineering*, 2008, no. 3, pp. 19–21 (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 27.11.2024; одобрена после рецензирования 12.01.2025; принята к публикации 04.02.2025.

The article was submitted 27.11.2024; approved after reviewing 12.01.2025; accepted for publication 04.02.2025.

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 004.056

ЭКСПЛУАТАЦИЯ УЯЗВИМОСТИ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ASTRA LINUX

Степанова Елизавета Андреевна, Омский государственный университет путей сообщения, 644046, Российская Федерация, г. Омск, пр. Маркса, 35,

кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0001-7712-3242

Елизаров Дмитрий Александрович, Омский государственный университет путей сообщения, 644046, Российская Федерация, г. Омск, пр. Маркса, 35,

кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0001-7326-9674, e-mail: elizarovda@ gmail.com

Мурзалова Елена Евгеньевна, ЗАО «Центр финансовых технологий», 644070, Российская Федерация, г. Омск, ул. Лермонтова, 55,

инженер-аналитик информационной безопасности, ORCID: 0009-0005-1092-4295

Операционные системы используются повсеместно и работают с большим количеством конфиденциальной информации, что делает их привлекательной целью для злоумышленников. Уязвимости операционных систем являются одной из самых серьёзных проблем в области кибербезопасности. В статье проанализированы уязвимости, которые актуальны для операционной системы Astra Linux Special Edition. Работа посвящена исследованию уязвимости BDU:2022-00488, которая заключается в получении root привилегий обычным пользователем. В ходе эксплуатации уязвимости непривилегированному пользователю удалось получить root-права и тем самым получить доступ к защищённым файлам на рабочей станции. В заключении работы были даны рекомендации по защите информационной системы от рассмотренной уязвимости. Предложенные меры направлены на предупреждение атаки, а также на её обнаружение и устранение.

Ключевые слова: уязвимости, Astra Linux, эксплуатация уязвимости, информационная безопасность, векторы атаки, эксплойт, БДУ

EXPLOITING A VULNERABILITY THE ASTRA LINUX OPERATING SYSTEM

Stepanova Elizaveta A., Omsk State Transport University, 35 Marksa pr., Omsk, 644046, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID: 0000-0001-7712-3242

Elizarov Dmitry A., Omsk State Transport University, 35 Marksa pr., Omsk, 644046, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID: 0000-0001-7326-9674, e-mail: elizarovda

@gmail.com

Murzaeva Elena E., “Center of Financial Technologies” JSC, 55 Lermontov St., Omsk, 644070, Russian Federation,

information security analyst engineer, ORCID: 0009-0005-1092-4295

Operating systems are used everywhere and work with a lot of confidential information, which makes them an attractive target for intruders. Operating system vulnerabilities are one of the most serious problems in the field of cybersecurity. The article analyzes vulnerabilities that are relevant for the Astra Linux Special Edition operating system. The work is devoted to the study of the vulnerability BDU:2022-00488, which consists in obtaining root privileges by an ordinary user. During the exploitation of the vulnerability, an unprivileged user managed to get root rights and thereby gain access to protected files on the workstation. At the end of the work, recommendations were given on how to protect the information system from the vulnerability under consideration. The proposed measures are aimed at preventing the attack, as well as at detecting and eliminating it.

Keywords: vulnerabilities, Astra Linux, vulnerability exploitation, information security, attack vectors, exploit, BDU

ВВЕДЕНИЕ

Уязвимости операционных систем являются одной из самых серьёзных проблем в области кибербезопасности. Операционные системы используются повсеместно и работают с большим количеством конфиденциальной информации, что делает их привлекательной целью для злоумышленников. Уязвимости могут привести к краже данных, установке вредоносного программного обеспечения, удалённому доступу к системе и другим последствиям.

Согласно данным «РТК-Солар», в 2023 г. произошло двукратное увеличение и эксплуатация уязвимостей в программном обеспечении (с 6 до 11 %), а в 2024 доля атак достигла 17 % [1]. Это связано

с переходом бизнеса на отечественное программное обеспечение, часть решений которого разрабатывалась и внедрялась в ускоренном режиме, что дало злоумышленникам широкое поле для выявления и использования уязвимостей в безопасности. Также стоит отметить, что, согласно данным экспертного центра безопасности Positive Technologies, в числе самых распространённых причин успешных атак – использование устаревших версий операционных систем и программного обеспечения [2].

30 марта 2022 г. Президент подписал указ № 166 о мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры. На сегодняшний день в числе основных альтернатив выделяют четыре российские разработки, из них доминирующая – Astra Linux [4]. Однако, как и у любой операционной системы, у Astra Linux есть уязвимости, некоторые из которых являются критическими. Согласно данным ФСТЭК России, Astra Linux Special Edition имеет большое количество уязвимостей. Из них больше одной трети имеют эксплойты в открытом доступе, а это значит, что их может эксплуатировать любой желающий при достаточном уровне подготовки.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ УЯЗВИМОСТИ

Работа посвящена исследованию уязвимости BDU:2022-00488 (CVE-2021-4034) операционной системы Debian GNU/Linux, так как именно эта система была взята за основу при создании Astra Linux [5]. В описании уязвимости в банке данных угроз содержится информация о наличии эксплоита уязвимости в открытом доступе. Уязвимость возникает из-за ошибки в коде pкехес. Pкехес – это SUID root-программа, предоставляющая интерфейс к Polkit и позволяющая исполнять команды от имени другого пользователя или администратора. Так как у pкехес установлен SUID-бит от root, код выполняется от учётной записи root.

Для эксплуатации уязвимости использовалась рабочая станция под управление операционной системы Debian с двумя учетными записями: учетная запись с правами администратора и учетная запись обычного пользователя (для выполнения набора стандартных действий рядового сотрудника). Эксплуатация уязвимости происходила с учётной записи обычного пользователя. Перед эксплуатацией уязвимости с помощью команды id была получена информация системного идентификатора указанного пользователя (рис. 1).

При помощи инструмента Linux Exploit Suggester была предварительно просканирована рабочая станция на наличие рассматриваемой уязвимости [6]. Инструмент предназначен для помощи в обнаружении недостатков безопасности для ядра Linux или машины на базе Linux. В консоли отображается информация о найденных уязвимостях, такая как ссылки на детальное описание или эксплойты, а также названия и версии операционных систем, которые содержат данные уязвимости. В ходе сканирования было подтверждено наличие уязвимости CVE-2021-4034 (рис. 2).

```

user@debian10: ~
File Edit View Search Terminal Help
user@debian10:~$ id
uid=1001(user) gid=1001(user) groups=1001(user)
user@debian10:~$ █
    
```

Рисунок 1 – Отображение системного идентификатора учетной записи обычного пользователя

```

user@debian10: ~
File Edit View Search Terminal Help
user@debian10:~$ bash les.sh

Available information:
Kernel version: 4.19.0
Architecture: x86_64
Distribution: debian
Distribution version: 10
Additional checks (CONFIG *, sysctl entries, custom Bash commands): performed
Package listing: from current OS

Searching among:
81 kernel space exploits
49 user space exploits

Possible Exploits:
[+] [CVE-2021-4034] PwnKit
Details: https://www.qualys.com/2022/01/25/cve-2021-4034/pwnkit.txt
Exposure: probable
Tags: ubuntu=10|11|12|13|14|15|16|17|18|19|20|21, [ debian=7|8|9|10|11 ], fedora, manjaro
Download URL: https://code.load.github.com/berdav/CVE-2021-4034/zip/main
    
```

Рисунок 2 – Отображение списка уязвимостей

Эксплуатация уязвимости заключается в получении повышенных привилегий, а именно позволяет нарушителю с учётной записи обычного пользователя повысить свои привилегии до уровня суперпользователя [7, 8]. Для эксплуатации уязвимости был запущен эксплойт [9] на рабочей станции под учётной записью обычного пользователя. После чего обыкновенный пользователь получил права суперпользователя (рис. 3). Программа rkhcx неправильно проверяет количество переданных ей аргументов. Эта проблема в конечном итоге приводит к попыткам выполнить переменные среды как команды, что, в свою очередь, приводит к тому, что rkhcx выполняет произвольный код от имени учётной записи root, предоставляя злоумышленнику локальное повышение привилегий.

```
user@debian10:~/change-usermod$ python3 exploit.py
[+] Creating shared library for exploit code.
[+] Calling execve()
# id
uid=0(root) gid=1001(user) groups=1001(user)
#
```

Рисунок 3 – Эксплуатация уязвимости. Повышение уровня доступа

Далее можно проэксплуатировать уязвимость на машине с операционной системой Astra Linux. Имея доступ от имени суперпользователя, есть возможность узнать критическую информацию, например историю команд, ssh ключи, хэши паролей и др. Из рисунка 4 видно, что имеется файл .bash_history и каталог .ssh. Это означает, что есть возможность получить конфиденциальную информацию, которая в них содержится.

После завершения сессии под суперпользователем пользователь с обычной учётной записью user может подключиться к серверу, не зная его пароля, так как у него имеются ssh-ключи, которые он скомпрометировал, получив повышенный уровень доступа. Также ранее был получен IP-адрес и имя сервера, с помощью просмотра истории выполнения команд администратора. После успешного подключения к серверу необходимо на нём закрепить с возможностью удалённо им управлять. Один из возможных способов закрепления – это подключение к удалённому серверу. Как видно из рисунка 5, на удалённом сервере теперь есть возможность выполнять все команды на скомпрометированном сервере. Например, при просмотре файлов и каталогов будут отображены те же каталоги, что и на сервере.

```
root@astra:/home/astra-admin# ls -la
total 112
drwxr-xr-x  5 root      root      4096 Dec  7 18:46 .
-rw-r----- 1 astra-admin astra-admin  0 Dec  7 18:46 .xauthority
-rw-r----- 1 astra-admin astra-admin 1447 Dec  7 18:46 .bash_history
-rw-r----- 1 astra-admin astra-admin  220 Dec  6 21:36 .bash_logout
-rw-r----- 1 astra-admin astra-admin 3526 Dec  6 21:36 .bashrc
drwxr-xr-x  5 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 22:34 .cache
drwxr-xr-x  8 astra-admin astra-admin 4096 Dec  7 18:46 .config
drwxr-xr-x  3 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 21:39 .dbus
-rw-r----- 1 astra-admin astra-admin  139 Dec  6 21:39 .directory
-rw-r----- 1 astra-admin astra-admin   22 Dec  6 21:39 .dmrc
drwxr-xr-x  6 astra-admin astra-admin 4096 Dec  7 18:25 .fly
drwxr-xr-x  3 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 21:39 .gnupg
drwxr-xr-x  3 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 21:39 .local
drwxr-xr-x  5 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 22:34 .mozilla
-rw-r----- 1 astra-admin astra-admin  887 Dec  6 21:36 .profile
drwxr-xr-x  2 astra-admin astra-admin 4096 Dec  7 18:45 .ssh
-rw-r----- 1 astra-admin astra-admin 13396 Dec  7 18:46 .xsession-errors
-rw-r----- 1 astra-admin astra-admin   0 Dec  6 21:54 .xsession-errors-12
-rw-r----- 1 astra-admin astra-admin   0 Dec  7 18:25 .xsession-errors.old
lrwxrwxrwx  1 astra-admin astra-admin   17 Dec  7 18:25 Desktop -> Desktops/Desktop1
drwxr-xr-x  6 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 21:39 Desktops
drwxr-xr-x  2 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 21:39 '$'\320\222\320\270\320\264\320\265\320\276'
drwxr-xr-x  2 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 21:39 '$'\320\224\320\276\320\272\321\203\320\274\320\265\320\275\32
1\202\321\213'
drwxr-xr-x  2 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 21:39 '$'\320\227\320\260\320\263\321\200\321\203\320\267\320\272\32
0\270'
drwxr-xr-x  3 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 21:39 '$'\320\230\320\267\320\276\320\261\321\200\320\260\320\266\32
0\265\320\275\320\270\321\217'
drwxr-xr-x  2 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 21:39 '$'\320\234\321\203\320\267\321\213\320\272\320\260'
drwxr-xr-x  2 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 21:39 '$'\320\236\320\261\321\211\320\265\320\264\320\276\321\201\32
1\202\321\203\320\277\320\275\321\213\320\265'
drwxr-xr-x  2 astra-admin astra-admin 4096 Dec  6 21:39 '$'\320\250\320\260\320\261\320\273\320\276\320\275\321\213'
root@astra:/home/astra-admin#
```

Рисунок 4 – Просмотр файлов и каталогов учетной записи администратора

```
root@rlkvgylvfv:~# nc -nlvp 4444
Listening on 0.0.0.0 4444
Connection received on 95.189.201.87 57135
ls
copy_files
update_OS
pwd
/home/ubuntu
```

Рисунок 5 – Подключение на удалённом сервере злоумышленника

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПО ЗАЩИТЕ СИСТЕМЫ

В ходе проведённой атаки был скомпрометирован сервер, что может привести к серьёзным последствиям для организации. Например, злоумышленник может вызвать отказ работы системы или получить критически важную информацию (персональные данные пользователей, конфиденциальные данные об организации и т. д.).

Для предотвращения этих действий необходимо выполнять настройку мер по защите информационной системы [10]. Данные меры будут направлены на предупреждение атаки, а также на её обнаружение и устранение.

В первую очередь для предупреждения эксплуатации уязвимости необходимо поддерживать операционную систему в актуальном состоянии. Также можно ограничить для рядового пользователя использование нежелательных веб-ресурсов, так как свободное посещение веб-сайтов может привести к атакам, которые были приведены выше. При создании ssh-ключа обязательно нужно прописывать кодовое слово, которое поможет защититься от действий злоумышленника и использовать для хранения папку не по умолчанию. Также для контроля действия пользователя необходимо просматривать журналы событий на наличие несвойственных для организации действий пользователя. Например, при просмотре журнала аудита на рисунке 6 видно, что процесс запущен с уровнями доступа root с рабочей станции пользователя, что не свойственно для этой учётной записи, а значит, на это необходимо немедленно отреагировать.

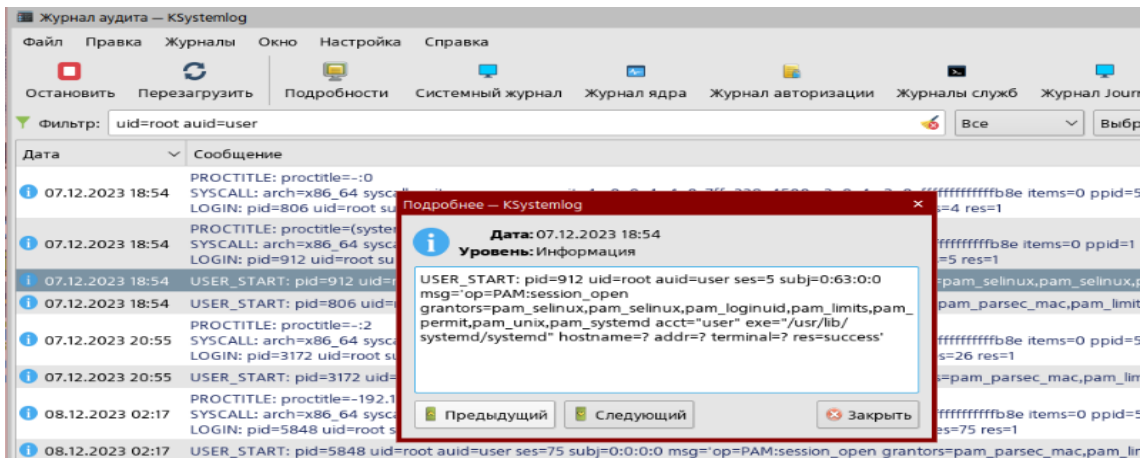


Рисунок 6 – Просмотр журнала аудита (подозрительное действия пользователя)

При просмотре журнала авторизации было установлено, что для учётной записи user была открыта и закрыта сессия с uid = 0, что соответствует идентификатору root-пользователя. При просмотре журнала служб (рис. 7) отображена информация, что были успешно получены root-привилегии, что также является подозрительным событием, которое требует немедленного реагирования.

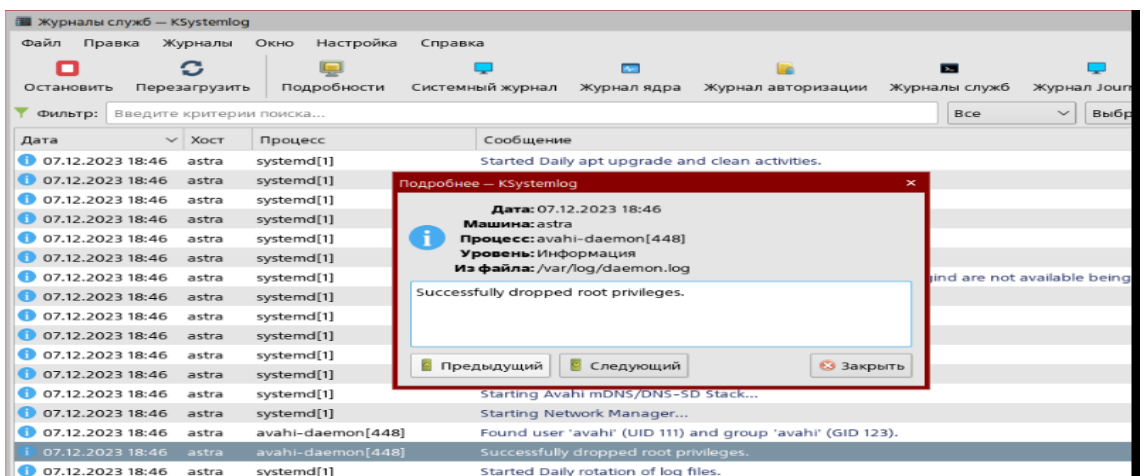


Рисунок 7 – Просмотр журнала служб (отображение ssh-соединения)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении можно сделать вывод, что отслеживание логов всех событий и просмотр событий безопасности необходимо выполнять на регулярной основе. При отслеживании критичных процессов необходимо настроить уведомления для администраторов безопасности, при их возникновении, например, уведомлять о таких инцидентах, как повышение привилегий или изменение прав доступа.

Рассмотренная уязвимость BDU:2022-00488 является достаточно серьёзной и может привести к критическим последствиям для организации. Именно поэтому важно следить за уровнем защищённости рабочих станций пользователей, а также использовать операционные системы, которые поддерживаются производителем и имеют регулярные обновления.

Список источников

1. ГК «Солар»: с начала года число высококритичных атак уже выросло более чем в три раза. – URL: <https://rt-solar.ru/events/news/4092/>.
2. Вести с полей киберинцидентов: команда расследователей делится итогами проектов 2023–2024. – URL: <https://habr.com/ru/companies/pt/articles/856898/>.
3. УКАЗ Президента РФ от 30.03.2022 № 166 «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры российской федерации». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203300001?index=1>.
4. Официальный сайт Группы Астра. – URL: <https://astralinux.ru/software-services/>.
5. Банк данных уязвимостей ФСТЭК. – URL: <https://bdu.fstec.ru/vul>.
6. GitHub – The-Z-Labs/linux-exploit-suggester: Linux privilege escalation auditing tool. – URL: <https://github.com/The-Z-Labs/linux-exploit-suggester>.
7. Начальные векторы атаки. – URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/most-common-initial-attack-vectors/31677/>.
8. MITRE ATT&CK Эксплуатация уязвимостей (повышение привилегий). – URL: <https://attack.mitre.org/techniques/T1068/>.
9. Код эксплойта уязвимости CVE-2021-4034. – URL: <https://github.com/joemmond/CVE-2021-4034>.
10. Усиление защиты серверов Linux от угроз и атак. – URL: <https://habr.com/ru/companies/cloud4y/articles/856980/>.

References

1. *Solar Group: since the beginning of the year, the number of highly critical attacks has more than tripled.* Available at: <https://rt-solar.ru/events/news/4092/>.
2. *News from the fields of cyber incidents: the investigative team shares the results of projects 2023–2024.* Available at: <https://habr.com/ru/companies/pt/articles/856898/>.
3. *DECREE of the President of the Russian Federation dated 30.03.2022 No. 166 "On measures to ensure the technological independence and security of the critical information infrastructure of the Russian Federation".* Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203300001?index=1>.
4. *Official website of the Astra Group.* Available at: <https://astralinux.ru/software-services/>.
5. *The FSTEC Vulnerability Database.* Available at: <https://bdu.fstec.ru/vul>.
6. *GitHub – The-Z-Labs/linux-exploit-suggester: Linux privilege escalation auditing tool.* Available at: <https://github.com/The-Z-Labs/linux-exploit-suggester>.
7. *Initial attack vectors.* Available at: <https://www.kaspersky.ru/blog/most-common-initial-attack-vectors/31677/>.
8. *MITRE ATT&CK Exploiting vulnerabilities (privilege escalation).* Available at: <https://attack.mitre.org/techniques/T1068/>.
9. *Vulnerability exploit code CVE-2021-4034.* Available at: <https://github.com/joemmond/CVE-2021-4034>.
10. *Strengthening the protection of Linux servers from threats and attacks.* Available at: <https://habr.com/ru/companies/cloud4y/articles/856980/>.

Статья поступила в редакцию 25.12.2024; одобрена после рецензирования 12.01.2025; принята к публикации 17.01.2025.

The article was submitted 25.12.2024; approved after reviewing 12.01.2025; accepted for publication 17.01.2025.

УДК 004.001

**МЕТОД ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧЕК ПО ОПТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ
ПРИ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ С ОГРАНИЧЕННЫМ ДОСТУПОМ**

Карабак Илья Игоревич, Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

аспирант, ORCID: 0000-0002-5894-9273, e-mail: razvitienonedegradacia@gmail.com

Марьенков Александр Николаевич, Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0003-1378-3553, e-mail: marenkovan17@gmail.com

Хайтул Анастасия Всеволодовна, Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

магистрант, ORCID: 0000-0003-2112-8145, e-mail: khaaaytul@icloud.com

Утечка данных представляет серьезную угрозу для многих предприятий, происходя как со стороны третьих лиц, так и из-за неосторожности сотрудников. Наблюдается устойчивый рост количества утечек информации в мире. Выделяются четыре основные группы каналов утечки: визуально-оптические, акустические, электромагнитные и материально-вещественные. Целью данной работы стало описание структуры программного обеспечения для противодействия утечкам информации по визуально-оптическому каналу, а также анализ подходов для подбора методов и средств решения этой задачи. Предложена архитектура ПО, основанная на использовании систем компьютерного зрения. Проведён анализ различных архитектур нейронных сетей, в том числе рекуррентных, сверточных и YOLO-моделей. Выполнено тестирование нескольких версий YOLO-моделей, показавшее перспективность использования данного подхода для решения поставленной задачи. Результаты исследования могут быть использованы при разработке систем защиты информации от утечек по визуально-оптическому каналу.

Ключевые слова: утечка данных, визуально-оптический канал, нейронные сети, распознавание лиц, компьютерное зрение

**A METHOD OF PROTECTING INFORMATION FROM LEAKS THROUGH AN OPTICAL
CHANNEL WHEN PROCESSING INFORMATION WITH LIMITED ACCESS**

Karabak Ilya I., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

graduate student, ORCID: 0000-0002-5894-9273, e-mail: razvitienonedegradacia@gmail.com

Marienkov Alexander N., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, ORCID: 0000-0003-1378-3553, e-mail: marenkovan17@gmail.com

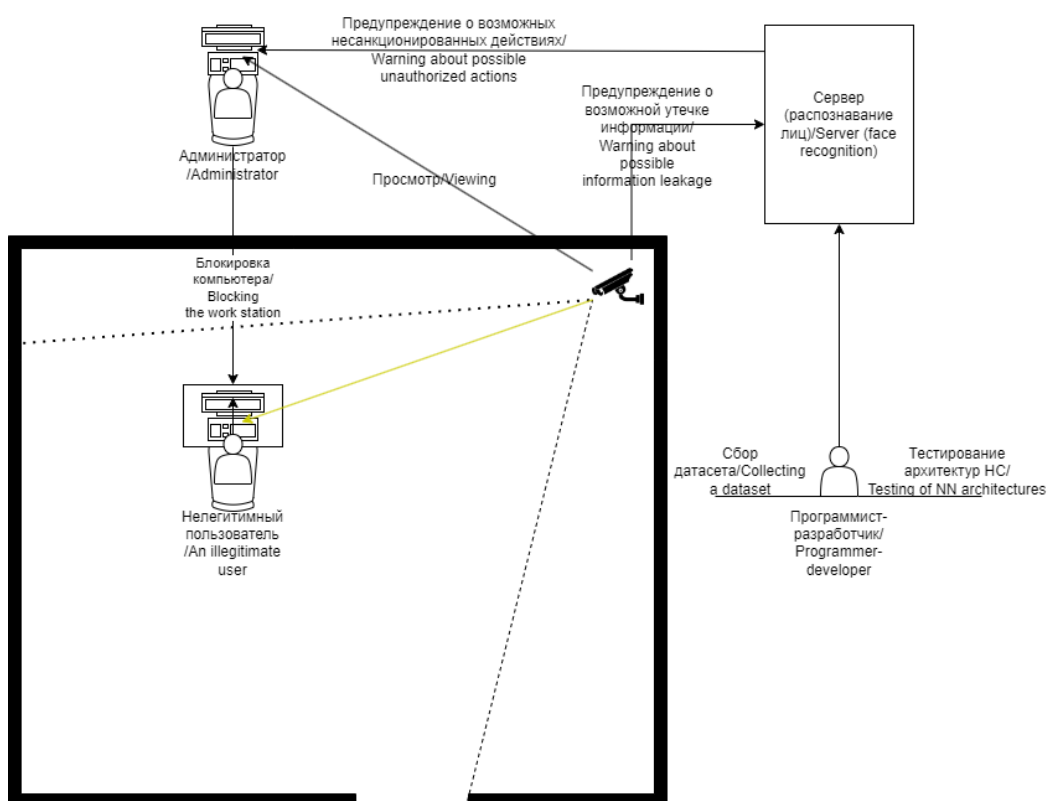
Khaytul Anastasia V., Astrakhan Tatishchev State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

master's student, ORCID: 0000-0003-2112-8145, e-mail: khaaaytul@icloud.com

Data leakage poses a serious threat to many enterprises, both from third parties and due to the negligence of employees. There is a steady increase in the number of information leaks in the world. There are four main groups of leakage channels: visual-optical, acoustic, electromagnetic and material. The purpose of this work was to describe the structure of software for countering information leaks through the visual-optical channel, as well as to analyze approaches for selecting methods and means to solve this problem. A software architecture based on the use of computer vision systems is proposed. The analysis of various neural network architectures, including recurrent, convolutional and YOLO models, is carried out. Several versions of YOLO models were tested on a test dataset, which showed the prospects of using this approach to solve the task. The results of the study can be used in the development of information protection systems against leaks through the visual-optical channel.

Keywords: data leakage, visual-optical channel, neural networks, face recognition, computer vision

Graphical annotation (Графическая аннотация)



ВВЕДЕНИЕ

Утечка данных представляет собой серьезную угрозу для множества предприятий. Она может случиться как со стороны третьих лиц, так и из-за неосторожности сотрудников предприятия. В мировом масштабе продолжается рост количества утечек (рис. 1).



Рисунок 1 – Рост количества утечек за период 2013-2023 года по данным организации Infowatch [1]

При утечке информации по визуально-оптическому каналу нет необходимости в физическом контакте с носителем информации, так как утечка информации может произойти посредством подглядывания, либо фотографирования. При обработке информации с ограниченным доступом легитимный пользователь не всегда может своевременно среагировать и предотвратить утечку информации.

Минимальные рекомендации по защите информации от утечек по визуально-оптическому каналу могут содержать следующие меры:

- использование маскировки объектов и носителей информации, например, управление контрастом фона, на котором отображаются защищаемые данные, применение аэрозольных завес.
- оборудование помещения с ограниченным доступом средствами для уменьшения отражения света – тонировка стеклопакетов, шторы, роллеты или ставни;

– ограничение доступа сотрудников посредством разработки политик безопасности.

Более технологичные решения включают в себя программные продукты с применением распознавания лиц. Так, в работе Аиша Эбрахема Базама «Security System by Face Recognition» [2] предлагается система безопасности для экзаменационного офиса Университета Омара Аль-Мухтара на основе распознавания лиц. Система использует метод Виолы – Джонса для обнаружения лиц и методы главных и независимых компонент для распознавания лиц. Был собран датасет, состоящий из лиц сотрудников экзаменационного офиса. Всего в датасете 100 изображений, 70 из них выделено для обучения и 30 для тестирования. Метод независимых компонент показал точность распознавания 86,7 % на тестовом датасете, превзойдя метод главных компонент с точностью 76,7 %. В целом система смогла достичь поставленной цели идентификации для контроля доступа, при этом точность распознавания лиц является недостаточной для данной задачи и может быть улучшена. В работе Расмиканта Пати «Face recognition using particle swarm optimization based block ICA» [3] предлагается система для распознавания и обнаружения лиц в реальном времени с использованием OpenCV – открытой библиотеки компьютерного зрения. В системе используются функции OpenCV для получения изображений с веб-камеры, обнаружения лиц на изображениях, извлечения признаков и распознавания лиц путём сравнения с базой данных хранимых изображений. Система была протестирована как на статичных изображениях, так и на видеопотоке с веб-камеры. Для обнаружения лиц используются каскадные классификаторы Хаара, методы Eigenfaces, Fisherfaces и локальные бинарные шаблоны используются для распознавания лиц. Несмотря на точность распознавания, варьирующуюся от 70 до 90 процентов, система не учитывает обнаружение лиц под разными углами, а также проблему сходства лиц и изменение освещения/позы, так как в датасете были использованы только лица в позе анфас. Таким образом, задача эффективной защиты информации от утечек по визуально-оптическому каналу является нерешенной.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исходя из этого, целью данной работы стало описание структуры ПО, с помощью которого можно осуществлять противодействие утечкам информации по визуально-оптическому каналу, а также анализ подходов для подбора методов и средств решения данной задачи. На рисунке 2 представлена общая схема взаимодействия компонентов разрабатываемого ПО для ситуации, когда легитимный пользователь пытается ознакомиться с информацией, доступ к которой ему ограничен.

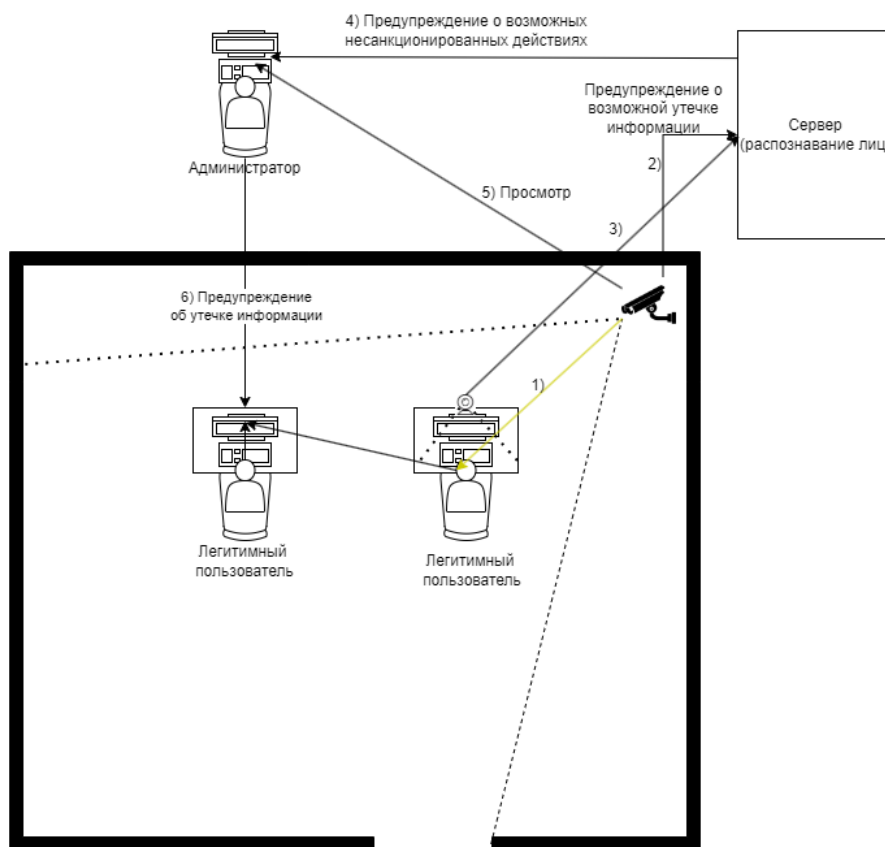


Рисунок 2 – Пользователь пытается ознакомиться с информацией, доступ к которой ему ограничен

На схеме отображены основные этапы работы:

1. Камера с широким углом обзора засекает необычное поведение оператора.
2. Информация о необычном поведении передаётся на сервер.
3. Сервер запрашивает дополнительный видеопоток с веб-камеры, установленной на экране монитора.
4. Сервер высылает предупреждение администратору системы о возможных несанкционированных действиях оператора.
5. Администратор просматривает видеопоток с камеры.
6. Администратор на основании полученных данных принимает решение о предупреждении легитимного пользователя об утечке информации с ограниченным доступом.

На рисунке 3 представлена общая схема взаимодействия компонентов разрабатываемого ПО для ситуации, когда посторонний человек пытается ознакомиться с информацией, доступ к которой ему ограничен.

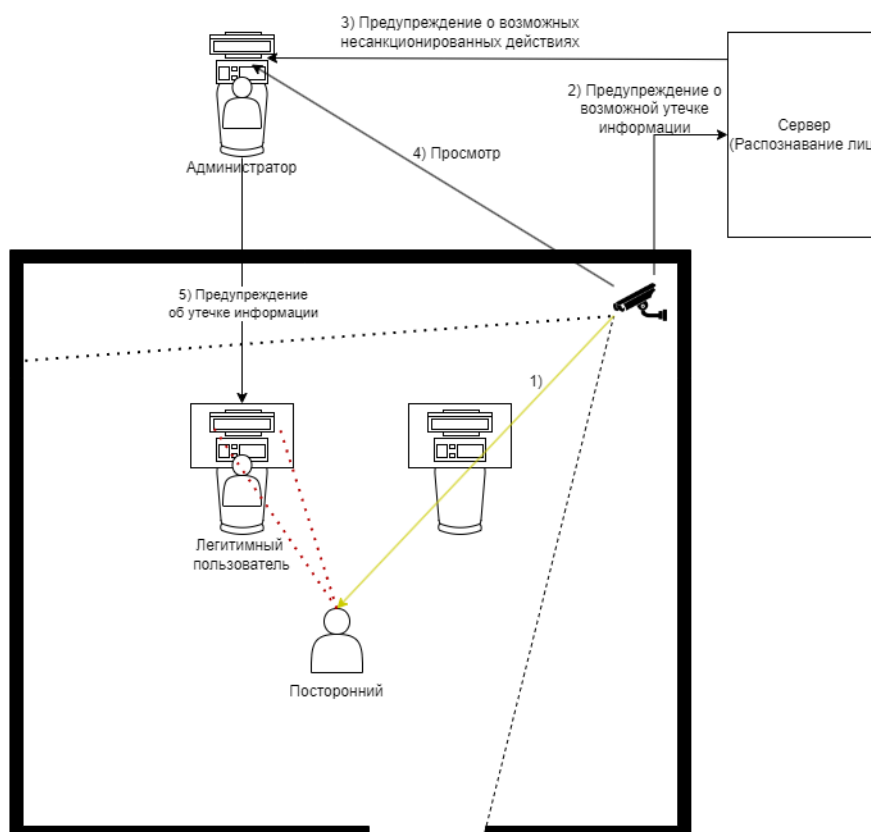


Рисунок 3 – Посторонний человек пытается ознакомиться с информацией, доступ к которой ему ограничен

На схеме отображены основные этапы работы:

1. Камера с широким углом обзора засекает необычное поведение постороннего человека.
2. Информация о необычном поведении передаётся на сервер.
3. Сервер высылает предупреждение администратору системы о возможных несанкционированных действиях постороннего.
4. Администратор просматривает видеопоток с камеры.
5. Администратор на основании полученных данных принимает решение о предупреждении легитимного пользователя об утечке информации с ограниченным доступом.

На рисунке 4 представлена общая схема взаимодействия компонентов разрабатываемого ПО для ситуации, когда пользователь пытается ознакомиться с информацией ограниченного доступа за чужим компьютером.

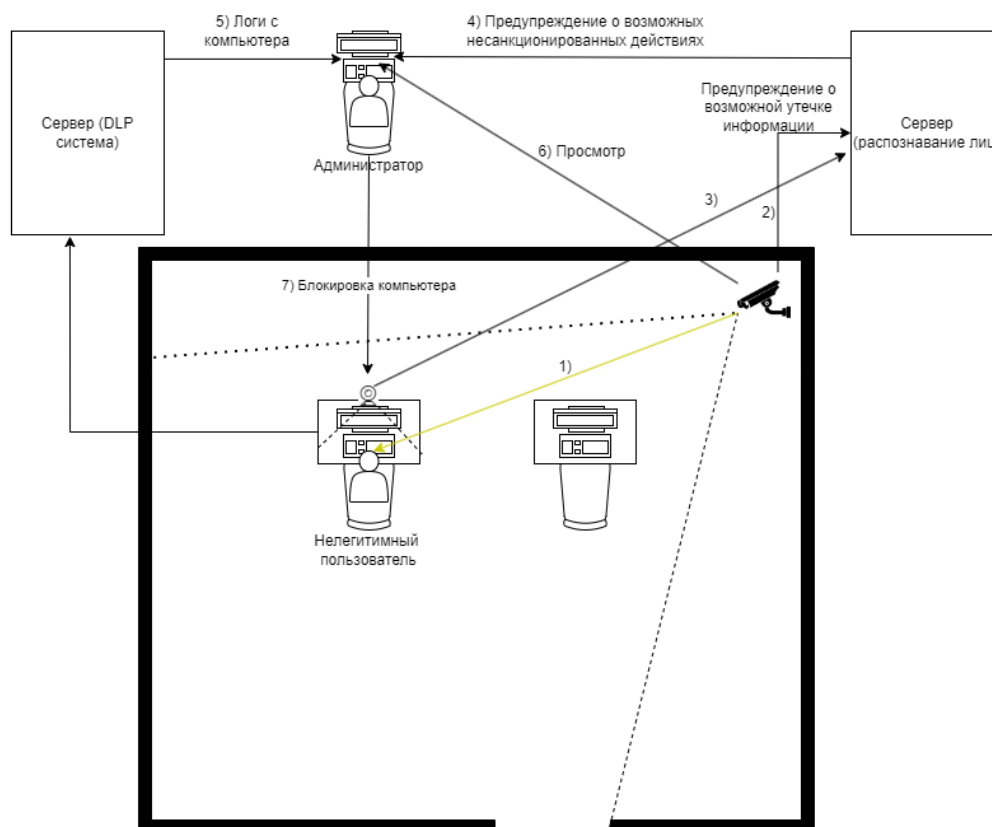


Рисунок 4 – Пользователь пытается ознакомиться с информацией ограниченного доступа за чужим компьютером

На схеме отображены основные этапы работы:

1. Камера с широким углом обзора засекает необычное поведение постороннего пользователя за чужим компьютером.
2. Информация о необычном поведении передаётся на сервер.
3. Сервер запрашивает дополнительный видеопоток с веб-камеры, установленной на экране монитора.
4. Сервер высылает предупреждение администратору системы о возможных несанкционированных действиях пользователя.
5. Администратор дополнительно ознакомливается с логами DLP-системы.
6. Администратор просматривает видеопоток с камеры.
7. Администратор на основании полученных данных принимает решение о блокировке компьютера в целях недопущения утечки информации.

ВЫБОР АРХИТЕКТУРЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Перед тем как создавать систему противодействия утечкам информации по визуально-оптическому каналу, нужно выбрать архитектуру компьютерного зрения. Нейронные сети наиболее подходят для задачи противодействия утечкам информации по визуально-оптическому каналу.

Нейронная сеть представляет собой математическую модель, которая может быть реализована в программном виде, и основана на принципах организации и работы биологических нейронных сетей, сетей нервных клеток живых организмов. Нейронные сети выступают в роли иерархических классификаторов, способных самостоятельно выявлять признаки в исходных данных. Существует множество различных архитектур нейронных сетей (рис. 5).



Рисунок 5 – Архитектуры нейронных сетей

Рекуррентная нейронная сеть (RNN) – это тип нейронных сетей, предназначенных для обработки последовательностей за счёт наличия циклических соединений [4]. RNN часто применяются в задачах обработки естественного языка из-за их эффективности в анализе текста. В отличие от полносвязных и свёрточных сетей, в RNN допускаются циклы, где выход нейрона подключён к его входу или ко входу всех нейронов слоя. RNN изначально были разработаны для обработки последовательных данных, например, текстовых, где важен порядок элементов, что не подходит для задачи компьютерного зрения. Задача компьютерного зрения часто требует инвариантности к различным трансформациям изображений. *Свёрточные нейронные сети (CNN)* более приспособлены к этим задачам за счёт использования свёрток, которые позволяют эффективно обрабатывать такие трансформации.

CNN представляет собой разновидность нейронных сетей для обработки данных с сеточной структурой, например, изображений или видеоряда. CNN устойчивы к небольшим смещениям, изменениям масштаба и поворотам объектов на входных изображениях. Операция, выполняемая нейронами в этом типе сети, называется свёрткой. CNN состоят из чередующихся слоёв свёртки и подвыборки, соединённых между собой. Архитектура свёрточной нейронной сети показана на рисунке 6 [5].

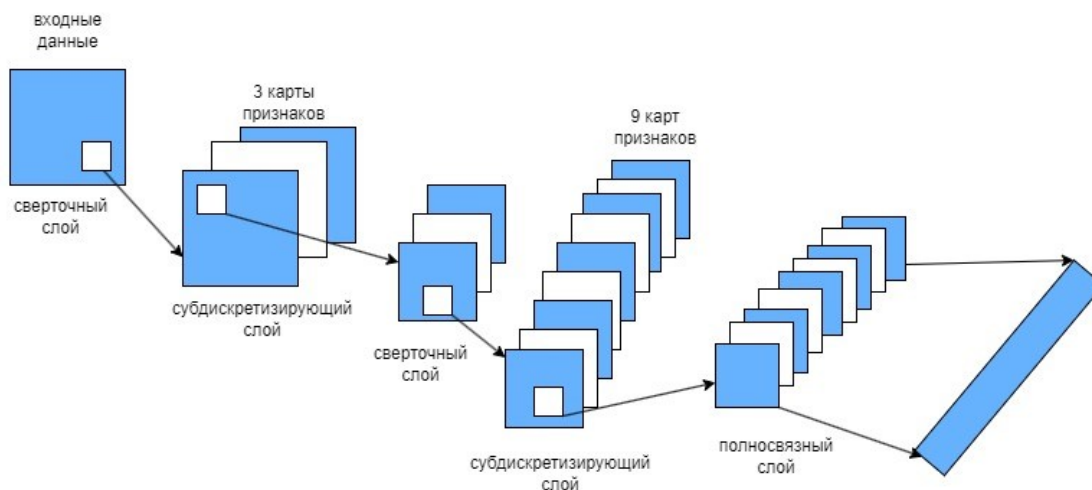


Рисунок 6 – Архитектура свёрточной нейронной сети

YOLO (You Only Look Once) – это современная архитектура свёрточной нейронной сети, разработанная для задачи обнаружения объектов на изображениях и видеоряде [6]. Разработчики YOLO предлагают поддержку широкого спектра моделей, каждая из которых предназначена для решения конкретных задач.

Последняя версия в серии YOLO – YOLOv8. Также доступны экспериментальные модели YOLOv9, YOLOv10, YOLO11.

Для тестирования были выбраны четыре модели: YOLOv8, YOLOv9, YOLOv10, YOLO11. Модели обучались в течение 5 эпох. Выбор количества эпох обусловлен оптимизацией времени обучения, предварительной оценкой результатов и предотвращением переобучения. В качестве набора данных для обучения был использован набор данных «Employee Surveillance – Client Data – 853 Computer Vision Project» [7]. Набор данных состоит из 5 классов – cabin1, cabin2, cabin3, cabin4, employee. Обучающая выборка состоит из 5976 изображений, валидационная выборка состоит из 853 изображений, тестовая выборка состоит из 432 изображений. Пример изображения из набора данных представлен на рисунке 7.

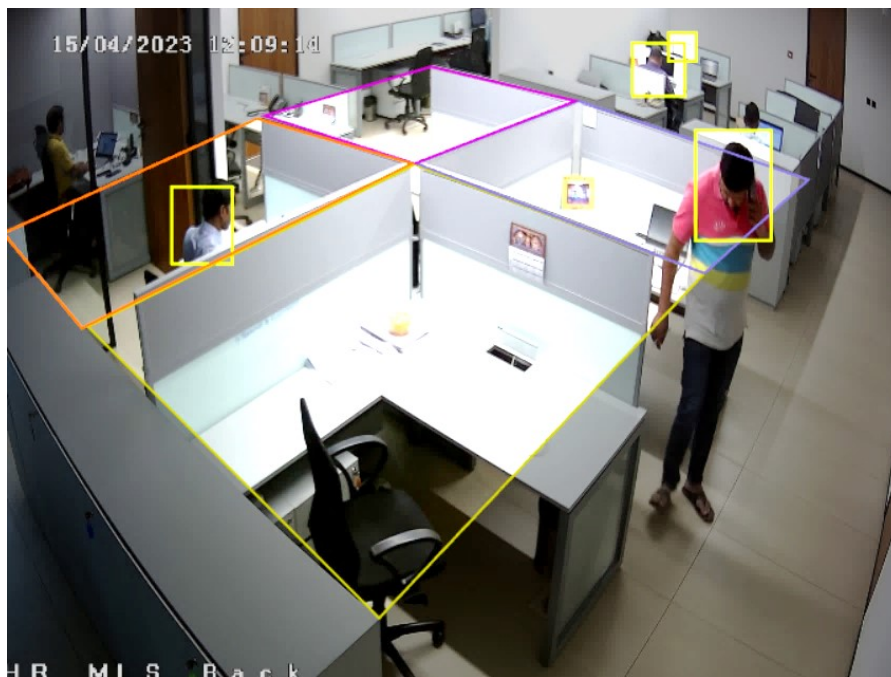


Рисунок 7 – Пример изображения из набора данных

Результаты обучения модели YOLOv8 представлены на рисунке 8.

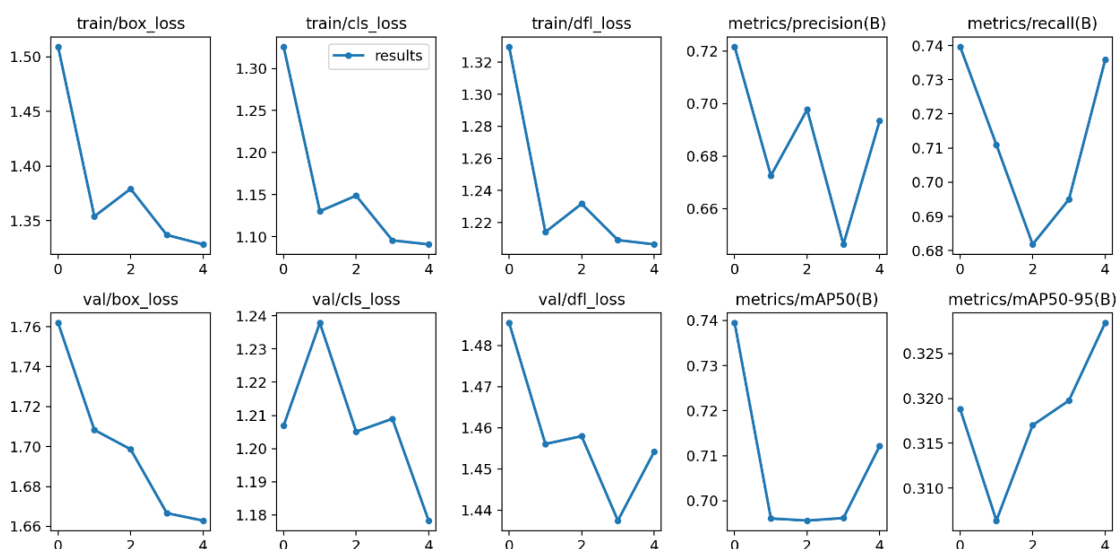


Рисунок 8 – Результаты обучения модели YOLOv8

На рисунке 8 видно, что, несмотря на снижение потерь как на обучающей, так и на валидационной выборке метрики точности metrics/precision(B), метрики metrics/mAP50-95(B) не только не растут, но и снижаются в процессе обучения, за исключением метрики metrics/mAP50-95(B) на валидационной выборке, которая незначительно выросла в процессе обучения.

Результаты обучения модели YOLOv9 представлены на рисунке 9.

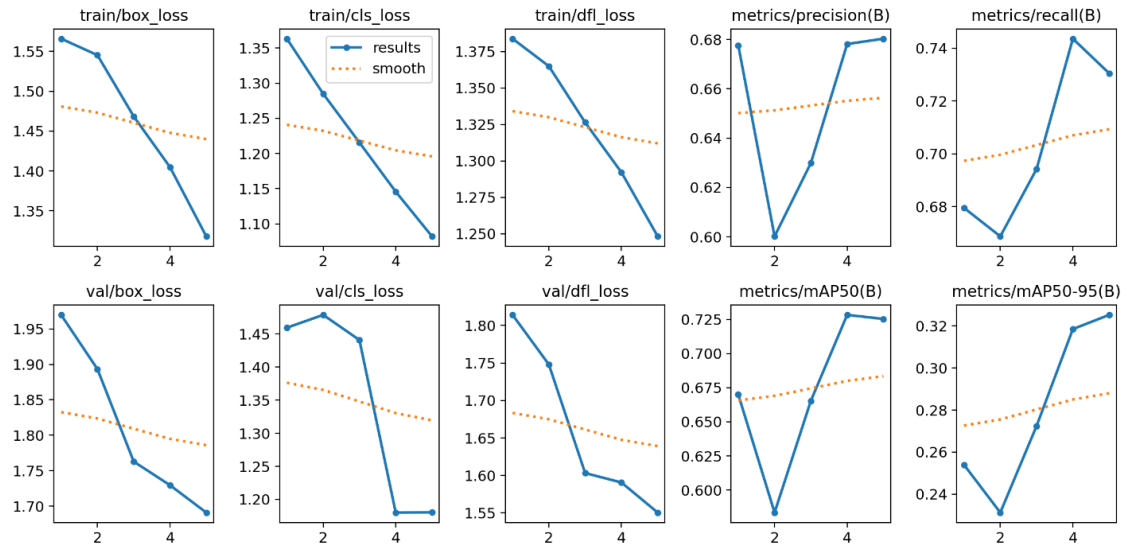


Рисунок 9 – Результаты обучения модели YOLOv9

На рисунке 9 видно, что потери снижаются как на обучающей, так и на валидационной выборке. Метрика точности $metrics/precision(B)$ незначительно улучшается в процессе обучения, при этом остальные метрики растут с ростом числа эпох.

Результаты обучения модели YOLOv10 представлены на рисунке 10.

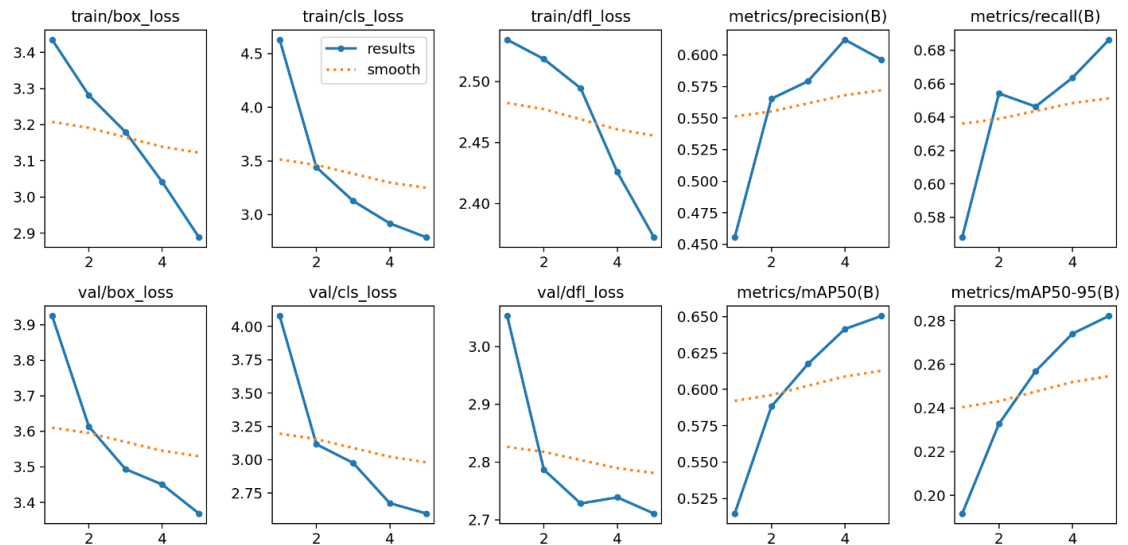


Рисунок 10 – Результаты обучения модели YOLOv10

На рисунке 10 видно, что потери снижаются как на обучающей, так и на валидационной выборке. Метрика точности стабильно растёт.

При этом предыдущая модель YOLOv9 на валидационной выборке демонстрирует лучшие результаты в метриках $metrics/mAP50(B)$ и $metrics/mAP50-95(B)$.

Результаты обучения модели YOLOv11 представлены на рисунке 11.

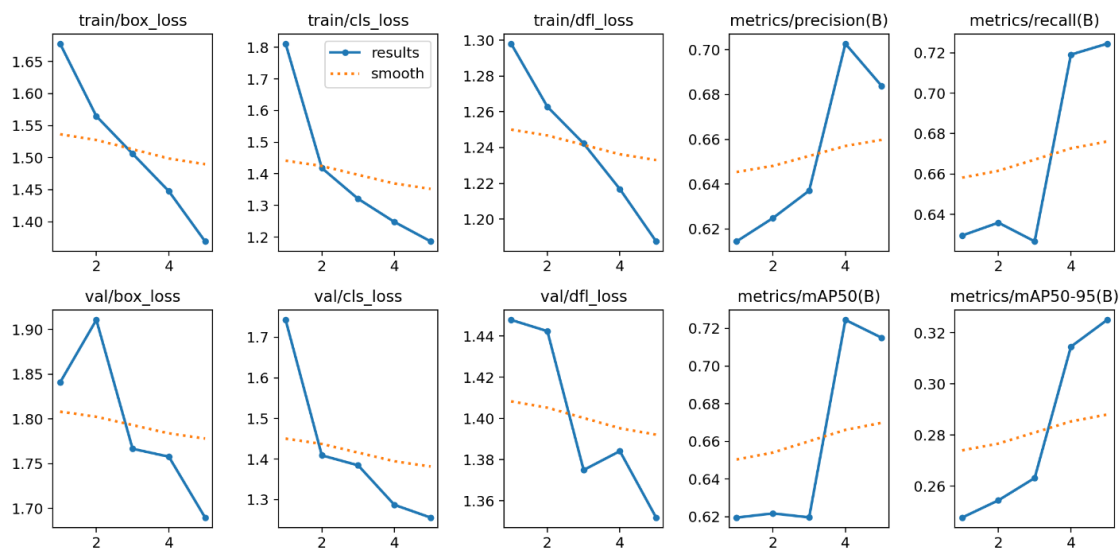


Рисунок 11 – Результаты обучения модели YOLO11

На рисунке 11 видно, что потери стабильно снижаются как на обучающей, так и на валидационной выборке. Это означает, что модель учится все лучше предсказывать координаты, классифицировать объекты и определять их ориентацию. Метрики точности улучшаются с ростом числа эпох, модель становится более точной в предсказаниях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведён анализ существующих решений, основанных на технологиях компьютерного зрения и распознавания лиц. Рассмотрены различные архитектуры нейронных сетей, включая рекуррентные, свёрточные и YOLO-модели. Проведено сравнительное тестирование YOLO-моделей на тестовом наборе данных. Результаты экспериментов показали, что модели YOLOv10, YOLO11 демонстрируют наилучшую производительность в данной задаче. На основе полученных результатов предложена общая структура программного обеспечения, включающая компоненты для обнаружения аномального поведения и интеграции с системами контроля доступа. Разработанный метод может быть применен для защиты информации с ограниченным доступом в различных организациях. Дальнейшие исследования в этом направлении могут быть связаны с оптимизацией архитектуры нейронных сетей, расширением набора данных для обучения, а также интеграцией разработанного решения с другими системами информационной безопасности.

Список источников

1. Исследование утечек информации в мире за 2022–2023 годы. – URL: <https://www.infowatch.ru/sites/default/files/analytics/files/issledovaniye-utechek-informatsii-v-mire-za-2022-2023-gody.pdf> (дата обращения: 16.10.2024).
2. Bazama, Aisha. Security System by Face Recognition / Bazama Aisha, Mansur Fawzia & Alsharif Nura. – 2021. – № 4 (2). – P. 58–67.
3. Pati, Rasmikanta. Face recognition using particle swarm optimization based block ICA / Pati Rasmikanta, Pujari Arun K. & Gahan Padmabati // Multimedia Tools and Applications. – 2021. – № 80. – DOI: 10.1007/s11042-021-10792-5.
4. Созыкин, А. В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей / А. В. Созыкин // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2017. – Т. 6, № 3. – С. 28–59. – DOI: 10.14529/cmse170303.
5. Yann, LeCun. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition / Yann LeCun et al. // Neural computation. – 1989. – № 1.4.
6. Home – Ultralytics YOLO Docs. – URL: <https://docs.ultralytics.com/> (дата обращения: 16.11.2024).
7. Employee Surveillance – Client Data – 853 Dataset > Overview. – URL: <https://universe.roboflow.com/team-lali/employee-surveillance-client-data-853> (дата обращения: 16.11.2024).

References

1. *Extraction of information leaks in the world for 2022–2023*. Available at: <https://www.infowatch.ru/sites/default/files/analytics/files/issledovaniye-utechek-informatsii-v-mire-za-2022-2023> (accessed 16.10.2024) (In Russ.).
2. Balsam, Aisha & Mansour, Fawzia & Al Sharif, Nyura. *Security System by Face Recognition*, 2021, no. 4 (2), pp. 58–67.
3. Pati, Rasmikanta & Pujari, Arun K & Gahan, Padmavati. Face recognition using particle swarm optimization based black ICE. *Multimedia Tools and Applications*, 2021, no. 80. 10.1007/s11042-021-10792-5.

4. Sozykin, A. V. Review of methods for improving deep neural networks. *Bulletin of SUSU Series: Computational Mathematics and Computer Science*, 2017, vol. 6, no. 3, pp. 28–59. DOI: 10.14529/cmse170303 (In Russ.).
5. Jan, Lekun et al. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural computation*, 1989, no. 1.4.
6. *Home – Ultralytics YOLO Docs*. Available at: <https://docs.ultralytics.com/> (accessed 16.11.2024).
7. *Employee Surveillance – Client Data – 853 Dataset > Overview*. Available at: <https://universe.roboflow.com/team-lali/employee-surveillance-client-data-853> (accessed 16.11.2024).

Статья поступила в редакцию 26.11.2024; одобрена после рецензирования 16.01.2025; принята к публикации 22.01.2025.

The article was submitted 26.11.2024; approved after reviewing 16.01.2025; accepted for publication 22.01.2025.

АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ EXIF-МЕТАДАННЫХ

Ярыгин Александр Андреевич, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,

магистрант, ORCID: 0009-0000-3116-9368, e-mail: yarygin.yaa@mail.ru

Макарян Александр Самвелович, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,

кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0002-1801-6137, e-mail: makaryan@kubstu.ru

Путято Михаил Михайлович, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,

доцент, ORCID: 0000-0003-0414-6034, e-mail: michael.putyato@kubstu.ru

Черкасов Александр Николаевич, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,

кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0002-5015-4556, e-mail: cherk@mail.ru

Косогорова Маргарита Евгеньевна, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,

бакалавр, ORCID: 0009-0007-0636-3944, e-mail: m-kosogorova@mail.ru

В целях обеспечения информационной безопасности компании и организации разрабатывают стратегии управления метаданными, обеспечивают их защиту, классификацию и надлежащее хранение, а также их интеграцию в системы мониторинга и реагирования на инциденты. Метаданные – это дополнительная, субканальная информация об используемых данных. Несмотря на то, что EXIF-метаданные могут быть полезны и даже необходимы, они могут создавать уязвимости информационной безопасности, так как в ряде случаев злоумышленники могут использовать метаданные для того, чтобы хранить или распространить вредоносный код. В данной статье рассматриваются потенциальные уязвимости и проблемы безопасности, связанные с EXIF-метаданными, а также предложены мероприятия по контролю этих уязвимостей; проведён анализ возможных сценариев уязвимостей и этапов, на которых могут возникнуть угрозы безопасности. В результате работы было предложено формирование требований к организационным мероприятиям и политикам безопасности, а также представлена практическая реализация архитектуры системы защиты.

Ключевые слова: кибербезопасность, угроза, уязвимость, EXIF-метаданные

ANALYSIS OF SECURITY VULNERABILITIES OF EXIF METADATA

Yarygin A. Alexander, Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

master's student, ORCID: 0009-0000-3116-9368, e-mail: yarygin.yaa@mail.ru

Makaryan S. Alexander, Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor, ORCID: 0000-0002-1801-6137, e-mail: makaryan@kubstu.ru

Putyato M. Michael, Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Assistant Professor, ORCID: 0000-0003-0414-6034, e-mail: michael.putyato@kubstu.ru

Cherkasov N. Alexander, Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor, ORCID: 0000-0002-5015-4556, e-mail: cherk@mail.ru

Kosogorova E. Margarita, Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

bachelor, ORCID: 0009-0007-0636-3944, e-mail: m-kosogorova@mail.ru

In order to ensure information security, companies and organizations develop metadata management strategies, ensure their protection, classification and proper storage, as well as their integration into incident monitoring and response systems. Metadata is additional, subchannel information about the data used. Although EXIF metadata can be useful and even necessary, it can create information security vulnerabilities, as in some cases attackers can use metadata to store or distribute malicious code. This article examines potential vulnerabilities and security issues related to EXIF metadata, as well as suggests measures to control these vulnerabilities; analyzes possible vulnerability scenarios and at what stages security threats may arise. As a result of the work, the formation of requirements for organizational measures and security policies was proposed, as well as the practical implementation of the architecture of the protection system was presented.

Keywords: cybersecurity, threat, vulnerability, EXIF metadata

ВВЕДЕНИЕ

EXIF (Exchangeable Image File Format) – это стандарт, который определяет формат метаданных для изображений, видео- и аудиофайлов. EXIF-метаданные обычно используются в цифровой фотографии и содержат информацию о снимке, такую как модель камеры, дата и время съёмки, выдержка, диафрагма и многое другое.

Несмотря на то, что EXIF-данные полезны и даже необходимы для процедур организации и анализа фотографий, существует несколько потенциальных уязвимостей и проблем безопасности, связанных с этими метаданными:

1. Отслеживание местоположения: если в EXIF-данных содержится GPS-информация, это может привести к утечке данных о местонахождении пользователей.

2. EXIF-метаданные могут использоваться для сбора информации о человеке или организации, например, об используемом оборудовании, времени и месте событий.

3. Манипуляция метаданными: вредоносные программы могут использовать EXIF-метаданные для внедрения вредоносного кода или скрытой информации в файлы изображений.

4. Приватность и анонимность: EXIF-данные могут случайно раскрыть личную информацию, которую пользователь предпочитал бы сохранить в тайне.

Для снижения указанных рисков возможно использование как организационно-технических, так и программно-аппаратных мер. В целом необходимо представлять, какую именно дополнительную информацию могут содержать EXIF-метаданные, и контролировать их распространение для обеспечения безопасности и защиты конфиденциальной информации.

АНАЛИЗ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ, СВЯЗАННЫХ СО СТЕГАНОГРАФИЕЙ

Стеганография – это методы скрытного внедрения или передачи информации внутри другой информации. Под угрозами безопасности информации, связанными со стеганографией, понимается возможность использования этих методов для реализации целого ряда угроз. Далее представлен набор рисков и угроз, связанных со стеганографией:

1. Скрытая передача вредоносных программ. Злоумышленники могут использовать стеганографию для скрытой вставки вредоносного кода в невинно выглядящие файлы. Когда пользователь открывает или загружает такой файл, вредоносный код может быть активирован.

2. Утечка конфиденциальной информации. Стеганографию могут использовать и сотрудники предприятий для извлечения чувствительных или конфиденциальных данных из защищенной среды, минуя системы обнаружения утечки данных (DLP).

3. Трудность обнаружения. Обычные методы безопасности, такие как антивирусное ПО и сетевые фильтры, могут не обнаруживать незаконное использование.

4. Использование в кибершпионаже и кибервойнах. Стеганография может использоваться для скрытой передачи снятой информации или команд.

5. Социальная инженерия. Сложность типовых алгоритмов стеганографии может быть использована в комплексе с методами социальной инженерии для манипулирования.

6. Распространение запрещённого контента. Стеганография может быть использована для скрытого распространения незаконного содержания.

Анализ угроз, связанных со стеганографией, может включать следующие меры:

- обучение персонала;
- разработка и внедрение продвинутых инструментов для анализа и обнаружения стеганографической активности;
- доработка политик безопасности;
- использование механизмов стеганоанализа;
- технические средства;
- юридические меры.

Важно отметить, что стеганография сама по себе является лишь инструментом и может быть использована как для злонамеренных целей, так и для защиты информации в рамках разумных и законных сценариев.

ВИДЫ И ОСОБЕННОСТИ УГРОЗ ВРЕДНОСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В МЕТАДАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

По результатам анализа, среди основных видов угроз, связанных с вредоносным ПО в метаданных изображений, можно выделить следующие:

1. Стеганография – техника, позволяющая скрыто встраивать данные в объекты, изображения. Вредоносные данные могут быть спрятаны в метаданных файлов, а затем извлечены и использованы для нарушений политики безопасности.

2. Распространение эксплоитов – метаданные могут содержать эксплоиты, которые используют уязвимости в приложениях просмотра изображений для выполнения вредоносного кода.

3. Фишинг и социальная инженерия – метаданные могут содержать информацию, которая будет использоваться в качестве части кампании фишинга или социальной инженерии, например, приваивая пользователей к открытию внешне невинных изображений.

Особенности таких угроз включают скрытность, сложность обнаружения, легитимность источника и универсальность потенциального применения злоумышленником.

Проведём анализ типовой угрозы. Пример выявления уязвимости в метаданных изображения представлен на рисунке 1. В открытом каталоге скомпрометированного сайта исследователям удалось обнаружить копию исходных кодов набора для скимминга, что позволило почерпнуть много новой информации и заметить, что обычный файл favicon.ico содержит внедренный скрипт внутри поля Copyright.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОРМАТА EXIF КАК ИСТОЧНИКА УГРОЗ

Риски, возникшие в связи с применением метаданных, можно поделить на две основные группы: внедрение кода и раскрытие чувствительной информации.

Наиболее очевидная уязвимость, связанная с EXIF, заключается в разглашении личной информации. Данные EXIF из фотографий могут содержать много личных данных, таких как местонахождение и информация о камере. Это может привести к утечке личных данных, как говорилось выше.

Возможные манипуляции с метаданными: метаданные EXIF могут быть изменены или подделаны для создания ложного представления об условиях съёмки или идентичности производителя камеры, что может быть использовано в мошеннических целях.

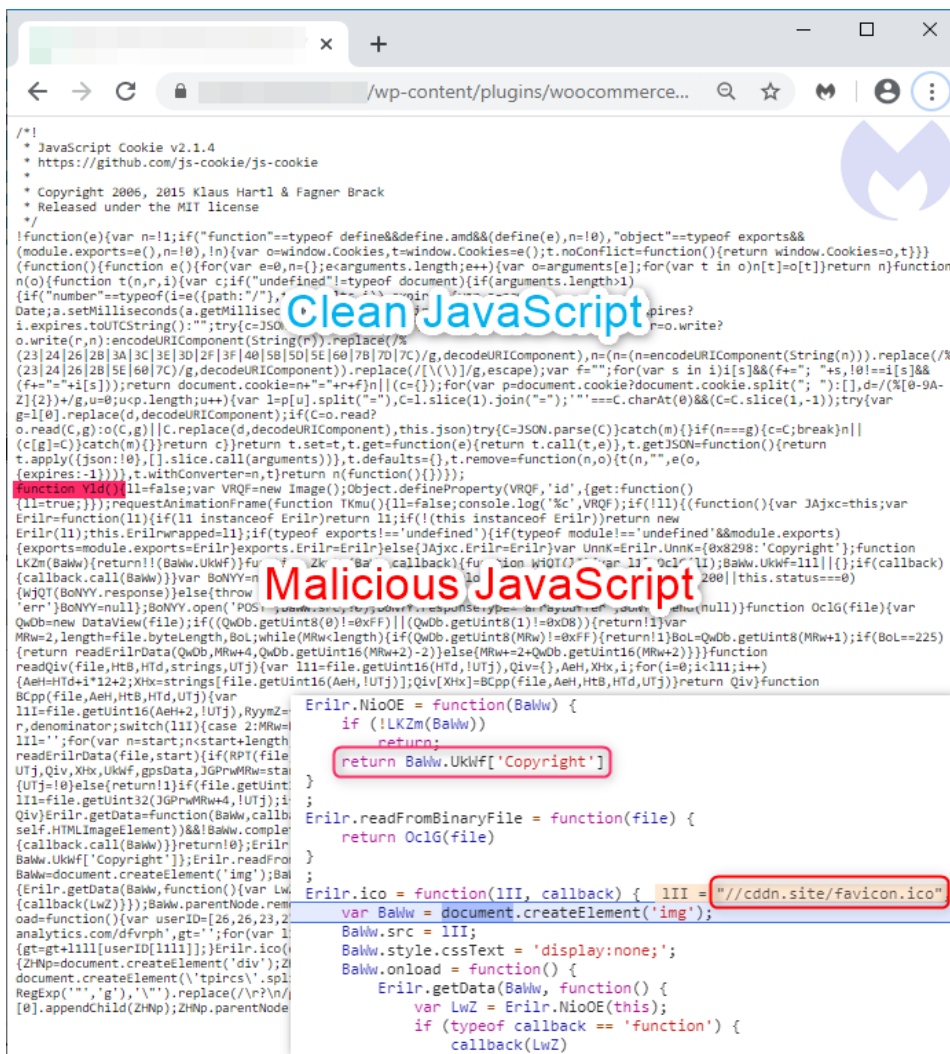


Рисунок 1 – Пример выявления уязвимости в метаданных изображения

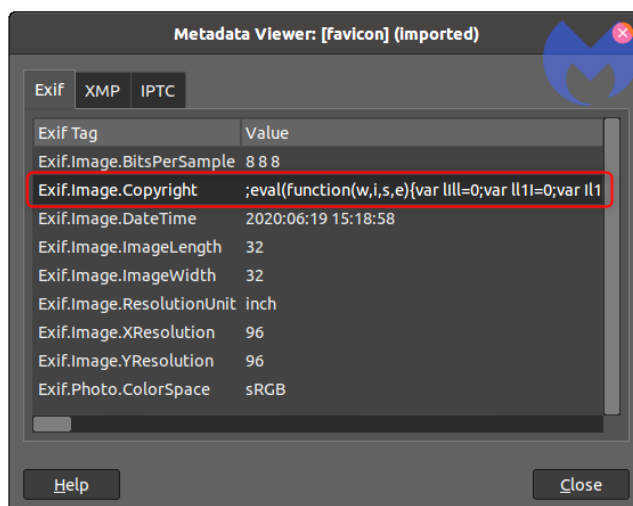


Рисунок 2 – Анализ сведений, содержащихся в EXIF-метаданных

Сценарии угроз, связанных с отказом в обслуживании (DoS), – когда обработка файлов с изменёнными или повреждёнными EXIF-данными может привести к сбою или перегрузке программного обеспечения, что может быть использовано для осуществления атак типа отказа в обслуживании.

Непосредственное внедрение вредоносного кода.

Угрозы кросс-сайтового скриптинга (XSS) – на веб-сайтах, где метаданные EXIF отображаются без должной очистки, возможно внедрение вредоносных скриптов в HTML-страницы через содержимое метаданных EXIF.

Для минимизации риска эксплуатации этих уязвимостей разработчикам программного обеспечения для работы с изображениями необходимо выполнять тщательную проверку входных данных и обработку ошибок при разборе данных EXIF. Пользователям следует быть бдительными при обмене изображениями и убедиться, что личная информация, которая может быть содержится в EXIF, не будет раскрыта без их ведома. Также важно использовать обновлённое программное обеспечение, которое исправляет известные уязвимости в обработке метаданных.

Отметим, что EXIF-метаданные в целом безвредны, но они могут быть использованы для вредоносных целей в трёх основных контекстах:

1. Географическое местоположение и момент времени, сохраняемые в EXIF-данных, могут использоваться для отслеживания перемещений пользователя. Публикация фотографий с EXIF-метаданными в интернете может непреднамеренно выдать личную информацию.

2. Хакеры могут использовать EXIF-метаданные для получения информации о потенциальной жертве, поскольку она может включать тип используемой камеры и, возможно, программное обеспечение для редактирования, что может помочь злоумышленникам подобрать специфические эксплойты.

3. Скрытие вредоносного кода: в некоторых случаях хакеры могли встраивать вредоносный код в EXIF-метаданные изображений. Когда пользователь закачивает заражённое изображение и открывает его в уязвимом приложении или веб-сайте, вредоносный код может быть выполнен.

Для защиты от подобных угроз рекомендуется следующее:

- перед публикацией или отправкой фотографий стоит удалять из них EXIF-метаданные, особенно информацию о геолокации;
- использовать антивирусное и anti-malware программное обеспечение для сканирования всех файлов, включая изображения;
- обновлять приложения и операционные системы до последних версий для избежания эксплуатации имеющихся уязвимостей;
- ограничивать доступ к данным о местоположении на мобильных устройствах и камерах.

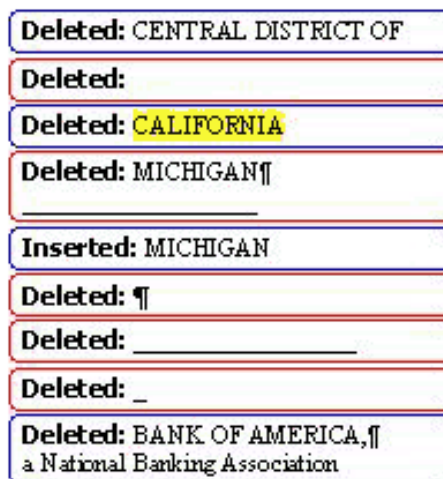


Рисунок 3 – Пример результатов анализа обработки файла

МЕТАДАННЫЕ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛИТИК ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Практика информационной безопасности включает использование метаданных для различных целей:

1. Управление доступом и контроль: метаданные позволяют контролировать, кто, когда и как может взаимодействовать с данными.

2. Аудит и мониторинг: системы информационной безопасности используют метаданные для отслеживания действий пользователей и системы, чтобы обнаруживать подозрительные действия или нарушения политики безопасности.

3. Классификация данных: метаданные помогают классифицировать данные по степени их важности, чувствительности и требованиям к защите, что важно для разработки политик безопасности и процедур обращения с данными.

4. Расследование инцидентов: в случае нарушения безопасности метаданные предоставляют важную информацию для анализа случившегося и принятия мер для реагирования и предотвращения будущих инцидентов.

5. Соответствие нормативным требованиям: метаданные помогают доказать соответствие требованиям законодательства и стандартов.

6. Криптографическая защита: метаданные используются для хранения информации, необходимой для шифрования и расшифровки данных, хэширования и подтверждения их целостности, а также для управления ключами шифрования.

В целях обеспечения информационной безопасности компании и организации разрабатывают стратегии управления метаданными, обеспечивают их защиту, классификацию и надлежащее хранение, а также их интеграцию в системы мониторинга и реагирования на инциденты.

Проанализируем возможные сценарии уязвимостей и на каких этапах может возникнуть угрозы безопасности:

1. Нарушение конфиденциальности: публикация изображений с данными о местоположении может непреднамеренно раскрывать личные места, также метаданные могут содержать информацию о времени съёмки, что может выдать привычки и распорядок дня человека.

2. Возможность отслеживания: злоумышленники или службы безопасности могут использовать EXIF-метаданные для отслеживания перемещений людей или идентификации, а социальные сети и сервисы могут анализировать метаданные для таргетированной рекламы или для сбора биометрических данных.

3. Угрозы корпоративной безопасности в целом – например, публикация фотографий с мероприятий или из офисов с EXIF-метаданными может выдать конфиденциальную информацию о характеристиках объекта защиты.

4. Возможность мошенничества и подделки: метаданные могут быть изменены или подделаны для целенаправленного введения в заблуждение.

Результаты проведённого анализа отношения к обработке метаданных наиболее распространённых социальных сетей и платформ обмена сообщениями:

- Facebook, Twitter, «ВКонтакте» – метаданные из фотографий удаляют;
- Google+ – не удаляет;
- Instagram – удаляет;

- Flickr, Google Photo, Tumblr – не удаляют;
- eBay, Craigslist – удаляют.

Сервисы, которые не удаляют метаданные, имеют, как правило, настройку конфиденциальности, позволяющую отключить их отображение. Но именно отображение: сервис всё равно может эти данные сохранить отдельно.

Для начала оценим риски, связанные с EXIF-метаданными и потенциальные угрозы нарушения конфиденциальности, целостности и доступности обрабатываемых фотографий (рис. 4), например:

- обязательная проверка фотографии на наличие метаданных EXIF;
- оценка содержания метаданных – есть ли защищаемая информация, которую не следует раскрывать;
- решение по обработке данных – какие данные EXIF можно сохранить, а какие следует удалить;
- мероприятия по удалению или модификации метаданных.
- изменение настроек используемых приложений: настройка приложений так, чтобы они не сохраняли чувствительные данные в метаданных;
- использование сторонних инструментов для проверки наличия в файлах скрытых данных;
- обеспечение хранения оригинального файла с метаданными для возможности обеспечения процедуры восстановления.

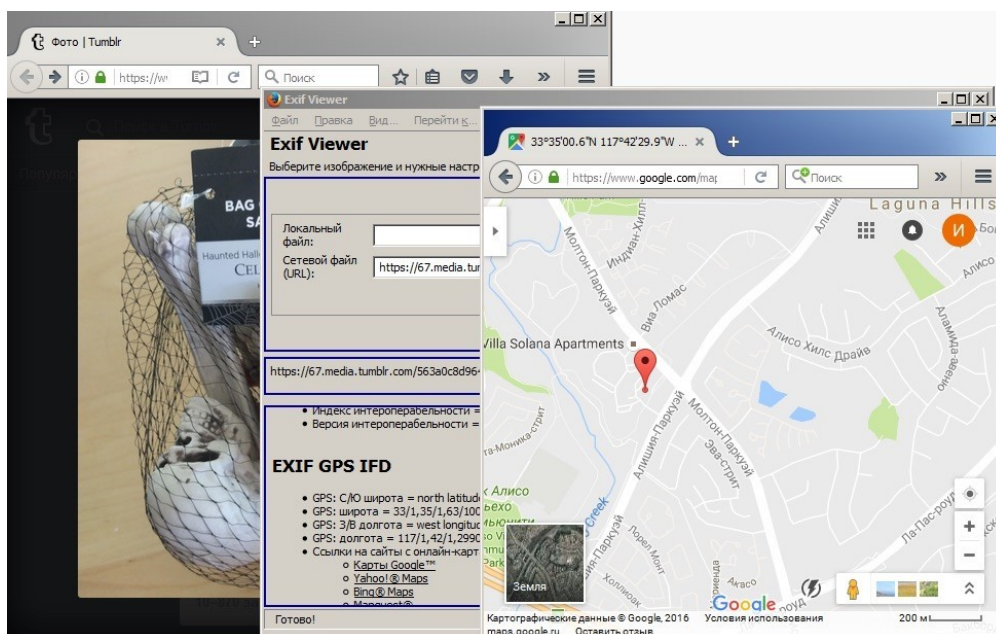


Рисунок 4 – Пример результатов аналитики и деанонимизации защищаемых данных

Таким образом, в целом угрозы безопасности метаданных EXIF заключаются в возможности использования этой информации потенциальным злоумышленником. Выделим следующие аспекты в контексте мониторинга угроз безопасности, связанных с метаданными EXIF:

1. Раскрытие местоположения: GPS-координаты, сохранённые в метаданных EXIF, могут использоваться для отслеживания местоположения фотографии. Эта уязвимость создаёт угрозы, что может помочь злоумышленникам найти место жительства, работы или обычные маршруты передвижения фотографа или сфотографированных людей.
2. Отслеживание использования камеры: данные о камере и её серийный номер могут использоваться для ассоциации различных фотографий с одним и тем же устройством, что может быть проблематично в случае кражи камеры или её использования без разрешения.
3. Профилирование: сбор и анализ EXIF-данных с множества изображений может дать злоумышленникам информацию о поведенческих паттернах фотографа.
4. Целевые фишинговые атаки: информация, полученная с помощью анализа метаданных EXIF, может использоваться для разработки более убедительных социальных инженерных атак и фишинговых сообщений.

Для мониторинга и предотвращения угроз можно предпринять следующие шаги:

- просмотр и очистка EXIF-данных перед публикацией изображений в интернете;
- обучение пользователей осознанному отношению к информации, которую они раскрывают при загрузке изображений в публичном пространстве;

- установка конфиденциальности на камерах и приложениях, что позволит контролировать, какая EXIF-информация сохраняется;
- разработка и применение политик обработки и распространения изображений в организациях для защиты корпоративной информации;
- использование инструментов безопасности, которые анализируют и отслеживают потенциально вредоносные файлы и метаданные, циркулирующие в корпоративных сетях.

Таблица 1 – Перечень наиболее функциональных средств анализа метаданных изображений

Редактор	Онлайн /приложение	Типы метаданных	Чтение метаданных	Изменение метаданных	Дополнительно
Picvario MetaEditor	Онлайн	EXIF, IPTC, XMP	Да	Да	Экспорт метаданных в CSV
Metadata2go	Онлайн	EXIF	Да	Да	Конвертация загруженных файлов
Regex	Онлайн	EXIF, XMP	Да	Нет	Описание цвета
Exifdata	Онлайн	EXIF, IPTC	Да	Нет	–
Jimpl	Онлайн	EXIF	Да	Нет	Удаление метаданных и загрузка файла
Exiftool	Приложение	EXIF, IPTC, XMP	Да	Да	Создание трек-логов на основе геотегированных фотографий
Exif-viewer	Онлайн	EXIF	Да	Нет	–
IrfanView	Приложение	EXIF, IPTC	Да	Да	Конвертация, проигрывание и редактирование фото и видео, добавление плагинов
ExifPilot	Приложение	EXIF, IPTC	Да	Да	Экспорт метаданных в CSV
GeoSetter	Приложение	EXIF, IPTC	Да	Да	Отображение координат, создание треков в Google картах

Для формирования общих требований было принято решение изучить, как интернет-ресурсы ведут себя с метаданными различных файлов. Для исследования понадобились фотографии, видео и текстовые документы формата DOCX и выборка из 16 различных сервисов, включая мессенджеры, облачные хранилища, фотостоки и почтовые сервисы. С помощью специального ресурса Jeffrey’s Image Metadata Viewer исследователи проверили, какие метаданные есть в выбранных файлах.

Основные параметры, содержащиеся в EXIF-метаданных фотоматериалов:

- модель и производитель камеры;
- дата и время съятия фотографии;
- разрешение изображения;
- фокусное расстояние;
- диафрагма (апертура);
- выдержка (время экспозиции);
- ISO (чувствительность к свету);
- использовалась ли вспышка;
- ориентация камеры (поворот фотографии);
- программное обеспечение, использованное для обработки фотографии;
- информация о GPS: широта, долгота и высота.

Таблица 2 – Наиболее эффективные способы удаления метаданных для разного типа файлов, передаваемых в ИТ-системах объекта защиты

Способы удаления	Критерии оценки	Текстовый документ	Изображение	Видео	Аудиозапись
Средства Windows	Простота использования	+	+	+	+
	Качество результата	–	–	–	–
Утилита	Простота использования	Не поддерживается	–	–	Не поддерживается
	Качество результата		+	+	
Онлайн-сервис	Простота использования	+	+	+	+
	Качество результата	+	+	–	+
Программа	Простота использования	+	+	+	+
	Качество результата	+	+	+	+

Basic Image Information

Target file: IMG_20200914_184539 (2).jpg

Caption:	Sweet cute fat cat Artist
Artist:	Anatolii Sorokin
Camera:	asus ZB602KL
Lens:	3.5 mm
Exposure:	Auto exposure, Not Defined, 1/50 sec, f/2.2, ISO 108
Flash:	Off, Did not fire
Keywords:	House, street, evening, old town.
Date:	September 14, 2020 6:45:39PM (timezone not specified) (6 days, 23 hours, 1 minute, 53 seconds ago, assuming image timezone of 3 hours ahead of GMT)
Location:	Latitude/longitude: 59° 57' 13.4" North, 30° 17' 34.1" East (59.953732, 30.292815) Map via embedded coordinates at: Google , Yahoo , WikiMapia , OpenStreetMap , Bing (also see the Google Maps pane below) Altitude: 32 meters (104 feet) Camera Pointing: South-southeast Timezone guess from earthtools.org: 3 hours ahead of GMT
File:	3,120 × 4,160 JPEG (13.0 megapixels) 6,645,100 bytes (6.3 megabytes)
Color Encoding:	Embedded color profile: "sRGB"



Рисунок 5 – Пример извлечения стандартного набора метаданных для последующего анализа

АКТУАЛЬНЫЕ УЯЗВИМОСТИ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ

Таким образом, контроль уязвимостей, связанных с метаданными EXIF, является важной частью защиты информации. Разберём мероприятия по контролю уязвимостей:

1. Ознакомление с метаданными EXIF: анализ и понимание набора данных, что могут храниться в EXIF, использование специализированных инструментов для просмотра EXIF-информации в изображениях.

2. Удаление метаданных: удаление чувствительных метаданных до передачи изображений по каналам связи или их публикации, использование программ для редактирования изображений или специализированными утилитами для удаления EXIF данных.

3. Оптимизация настроек камеры и устройств: отключение сохранения геолокационных данных, мониторинг других настроек, которые могут сохранять нежелательные метаданные.

4. Мероприятия по повышению уровня обучения и осведомлённости сотрудников: регулярное обучение сотрудников, если работа связана с обработкой изображений, мониторинг ландшафта актуальных угроз и лучших практик в конкретной области информационной безопасности.

5. Программное обеспечение и политики: разработка и применение политик и процедур, ограничивающих распространение изображений с чувствительными метаданными, использование сервисов, которые автоматически очищают метаданные.

6. Защита данных и шифрование: шифрование передаваемых изображений и контроль защищённости серверов и облачных хранилищ, где могут храниться изображения.

7. Анализ и мониторинг: проведение регулярного аудита и мониторинга файлов, чтобы убедиться в отсутствии чувствительных данных в метаданных, оценка потенциального ущерба, который может быть нанесён путём использования информации из метаданных EXIF.

Один из вариантов решения – распределенная архитектура для мониторинга и анализа передаваемой информации в режиме реального времени.

Например:

– алгоритм, который собирает пакеты данных и передаёт их по сети в стандартных потоковых протоколах;

– монитор, который принимает потоковые пакеты, декодирует протоколы и интерпретирует информацию.

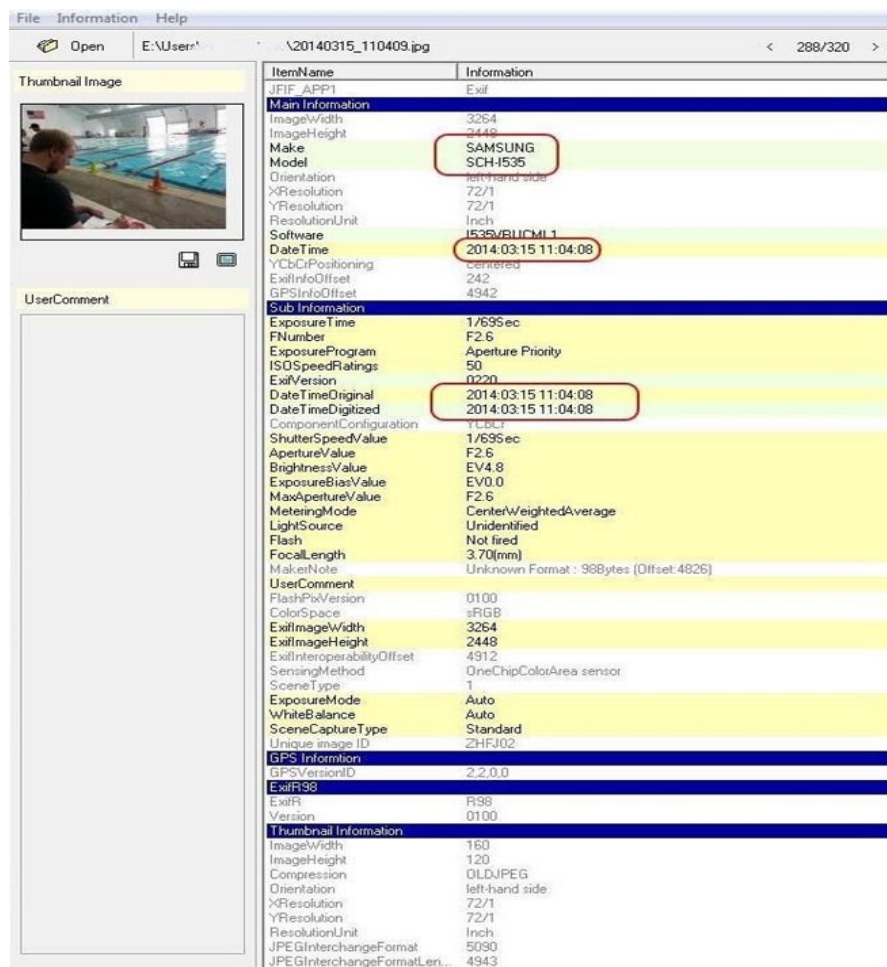


Рисунок 6 – Пример получаемых результатов сбора метаданных для последующего анализа

Эти компоненты могут использоваться вместе или по отдельности. Для простой конфигурации их можно запускать на одном хосте, а в более сложных средах несколько датчиков могут подавать сигнал на один монитор.

Инструмент мониторинга должен иметь следующие особенности для гибкого встраивания в систему безопасности:

- сбор пакетов, доставленных в потоке протоколов;
- декодирование пакетных протоколов, вызов событий почти в реальном времени;
- декодированная информация должна становиться доступной для настраиваемой пользователем логики, чтобы определить, как обрабатываются декодированные данные;
- использование простого языка конфигурации;
- методы подделки пакетов, позволяющие сбрасывать TCP-соединения и подделывать ответы DNS;
- механизм доставки для ElasticSearch, Google BigQuery и хранилища графиков Gaffer;
- поддержка протоколов IP, TCP, UDP, ICMP, HTTP и DNS в настоящее время.

Список источников

1. Ярыгин, А. А. Дипломная работа по специальности 10.05.01 «Компьютерная безопасность» / А. А. Ярыгин. – Краснодар : Кубанский государственный технический университет, 2024. – 88 с.
2. Register, R. The Metadata Handbook: A Book Publisher's Guide to Creating and Distributing Metadata for Print and Ebooks / R. Register, Th. Mellroy. – Apress, 2017.
3. Marks, D. Exif: Everything You Need To Know About MetaData / DaraMarks.
4. Miller, S. J. Metadata for Digital Collections: A How-To-Do-It Manual / S. J. Miller. – The Next Web, 2018.
5. Keathley, E. Digital Asset Management: Content Architectures, Project Management, and Creating Order Out of Media Chaos // Elizabeth Keathley. – Maxpress, 2022.
6. Exchangeable image file format for digital still cameras: Exif Version 2.31.
7. Зотчев, В. А. Судебная фотография и видеозапись : учебник / В. А. Зотчев, В. Г. Булгаков, А. А. Курин и др. – Москва : Щит, 2011. – 816 с.

8. Дмитриев, Е. Н. Судебная фотография: Курс лекций / Е. Н. Дмитриев. – Москва : Юрлитформ, 2009. – 392 с.
9. Малюка, А. А. Особенности исследования графических изображений, как объектов судебной фототехнической экспертизы / А. А. Малюка // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2013. – Вып. № 4–2. – С. 282–288.
10. ГОСТ Р ИСО 15489 1 2007. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200049980> (дата обращения: 20.09.2023).
11. Словарь компьютерных терминов. – URL: https://gufo.me/dict/computer_terms/метаданные (дата обращения: 20.09.2022).

References

1. Yarygin, A. A. *Thesis on specialty 10.05.01 "Computer security"*. Krasnodar, Kuban State Technological University, 2024. 88 p.
2. Register, R., McIlroy, Th. *The Metadata Handbook: A Book Publisher's Guide to Creating and Distributing Metadata for Print and Ebooks*. Apress, 2017.
3. Marks, D. *Exif: Everything You Need To Know About MetaData*.
4. Miller, S. J. *Metadata for Digital Collections: A How-To-Do-It Manual*. The Next Web, 2018.
5. Keathley, E. *Digital Asset Management: Content Architectures, Project Management, and Creating Order Out of Media Chaos*. Maxpress, 2022.
6. *Exchangeable image file format for digital still cameras: Exif Version 2.31*.
7. Zotchev, V. A., Bulgakov, V. G. Kurin, A. A. et al. *Judicial photography and video recording : textbook*. Moscow, Shield, 2011. – 816 p.
8. Dmitriev, E. N. *Judicial photography: A course of lectures*. Moscow, Yurlitform, 2009. 392 p.
9. Malyuka, A. A. Features of the study of graphic images as objects of forensic phototechnical examination. *Proceedings of Tula State University. Economic and legal sciences*, 2013, iss. 4–2, pp. 282–288.
10. *GOST R ISO 15489 1 2007. System of standards for information, library and publishing*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200049980> (accessed 20.09.2023).
11. *Dictionary of Computer Terms*. Available at: https://gufo.me/dict/computer_terms/metadata (accessed 20.09.2022).

Статья поступила в редакцию 28.10.2024; одобрена после рецензирования 29.11.2024; принята к публикации 23.01.2025.

The article was submitted 28.10.2024; approved after reviewing 29.11.2024; accepted for publication 23.01.2025.

УДК 004.056

АНСАМБЛЕВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА И МЕХАНИЗМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВНИМАНИЯ В ЗАДАЧАХ ПО КЛАССИФИКАЦИИ ВРЕДНОСНОЙ СЕТЕВОЙ АКТИВНОСТИ

Шигин Владимир Владимирович, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», 127055, Российская Федерация, г. Москва, Вадковский пер., 1, аспирант, ORCID: 0009-0006-2253-5710, e-mail: volshigin@gmail.com

В данной статье исследуется применение ансамблевого метода, объединяющего модели XGBoost и TabNet, для классификации вредоносной сетевой активности. Актуальность исследования обусловлена ростом киберугроз и необходимостью эффективного обнаружения аномалий в сетевом трафике. Несмотря на существование моделей, способных решать данную задачу, комбинированный подход с использованием XGBoost и TabNet ранее изучен недостаточно. Целью работы является разработка и оценка эффективности ансамблевого метода по сравнению с индивидуальным использованием моделей. В качестве данных использовался расширенный набор CIC UNSW-NB15 Augmented Dataset, содержащий различные типы сетевых атак. Проведено обучение моделей с подробным описанием этапов, включая предобработку данных и настройку гиперпараметров. Представлена математическая модель, описывающая используемые алгоритмы и их комбинирование. Результаты показали, что ансамблевая модель не улучшила общую производительность по сравнению с отдельным экземпляром XGBoost, но продемонстрировала лучшие показатели при классификации редких классов атак. Для подтверждения полученных результатов был проведён анализ важности признаков и бутстрэппинг метрик, которые подтвердили релевантность итоговых данных. В рамках создания условий, приближённых к реальным, было проведено исследование по применению указанных моделей в условиях зашумления данных, по результатам которого ансамблевый метод показал наилучшие результаты. Данное исследование имеет практическую ценность в кибербезопасности, позволяя повысить уровень защиты за счёт раннего обнаружения редких и новых атак. Также выводы исследования указывают на целесообразность использования ансамбля XGBoost и TabNet для улучшения классификации данных при наличии искажений.

Ключевые слова: кибербезопасность, классификация сетевых атак, XGBoost, TabNet, ансамблевые методы, машинное обучение, обнаружение аномалий

ENSEMBLE APPLICATION OF THE GRADIENT BOOSTING METHOD AND SEQUENTIAL ATTENTION MECHANISM IN MALICIOUS NETWORK ACTIVITY CLASSIFICATION TASKS

Shigin Vladimir V., Moscow State University of Technology «STANKIN», 1 Vadkovsky Lane, Moscow, 127055, Russian Federation, graduate student, ORCID: 0009-0006-2253-5710, e-mail: volshigin@gmail.com

This article investigates the application of an ensemble method combining XGBoost and TabNet models for the classification of malicious network activity. The relevance of the study is driven by the increasing cyber threats and the necessity for effective anomaly detection in network traffic. Despite the existence of models capable of addressing this task, the combined approach utilizing XGBoost and TabNet has been insufficiently explored. The objective of this work is to develop and evaluate the effectiveness of the ensemble method compared to the individual use of the models. An extended set of the CIC UNSW-NB15 Augmented Dataset, containing various types of network attacks, was used as the data source. Model training was conducted with a detailed description of the stages, including data preprocessing and hyperparameter tuning. A mathematical model describing the utilized algorithms and their combination is presented. The results indicated that the ensemble model did not enhance overall performance compared to an individual instance of XGBoost but demonstrated superior performance in classifying rare attack classes. To confirm the obtained results, feature importance analysis and bootstrapping metrics were performed, which validated the relevance of the final data. In the context of creating conditions akin to real-world scenarios, a study was conducted on the application of the specified models under data noise conditions, resulting in the ensemble method exhibiting the best outcomes. This research holds practical value in cybersecurity by enhancing protection levels through the early detection of rare and new attacks. Additionally, the study's conclusions suggest the feasibility of using an ensemble of XGBoost and TabNet to improve data classification in the presence of distortions.

Keywords: cybersecurity; network attack classification; XGBoost; TabNet; ensemble methods; machine learning; anomaly detection

ВВЕДЕНИЕ

Развитие информационных технологий сопровождается значительным увеличением объёма сетевого трафика, что привело к усложнению детектирования киберугроз [1]. В свою очередь, обнаружение и классификация вредоносной сетевой активности являются критически важными задачами для обеспечения безопасности информационных систем [2].

Используемые в настоящее время методы обнаружения вредоносных сетевых атак на основе правил, такие как системы обнаружения вторжений (IDS), полагаются на предварительно определённые сигнатуры, что снижает их эффективность против новых и неизвестных угроз. Традиционные алгоритмы машинного обучения, включая SVM, KNN и Decision Trees, также периодически используются для обнаружения аномалий в сетевом трафике. Их преимущества заключаются в простоте реализации и легкой интерпретируемости, но могут возникнуть проблемы при работе с большими объёмами данных и сложными паттернами атак. Также некоторые из данных методов весьма чувствительны к параметрам регуляризации [3]. Большое распространение в решении задач анализа сетевой активности получили глубокие нейронные сети, включая рекуррентные и сверточные [4]. Несмотря на впечатляющие показатели, данные модели оказались крайне требовательными к наличию большого объёма учебных данных и вычислительных ресурсов.

Модели градиентного бустинга [5] показали значительный успех в широком спектре практических задач и успешно применяются в задачах классификации сетевых атак [6], демонстрируя превосходство по некоторым параметрам над более традиционными методами. Данные модели эффективно обрабатывают разнообразные данные без необходимости сложного предварительного преобразования. Данное свойство крайне актуально, так как основные метрики сетевой вредоносной активности в большинстве случаев хранятся в реляционном виде и представлены в различных форматах: числовых, категориальных, бинарных и др. Для предварительного преобразования данных в данном случае достаточно провести простое кодирование (например, применить метод one-hot encoding). Кроме того, градиентный бустинг демонстрирует высокую точность и устойчивость к переобучению благодаря механизмам регуляризации и возможности захвата сложных нелинейных зависимостей между признаками.

Также в последние несколько лет начали активно использоваться модели, основанные на механизмах последовательного внимания. Такие модели предлагают новый подход к обработке табличных данных, динамически фокусируясь на наиболее информативных признаках [7]. Данный фактор также позволяет весьма эффективно обрабатывать табличные разнородные данные без использования какой-либо предварительной обработки. Дополнительно такие модели эффективно справляются с высокоразмерными наборами данных, обеспечивая глубокий анализ сложных взаимодействий между признаками.

В этой статье исследуется эффективность ансамблевого взаимодействия [8] модели на основе градиентного бустинга деревьев решений «XGBoost» [9] и глубокой нейронной сети с механизмами внимания «TabNet» [10] для задачи классификации вредоносных признаков сетевой активности, представленных в реляционном виде. Используя ансамблирование, планируется снизить дисперсию моделей и повысить общую точность классификации за счёт комбинирования различных алгоритмов [11]. Также проводится сравнительный анализ полученных метрик с результатами самостоятельного применения используемых моделей. Для подтверждения полученных результатов был проведён ряд тестов (бутстрэппинг метрик, выявления признаков важности), подтверждающих истинность полученных данных. Обучение проводилось на датасете CIC UNSW-NB15 Augmented, который был сформирован в процессе захвата 100 ГБ сетевого трафика, из которого с помощью инструментов Argus и Bro-IDS было извлечено 47 признаков, классифицированных по различным категориям [12]. Для более глубокого понимания результатов работы данных моделей в условиях, приближенных к реальности, было проведено исследование эффективности проводимой классификации при добавлении гауссовского шума, моделирующего случайные вариации и помехи в используемые признаки.

ОПИСАНИЕ ДАТАСЕТА

Датасет CIC UNSW-NB15 Augmented Dataset представляет собой расширенную версию набора данных UNSW-NB15 [13]. Он был сгенерирован в течение двух суток с использованием инструмента IXIA PerfectStorm для создания актуального нормального и аномального сетевого потоков. CIC UNSW-NB15 Augmented Dataset включает в себя девять категорий атак и бенинный (нормальный) трафик (табл. 1). Набор данных включает как числовые, так и категориальные признаки, такие как количество пакетов, продолжительность сессии, порты источника и назначения, тип протокола и др.

Таблица 1 – Категории данных, представленные в датасете

Категория	Количество записей
Benign	358,332
Analysis	385
Backdoor	452
DoS	4,467
Exploits	30,951
Fuzzers	29,613
Generic	4,632
Reconnaissance	16,735
Shellcode	2,102
Worms	246

Описание перечисленных (табл. 1) метрик:

1. Fuzzers: тестирование приложений случайными данными для выявления уязвимостей.
2. Analysis: сбор и анализ информации о системе для выявления слабых мест.
3. Backdoor: получение несанкционированного доступа через скрытые уязвимости.
4. DoS: атаки, направленные на отказ в обслуживании.
5. Exploits: использование уязвимостей в ПО для выполнения вредоносных действий.
6. Generic: атаки на криптографические системы.
7. Reconnaissance: получение общего представления о целевой системе, её инфраструктуре и возможных точках входа.
8. Shellcode: внедрение и выполнение вредоносного кода через уязвимости.
9. Worms: самостоятельно распространяющиеся вредоносные программы.
10. Benign: нормальная сетевая активность.

ПРЕДОБРАБОТКА ДАННЫХ

Шаг 1. Для упрощения процесса обучения было проведено соединение признаков и меток, хранящихся в разных файлах, в результате чего сформирован единый DataFrame.

Шаг 2. Для выявления и обработки выбросов применён метод межквартильного размаха (IQR) для каждого числового признака. Выбросы определены как значения, выходящие за пределы диапазона (1):

$$IQR = Q_3 - Q_1, \text{ Границы} = [Q_1 - 1,5 * IQR, Q_3 + 1,5 * IQR], \quad (1)$$

где Q_1 и Q_3 – первый и третий квартиль соответственно.

Выбросы заменены на соответствующие пороговые значения (нижняя или верхняя граница диапазона). Это снижает влияние экстремальных значений на обучение моделей и предотвращает искажение результатов, тем самым повышая её качество и устойчивость к шуму [14].

Шаг 3. Кодирование категориальных признаков с помощью one-hot encoding [15]. Данный метод позволяет предотвратить введение ложного порядка между категориями.

Шаг 4. В рамках повышения сходимости моделей, согласованности данных и последующей интерпретируемости применён метод масштабирования признаков StandardScaler [16], суть которого заключается в преобразовании имеющихся признаков таким образом, чтобы они имели нулевое среднее значение и единичное стандартное отклонение. Это достигается путём вычитания среднего значения признака и деления на его стандартное отклонение. Т. е. для каждого признака X в наборе данных применяется следующая трансформация (2):

$$X_{scaled} = \frac{x - \mu}{\sigma}, \quad (2)$$

где x – исходное значение признака;

μ – среднее значение признака X в обучающей выборке;

σ – стандартное отклонение признака X в обучающей выборке;

X_{scaled} – нормализованное значение признака.

Масштабирование необходимо проводить для моделей, чувствительных к масштабу признаков, таких как нейронные сети и алгоритмы, использующие градиентный спуск [17]. Это ускоряет сходимость и улучшает стабильность обучения.

Шаг 5. Разделение данных. DataFrame был разделён на обучающую и тестовую выборку в соотношении 80/20, с сохранением пропорции классов. Стратифицированное разделение гарантирует, что редкие классы присутствуют в обеих выборках, что важно для оценки производительности моделей на всех типах атак.

В датасете CIC UNSW-NB15 Augmented наблюдается несбалансированность классов: некоторые категории атак представлены большим количеством записей, тогда как другие – весьма малым. Несмотря на это, было принято решение не применять специальные техники балансировки данных, такие как oversampling или undersampling. Данный подход обусловлен тем, что применение методов балансировки может привести к искажению распределения данных и, как следствие, к переобучению моделей на синтетических или повторяющихся данных [18]. Кроме того, некоторые исследования показывают, что современные модели, в частности XGBoost и глубокие нейронные сети, способны эффективно справиться с несбалансированными данными благодаря своим встроенным механизмам работы с весами классов и регуляризации [9, 10].

ОПИСАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ

XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) – это оптимизированная реализация градиентного бустинга деревьев решений. Модель работает по средствам строительства ансамбля из K деревьев решений, где каждое последующее дерево стремится исправить ошибки предыдущих. Предсказание для объекта x_i записывается как сумма предсказаний всех деревьев (3):

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^K f_k(x_i), \quad f_k \in F, \quad (3)$$

где F – пространство возможных деревьев решений f_k .

Цель обучения – минимизация общей функции потерь с учётом регуляризации (4):

$$L = \sum_{i=1}^n l(y_i, \hat{y}_i) + \sum_{k=1}^K \Omega(f_k), \quad (4)$$

где $l(y_i, \hat{y}_i)$ – дифференцируемая функция потерь;

$\Omega(f_k)$ – регуляризационный член, предназначенный для контроля сложности модели и предотвращения переобучения, который задаётся как (5):

$$\Omega(f) = \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \sum_{j=1}^T w_j^2, \quad (5)$$

где γ – гиперпараметр, штрафующий за количество листьев в дереве;

T – количество листьев в дереве;

λ – гиперпараметр, контролирующий величину штрафа за веса листьев;

w_j – вес в j -м листе дерева;

$\sum_{j=1}^T w_j^2$ – сумма квадратов весов всех листьев в дереве.

Для обучения модели необходимо, чтобы на каждом этапе t добавлялось новое дерево f_t , которое обучается на ошибках предыдущей композиции, минимизируя тем самым обновлённую функцию потерь (6):

$$L^{(t)} = \sum_{i=1}^n 1(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i)) + \Omega(f_t), \quad (6)$$

где $L^{(t)}$ – функция потерь на этапе t ;

$\hat{y}_i^{(t-1)}$ – предсказание модели на предыдущем этапе $t - 1$;

$f_t(x_i)$ – предсказание нового дерева f_t для объекта x_i .

Цель – найти такое f_t , которое минимизирует $L^{(t)}$.

TabNet – глубокая нейронная сеть, разработанная для работы с табличными данными. Модель использует механизм внимания для выбора наиболее информативных признаков на каждом этапе обучения. Архитектурно TabNet состоит из последовательности решающих шагов (decision steps), каждый из которых включает:

- 1) маскировочный слой (feature transformer), который выбирает важные признаки с помощью механизма внимания;
- 2) решающий слой (decision layer), который принимает решение на основе выбранных признаков;
- 3) пропускание информации (prior scale), обеспечивающее использование информации из предыдущих шагов.

Модель принимает на вход вектор признаков без необходимости предварительной обработки или генерации дополнительных признаков.

Для реализации механизма внимания на решающем шаге t вычисляется маска признаков $M^{(t)}$, которая определяет важность каждого признака (7):

$$M^{(t)} = \text{Sparsemax}(BN(A^{(t)}) \odot P^{(t)}), \quad (7)$$

где $P^{(t)}$ – приоритеты признаков на шаге t ;

$A^{(t)}$ – выход после преобразования признаков;

BN – батч-нормализация;

\odot – поэлементное умножение;

Sparsemax – функция активации, обеспечивающая разреженное распределение.

Для того чтобы модель могла использовать наиболее информативные данные для обучения, её скрытое состояние обновляется на основе выбранных признаков (8):

$$H^{(t)} = \text{FeatureTransformer}(M^{(t)} \odot x), \quad (8)$$

где $\text{FeatureTransformer}$ – последовательность полносвязных слоев с активациями и нормализацией.

Итоговое представление D формируется суммированием скрытых состояний со всех решающих шагов, объединяя информацию от разных наборов признаков (9):

$$D = \sum_{t=1}^T H^{(t)}. \quad (9)$$

Итоговый прогноз модели можно представить как (10):

$$\hat{y} = f(D), \quad (10)$$

где f – выходной слой модели.

Ансамблевое стекирование (Stacking) – метод, применяемый для создания ансамбля моделей, объединяющего предсказания нескольких базовых моделей (первичных учеников) для создания более мощной и точной метамодели (вторичного ученика). Основная идея заключается в том, чтобы использовать разнообразие моделей для захвата различных аспектов данных и компенсировать недостатки отдельных составляющих [19]. В контексте классификации вредоносной сетевой активности использование стекинга позволяет: комбинировать сильные стороны разных моделей, улучшить обнаружение сложных паттернов и снизить риск переобучения.

В роли первичных учеников выступали основные модели, участвовавшие в исследовании: XGBoost и TabNet.

Вторичный уровень (метамодель) реализован с помощью выполнения следующих шагов:

1. Сбор предсказаний: предсказания всех базовых моделей собираются в новый набор данных.
2. Обучение метамодели: метамодель обучается на этом новом наборе признаков, используя истинные метки классов. Для реализации нашей метамодели был использован ещё один экземпляр модели XGBoost. Данный выбор был связан с тем, что XGBoost способен обрабатывать высокоразмерные данные (в нашем случае – метапризнаки), обладает хорошей обобщающей способностью и может выявлять нелинейные зависимости между метапризнаками и целевыми метками.
3. Финальные предсказания: метамодель объединяет предсказания базовых моделей, чтобы сделать окончательное предсказание.

Реализация модели (11):

$$\text{XGBoost: } \hat{y}_i^{(1)} = f^{(1)}(x_i) \quad (11)$$

$$\text{TabNet: } \hat{y}_i^{(2)} = f^{(2)}(x_i),$$

где $\hat{y}_i^{(1)}$ и $\hat{y}_i^{(2)}$ – предсказания базовых моделей для объекта i ;

$f^{(1)}$ и $f^{(2)}$ – функции, соответствующие моделям XGBoost и TabNet соответственно.

На основе полученных данных формируется новый набор признаков для метамодели (12):

$$Z_i = [\hat{y}_i^{(1)}, \hat{y}_i^{(2)}]. \quad (12)$$

Вектор Z_i содержит предсказания базовых моделей для объекта i .

Метамодель обучается на новом датасете (13):

$$\{Z_i, y_i\}: \hat{y}_i = g(Z_i), \quad (13)$$

где g – метамодель.

Метамодель принимает на вход метапризнаки Z_i и предсказывает финальное значение \hat{y}_i .

Для предотвращения переобучения метамодели использовался метод «out-of-fold» предсказаний. Обучающая выборка была разделена на K фолдов. Для каждого фолда K были обучены базовые модели на данных, не выходящих в фолд K . После проведения генерации предсказания для самого фолда K .

В итоге были собраны предсказания со всех фолдов, формируя метапризнаки для всей обучающей выборки. Данный подход обеспечивает независимость метапризнаков от целевых меток.

НАСТРОЙКА ГИПЕРПАРАМЕТРОВ

В процессе настройки гиперпараметров XGBoost и TabNet использовался метод Grid Search [20] с кросс-валидацией на трёх фолдах. Основной целью было найти оптимальные значения гиперпараметров, обеспечивающие наилучшую производительность с учётом несбалансированности классов. В процессе использования Grid Search было рассмотрено несколько вариантов гиперпараметров (табл. 2–3).

Таблица 2 – Гиперпараметры и их оптимальное значение для XGBoost

Гиперпараметр	Протестированные значения	Оптимальное значение
max_depth	[3, 5, 7]	7
learning_rate	[0,01, 0,1]	0,1
n_estimators	[100]	100
subsample	[0,8, 1]	0,8
colsample_bytree	[0,8, 1]	0,8
num_class	[10]	10
eval_metric	['mlogloss']	'mlogloss'

Влияние гиперпараметров:

- max_depth: значение 7 обеспечило баланс между сложностью модели и риском переобучения. Более глубокие деревья позволили модели захватывать более сложные зависимости, но привели к переобучению;
- learning_rate: значение 0,1 позволило модели быстрее сходиться к оптимуму без потери точности. При меньшем значении скорость обучения снижалась без значительного выигрыша в качестве;
- subsample: значение 0,8 помогло уменьшить переобучение за счёт использования 80 % данных для каждого дерева, что вводит случайность и делает модель более обобщающей.
- scale_pos_weight: значение 10 использовалось для учёта несбалансированности классов, увеличивая вес редких классов в функции потерь.

Таблица 3 – Гиперпараметры и их оптимальные значения для TabNet

Гиперпараметр	Протестированные значения	Оптимальное значение
n_d, n_a	[(8, 8), (16, 16), (32, 32)]	(32, 32)
n_steps	[3, 5, 7]	5
lambda_sparse	[0,0, 1e-0,5, 1e-3]	1e-0,5
gamma	[1,0, 1,5, 2,0]	1,5
optimizer_fn	[Adam, AdamW]	Adam
mask_type	['sparsemax', 'entmax']	'entmax'

Влияние гиперпараметров:

- n_d и n_a: увеличение этих параметров до 32 улучшило способность модели захватывать сложные зависимости в данных, что повысило точность классификации;
- n_steps: значение 5 обеспечило достаточную глубину для обработки данных без значительного увеличения времени обучения;
- gamma: значение 1,5 сбалансировало важность новых признаков и сохраняемой информации;
- lambda_sparse: небольшое значение 1e-0,5 способствовало разреженности, улучшая интерпретируемость без потери качества.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для анализа результатов используется сравнение следующих итоговых параметров:

Accuracy – доля правильно классифицированных объектов из общего числа объектов. Отражает общую точность модели, но может быть недостаточно информативной при несбалансированных данных.

Precision – доля истинно положительных предсказаний среди всех предсказаний положительного класса. Высокая точность указывает на низкое количество ложноположительных срабатываний.

Recall – доля истинно положительных предсказаний среди всех реальных положительных случаев. Высокая полнота означает, что модель успешно обнаруживает большинство реальных положительных случаев, снижая количество ложноотрицательных.

F1-Score – гармоническое среднее между Precision и Recall. Она предоставляет баланс между этими двумя метриками и используется, когда важно учитывать как ложноположительные, так и ложноотрицательные предсказания, особенно при несбалансированных данных.

ROC-AUC (Area Under the ROC Curve) – площадь под кривой ROC (Receiver Operating Characteristic). Кривая ROC отображает зависимость между True Positive Rate (TPR) и False Positive Rate (FPR) при различных порогах классификации. ROC-AUC показывает способность модели различать классы; значение, близкое к 1, указывает на высокую дискриминативную способность.

Time – общее время, затраченное на обучение модели. Важно при оценке применимости модели в реальных условиях, где вычислительные ресурсы и время могут быть ограничены. Для обучения моделей, представленных в данном исследовании, использовался графический ускоритель NVIDIA «GeForce RTX 3080TI».

Результаты обучения моделей и метрики эффективности представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Итоговые результаты обучения моделей

Модель	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	ROC-AUC	Time (с)
XGBoost	0,93656	0,94504	0,93656	0,93560	0,95899	5
TabNet	0,91714	0,92417	0,91713	0,91395	0,94989	324
Ensemble (TabNet + XGBoost)	0,93551	0,94239	0,93551	0,93558	0,95870	3972

Сравнение производительности моделей:

– XGBoost продемонстрировал наилучшие общие показатели по метрикам Accuracy, Precision, Recall, F1-Score и ROC-AUC, при этом время обучения составило всего 5 секунд. Данные показатели подтверждают эффективность XGBoost в задачах классификации табличных данных и его способность быстро обучаться благодаря оптимизированному алгоритму;

– TabNet показал несколько более низкие результаты по сравнению с XGBoost, особенно по метрике F1-Score. Время обучения составило 324 секунды, что больше, чем у XGBoost. Это связано с тем, что глубокие нейронные сети требуют больше времени для обучения и более чувствительны к настройке гиперпараметров;

– ансамбль XGBoost и TabNet не улучшил общие показатели производительности по сравнению с XGBoost, а время обучения значительно увеличилось до 3972 секунд (более 1 часа). Это указывает на то, что ансамблирование в данном случае не привело к ожидаемому росту общей эффективности.

Одна из причин отсутствия прироста показателей может быть связана с тем, что TabNet не добавил существенной дополнительной информации, которая не была бы уже учтена XGBoost. Наличие подобной корреляции предсказаний при анализе признаков нивелирует преимущество ансамблевого метода. Для того чтобы исключить данную причину, было проведено дополнительное исследование важности признаков и их влияния на классификацию.

Принцип формирования важности признаков для модели **XGBoost** определяется на основе того, насколько каждый признак способствует уменьшению функции потерь при разделении узлов дерева. Основные метрики важности включают [21]:

1) Gain (прирост): показывает, насколько использование признака в узле увеличивает точность предсказаний;

2) Cover (покрытие): количество наблюдений, проходящих через узел с данным признаком;

3) Frequency (частота): сколько раз признак использовался для разделения узлов.

Так важность признака i по метрике Gain рассчитывается как сумма прироста информации во всех узлах, где использовался данный признак (14):

$$Importance_i = \sum_{j \in S_i} Gain_j, \tag{14}$$

где S_i – множество узлов, в которых использовался признак i ;

$Gain_j$ – прирост информации в узле j .

В случае с **TabNet** модель обучается автоматически фокусироваться на наиболее информативных признаках благодаря обучаемым маскам внимания [10]. При этом важность признака определяется через маски внимания $M^{[l]}$ на каждом шаге l обработки (15):

$$Importance_i = \sum_{l=1}^L \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N M_{ni}^{[l]}, \tag{15}$$

где N – количество образцов;

L – количество шагов;

$M_{ni}^{[l]}$ – значение маски внимания для признака i и образца n на шаге j .

В результате было выявлено, что модель XGBoost выделила (рис. 1) как наиболее важные следующие признаки:

– **Down/Up Ratio (21,13 %)** – отношение трафика в нисходящем направлении (ответ от сервера) к восходящему (запрос от клиента). Высокое значение может указывать на большое количество ответов сервера по сравнению с запросами;

– **Fwd Seg Size Min (17,90 %)** – минимальный размер сегмента в восходящем трафике. Может указывать на характерные размеры пакетов, отправляемых клиентом, что может быть важным для обнаружения определённых атак;

– **FWD Init Win Bytes (11,04 %)** – начальный размер окна в восходящем направлении. Этот параметр управляет количеством данных, которые могут быть отправлены до получения подтверждения от получателя;

– **Bwd Packets/s (7,90 %)** – количество пакетов в секунду в нисходящем направлении. Может указывать на скорость ответов сервера;

– **Flow IAT Mean (5,07 %)** – среднее время между пакетами в потоке. Аномальные значения могут указывать на нестандартное поведение.

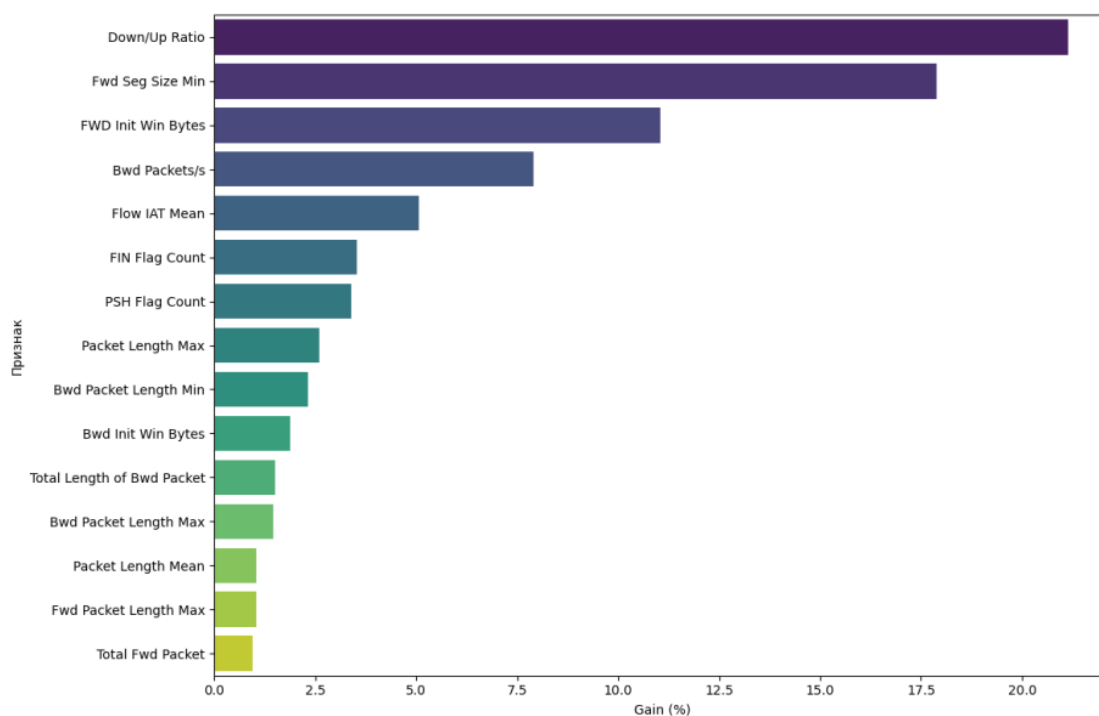


Рисунок 1 – Топ 15 признаков важности для модели XGBoost

При этом модель TabNet выделила следующие признаки важности как наиболее значимые (рис. 2):

– **Fwd Seg Size Min (50,67 %)**;

– **FWD Init Win Bytes (12,59 %)**;

– **CWR Flag Count (7,85 %)** – отражает количество пакетов в сетевом трафике, в которых установлен CWR-флаг. Этот параметр может быть использован для анализа состояния сети и обнаружения аномалий;

– **Bwd Packet Length Max (6,47%)** – максимальная длина пакета в нисходящем направлении. Может быть индикатором передачи больших объемов данных или попыток внедрения вредоносного кода;

– **Packet Length Max (2,59 %)** – максимальная длина пакета. Аномальные размеры пакетов могут быть индикаторами попыток обхода фильтров.

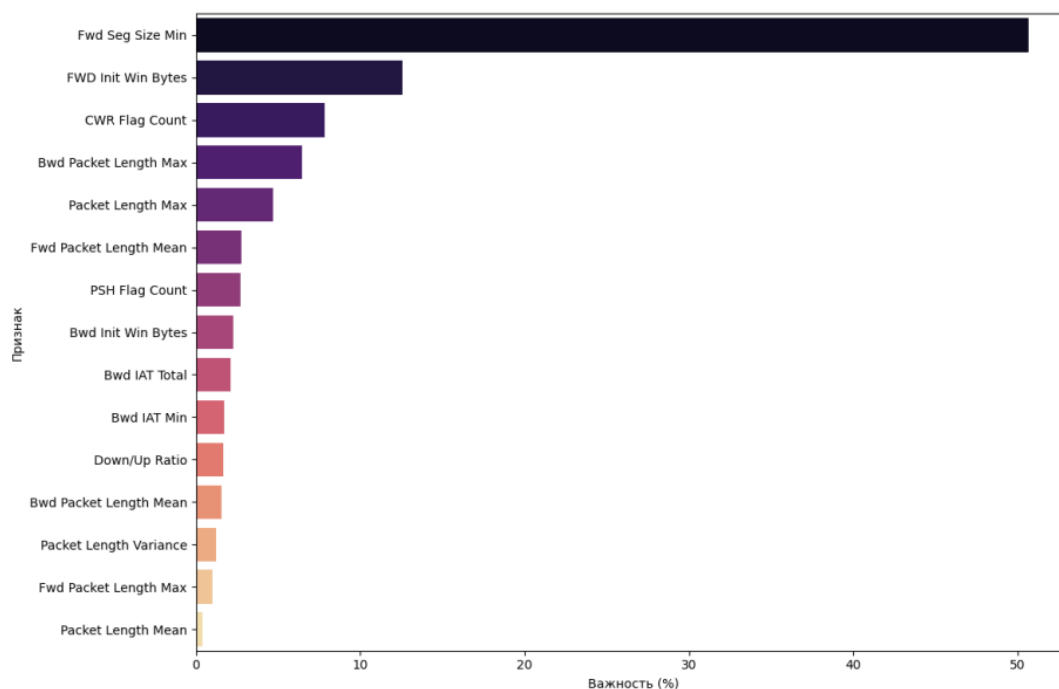


Рисунок 2 – Топ 15 признаков важности для модели TabNet

Из полученных данных видно, что, несмотря на наличие некоторых совпадений по ряду ключевых признаков (Fwd Seg Size Min и FWD Init Win Bytes), XGBoost и TabNet по-разному оценивают их весовые коэффициенты. Также же сама приоритетность признаков значительно различается. При этом XGBoost более сбалансированно распределил важность признаков, тогда как TabNet уделит повышенное значение конкретно одному признаку (Fwd Seg Size Min). В связи с этим можно сделать вывод, что связка XGBoost и TabNet в данном случае подходит для использования в построении ансамбля, а их признаки будут дополнять прогноз друг друга.

После получения подтверждения релевантности использованного нами метода появилась возможность проверить, насколько результаты классификации моделей последовательны и надежны, а не обусловлены результатом случайных или нестабильных особенностей конкретной выборки данных. Для этого был применен бутстрэппинг метрик [22], являющийся статистическим методом, который используется для оценки вариабельности и надёжности показателей путём повторного выборочного моделирования с возвращением. В нашем исследовании бутстрэппинг применялся для оценки стабильности метрик Accuracy, Precision, Recall, F1-Score и ROC-AUC для XGBoost, TabNet и их ансамбля.

Для каждой модели было создано множество бутстрэппинговых выборок из тестовой выборки путём случайного отбора примеров с возвращением (16):

$$\text{Выборка}_b = \text{Resample}(X_{test}, Y_{test}), \quad (16)$$

где b – множество бутстрэппинговых выборок;

X_{test} – матрица признаков тестовой выборки;

Y_{test} – вектор истинных меток классов для тестовой выборки.

Далее для каждой бутстрэппинговой выборки рассчитываются изучаемые метрики (17–21):

$$\text{Accuracy}_b = \frac{\text{Количество правильных предсказаний}}{\text{Общее количество предсказаний}}, \quad (17)$$

$$\text{Precision}_b = \frac{\text{True Positives}}{\text{True Positives} + \text{False Positives}}, \quad (18)$$

$$\text{Recall}_b = \frac{\text{True Positives}}{\text{True Positives} + \text{False Negatives}}, \quad (19)$$

$$\text{F1-Score}_b = 2 \times \frac{\text{Precision}_b \times \text{Recall}_b}{\text{Precision}_b + \text{Recall}_b}, \quad (20)$$

$$\text{ROC-AUC}_b = \text{Area Under the ROC Curve for } b - 1 \text{ выборки.} \quad (21)$$

Всего было создано 1000 меток бутстрэппинга (т. е. процесс бутстрэппинга повторялся **1000** раз, создавая распределение метрик для каждой модели). Для каждой метрики был рассчитан 95% доверительный интервал (22):

$$CI_{95\%}(\theta) = [\theta_{2.5\%}, \theta_{97.5\%}], \quad (22)$$

где $CI_{95\%}$ – **95% доверительный интервал** для метрики θ ;

$[\theta_{2.5\%}, \theta_{97.5\%}]$ – нижняя и верхняя граница доверительного интервала.

Для получения полной картины также было необходимо рассчитать средние значения метрик (23):

$$\hat{\theta} = \frac{1}{N} \sum_{b=1}^N \theta_b, \quad (23)$$

где $\hat{\theta}$ – это **среднее значение метрики $\hat{\theta}$** по всем бутстрэппинговым выборкам;

$\frac{1}{N} \sum_{b=1}^N \theta_b$ – **суммирование** всех значений метрики $\hat{\theta}$ из N бутстрэппинговых выборок и деление суммы на N для получения **среднего арифметического**.

В результате были получены следующие данные (табл. 5).

Таблица 5 – Результаты бутстрэппинга метрик

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	ROC-AUC
XGBoost (среднее)	93,65 %	94,51 %	93,65 %	93,56 %	95,89 %
XGBoost (дов. интервал)	от 93,48 % до 93,82 %	от 94,36 % до 94,66 %	от 93,48 % до 93,82 %	от 93,39 % до 93,73 %	от 95,77 % до 96,03 %
TabNet (среднее)	91,71 %	92,42 %	91,71 %	91,40 %	94,99 %
TabNet (дов. интервал)	от 91,53 % до 91,89 %	от 92,16 % до 92,72 %	от 91,53 % до 91,89 %	от 91,21 % до 91,58 %	от 94,86 % до 95,12 %
Ансамбль (среднее)	93,58 %	94,18 %	93,58 %	93,50 %	95,52 %
Ансамбль (дов. интервал)	от 93,41 % до 93,74 %	от 94,02 % до 94,34 %	от 93,41 % до 93,74 %	от 93,33 % до 93,67 %	от 95,38 % до 95,66 %

Все три модели демонстрируют **низкую вариабельность** метрик, что подтверждается **узкими доверительными интервалами**. Это свидетельствует о **достаточной стабильности и надежности** их производительности при различных бутстрэппинговых выборках данных и подтверждает релевантность полученных в таблице 4 данных. При этом можно отметить, что **XGBoost** демонстрирует **наивысшие средние значения** по всем метрикам с **узкими доверительными интервалами**, а **TabNet** – несколько более **низкие средние значения**, но также обладает **хорошей вариабельностью**. **Ансамблевый метод (XGBoost + TabNet)** показал значения, приближенные (но немного более низкие) к **XGBoost**.

Для более глубокого анализа полученных результатов были более детально исследованы результаты классификации двух моделей, показавших наилучший результат, – XGBoost и ансамбля (XGBoost + TabNet) для каждого отдельно класса (табл. 6). При детальном сравнении результатов видна четкая зависимость, указывающая, что XBoost показал лучший результат в обнаружении классов, представленных широкой выборкой, когда ансамблевый метод более достоверно детектировал редкие классы.

Таблица 6 – Сравнение XBoost и ансамблевого метода для каждого класса (в графе Qty. указано количество объектов для каждого класса, которое равняется 20 % от общего объема датасета)

Name (class)	Qty.	Precision		Recall		F1-Score	
		XGB	Ens.	XGB	Ens.	XGB	Ens.
Benign	71666	1,00	1,00	0,98	0,98	0,99	0,99
Analysis	77	0,24	0,32	0,09	0,38	0,13	0,32
Backdoor	90	0,76	0,77	0,44	0,46	0,58	0,59
DoS	894	0,76	0,64	0,14	0,22	0,23	0,33
Exploits	6190	0,77	0,77	0,77	0,76	0,77	0,77
Fuzzers	5923	0,61	0,60	0,92	0,92	0,75	0,73
Generic	927	0,85	0,78	0,63	0,67	0,72	0,72
Reconnaissance	3347	0,91	0,90	0,67	0,66	0,76	0,76
Shellcode	420	0,54	0,48	0,19	0,22	0,28	0,31
Worms	49	0,67	0,74	0,29	0,29	0,40	0,41

Несмотря на небольшие объемы данных для классов Analysis, Backdoor, Shellcode и Worms ансамбль показал лучший результат, чем XGBoost. При этом для классов с большим количеством образцов ансамбль показывает равный или слегка уступающий результат. Данные показатели могут быть связаны с тем, что TabNet, дополняя прогноз XGBoost в ансамблевой связке, концентрирует внимание на более редких классах, что несколько снижает точность для классификации более распространенных.

ПРОВЕРКА УСТОЙЧИВОСТИ

Данные, представленные в датасете CIC UNSW-NB15 Augmented, являются эталонными и не искажены какими-либо артефактами. На практике же часто встречаются ситуации, когда полученные данные по сетевой активности поступают в несколько искаженном виде (битый трафик, ошибки, программные и/или аппаратные сбои). В этой связи возникла необходимость провести дополнительное тестирование производительности выбранных моделей при добавлении шума в данные и метки классов. Данный шаг позволил оценить, насколько каждая из моделей способна сохранять высокую производительность в условиях искаженных или зашумленных данных. Для реализации данной задачи был выбран метод добавления гауссовского шума [23] из-за его способности имитировать ошибки аннотации или случайных сбоев в процессах маркировки данных. Шум добавлялся к каждому признаку независимо, что обеспечило равномерное распределение искажений по всему набору данных. Формула для добавления гауссовского шума выглядит следующим образом (24):

$$X_{noisy} = X + N(\mu, \sigma^2), \tag{24}$$

где X – исходные признаки;

$N(\mu, \sigma^2)$ – гауссовский шум с средним μ и дисперсией σ^2 .

Значения применимых искажений составили: 1 %, 5 %, 10 %, 15 % и 20 % помех для всех трёх выбранных моделей соответственно. Механизм изменения меток: случайный выбор альтернативного класса для заданной доли примеров. Для добавления каждого уровня шума выполнялись следующие шаги:

1. Определялось количество примеров для изменений (25):

$$n_{noisy} = p + n_{sample}, \tag{25}$$

где p – уровень шума;

n_{sample} – общее количество примеров в тестовой выборке.

2. Проводился случайный выбор индексов для изменения меток (26):

$$noisy_indices = random_selection(n_{noisy}, n_{sample}). \tag{26}$$

3. Велось изменение меток на случайные альтернативные классы (27):

$$y_{noisy}[i] = random_class(y_{noisy}[i]) \tag{27}$$

для каждого i из $noisy_indices$.

В результате были получены следующие показатели (табл. 7).

Таблица 7 – Результаты оценки моделей при разных уровнях шума

Model	Noise Level	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	ROC-AUC
XGBoost	0,01	0,8152	0,7774	0,8152	0,7761	0,7007
	0,05	0,7749	0,7132	0,7749	0,7201	0,6584
	0,1	0,7344	0,6498	0,7344	0,6646	0,6291
	0,15	0,6951	0,5886	0,6951	0,6122	0,6096
	0,2	0,6552	0,5327	0,6552	0,5587	0,5912
TabNet	0,01	0,6478	0,8067	0,6478	0,7051	0,7556
	0,05	0,6183	0,7343	0,6183	0,6587	0,7051
	0,1	0,5849	0,6626	0,5849	0,6101	0,6664
	0,15	0,5551	0,5993	0,5551	0,5654	0,6396
	0,2	0,5257	0,5376	0,5257	0,5210	0,6185
Ensemble	0,01	0,8090	0,7972	0,8090	0,7824	0,7559
	0,05	0,7698	0,7287	0,7698	0,7265	0,7031
	0,1	0,7297	0,6606	0,7297	0,6705	0,6653
	0,15	0,6910	0,6053	0,6910	0,6184	0,6389
	0,2	0,6505	0,5401	0,6505	0,5641	0,6159

Из полученных данных можно сделать выводы:

1. **TabNet** показывает наибольшую чувствительность к добавлению шума, особенно на уровнях 10 %, 15 % и 20 %. Несмотря на это, он показал лучшие результаты на низких уровнях шума по метрике ROC-AUC, что говорит о его способности хорошо различать классы при слабом уровне помех.

2. **XGBoost** и **Ансамбль (XGBoost + TabNet)** демонстрируют более высокие значения метрик по сравнению с **TabNet** на всех уровнях шума (за исключением результатов, описанных в п. 1).

3. **Ансамбль (XGBoost + TabNet)** сочетает в себе преимущества обеих моделей, демонстрируя устойчивость к шуму, близкую к **XGBoost**, но с некоторыми преимуществами в **ROC-AUC**.

Можно сделать вывод, что **Ансамбль (XGBoost+TabNet)** показал **наилучшие результаты, демонстрируя способность** сохранять высокую производительность в условиях искажённых или зашумлённых данных. При этом явно заметно, что он унаследовал как общую устойчивость модели **XGBoost**, так и способности хорошо различать классы при слабом уровне искажений (0,01 и 0,05) от TabNet.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ансамблевый метод градиентного бустинга и механизма последовательного внимания не продемонстрировал прироста общих показателей в задачах по классификации вредоносной сетевой активности (по сравнению с самостоятельным применением градиентного бустинга). При этом ансамблевый метод показал лучшие результаты при классификации редких классов. Улучшение точности классификации редких классов имеет большое значение в кибербезопасности, поскольку такие классы часто соответствуют новым или редко встречающимся атакам. Кроме того, ансамблевый метод показал наилучшие результаты при классификации данных в условиях искажения.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Ансамблевый метод (**XGBoost+TabNet**) **может применяться с большей эффективностью, чем самостоятельные методы в задачах классификации редких типов кибератак.**
2. В задачах классификации признаков, представленных большим объёмом обучающей выборки, применение данного ансамбля менее продуктивно, чем самостоятельное применение модели **XGBoost**.
3. Обучение ансамбля весьма затратная по ресурсам процедура и целесообразность данного шага должна оцениваться индивидуально для каждой организации.
4. Применение ансамбля даёт лучший результат по сравнению с самостоятельными моделями, если встречаются зашумлённые или искажённые данные.

Список источников

1. Safaei Pour, M. A Comprehensive Survey of Recent Internet Measurement Techniques for Cyber Security / M. Safaei Pour, C. Nader, K. Friday, E. Bou-Harb // *Computers & Security*. – 2023. – Vol. 128. – P. 103123. – DOI: 10.1016/j.cose.2023.103123.
2. Al, R. F. Survey on Cyber Security for Industrial Control Systems / R. F. Al, A. Muneer, P. D. D. Dominic, E. A. A. Ghaleb, A. Al-Ashmori // *Proceedings of the 2021 International Conference on Data Analytics for Business and Industry (ICDABI)*. – 2021. – DOI: 10.1109/ICDABI53623.2021.9655902.
3. Wu, G. Class-Boundary Alignment for Imbalanced Dataset Learning / G. Wu, E. Chang // *Computer Science, Mathematics*. – 2003.
4. Yin, C. A Deep Learning Approach for Intrusion Detection Using Recurrent Neural Networks / C. Yin, Y. Zhu, J. Fei, X. He // *IEEE Access*. – 2017. – Vol. 5. – DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2762418.
5. Natekin, A. Gradient Boosting Machines, A Tutorial / A. Natekin, A. Knoll // *Frontiers in Neurobotics*. – 2013. – Vol. 7. – P. 21. – DOI: 10.3389/fnbot.2013.00021.
6. Fan, Z. Research on network intrusion detection based on XGBoost algorithm and multiple machine learning algorithms / Z. Fan, Z. You // *Theoretical and Natural Science*. – 2024. – Vol. 31, № 1. – P. 162–167. – DOI: 10.54254/2753-8818/31/20241171.
7. Vaswani, A. Attention Is All You Need / A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, L. Kaiser, I. Polosukhin // *arXiv:1706.03762v7*. – 2023. – DOI: 10.48550/arXiv.1706.03762v7.
8. Mienye, D. I. A Survey of Ensemble Learning: Concepts, Algorithms, Applications, and Prospects / D. I. Mienye, Y. Sun // *IEEE Access*. – 2022. – P. (99):1–1. – DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3207287.
9. Chen, T. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System / T. Chen, C. Guestrin // *arXiv:1603.02754*. – 2016. – DOI: 10.48550/arXiv.1603.02754.
10. Arik, S. O. TabNet: Attentive Interpretable Tabular Learning / S. O. Arik, T. Pfister // *arXiv:1908.07442*. – 2020. – DOI: 10.48550/arXiv.1908.07442.
11. Zhang, C. Ensemble Machine Learning: Methods and Applications / C. Zhang, Y. Ma. – 2012.
12. Mohammadian, H. Poisoning and Evasion: Deep Learning-Based NIDS under Adversarial Attacks / H. Mohammadian, A. H. Lashkari, A. Ghorbani // *21st Annual International Conference on Privacy, Security and Trust (PST)*. – 2024.
13. Moustafa, N. UNSW-NB15: a comprehensive data set for network intrusion detection systems (UNSW-NB15 network data set) / N. Moustafa, J. Slay // *Military Communications and Information Systems Conference (MilCIS)*. IEEE. – 2015.
14. Boukerche, A. Outlier Detection: Methods, Models, and Classification / A. Boukerche, L. Zheng, O. Alfandi // *ACM Computing Surveys (CSUR)*. – 2020. – Vol. 53, № 3. – Article No. 55. – P. 1–37. – DOI: 10.1145/3381028.
15. Samuels, J. A. One-Hot Encoding and Two-Hot Encoding: An Introduction / J. A. Samuels. – 2024. – DOI: 10.13140/RG.2.2.21459.76327.
16. Raju, V. N. G. Study the Influence of Normalization / Transformation process on the Accuracy of Supervised Classification / V. N. G. Raju, K. P. Lakshmi, V. M. Jain, A. Kalidindi, V. Padma // *2020 Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology*. – 2020. – DOI: 10.1109/ICSSIT48917.2020.9214160.
17. Ruder, S. An overview of gradient descent optimization algorithms / S. Ruder // *arXiv:1609.04747*. – 2017. – DOI: 10.48550/arXiv.1609.04747.
18. He, H. Learning from Imbalanced Data / H. He, E. A. Garcia // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. – 2009. – Vol. 21, № 9. – DOI: 10.1109/TKDE.2008.239.
19. Ting, K. M. Issues in Stacked Generalization / K. M. Ting, I. H. Witten // *Journal of Artificial Intelligence Research*. – 1999. – Vol. 10, P. 271–289. – DOI: 10.1613/jair.594.

20. Yu, T. Hyper-Parameter Optimization: A Review of Algorithms and Applications / T. Yu, H. Zhu // arXiv:2003.05689. – 2020. – DOI: 10.48550/arXiv.2003.05689.
21. Chen, T. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System / T. Chen, C. Guestrin // arXiv:1603.02754. – 2016. – DOI: 10.1145/2939672.2939785.
22. McPherron, S. P. Machine learning, bootstrapping, null models, and why we are still not 100% sure which bone surface modifications were made by crocodiles / S. P. McPherron, W. Archer, E. R. Otárola-Castillo, M. G. Torquato, T. L. Keevil // *Journal of Human Evolution*. – 2022. – Vol. 164. – P. 103071. – DOI: 10.1016/j.jhevol.2021.103071.
23. Camuto, A. Explicit Regularisation in Gaussian Noise Injections / A. Camuto, M. Willetts, U. Şimşekli, S. Roberts, C. Holmes // *Advances in Neural Information Processing Systems 34 (NeurIPS 2020)*. – 2020. – DOI: 10.48550/arXiv.2007.07368.

References

1. Safaei Pour, M., Nader, C., Friday, K., Bou-Harb, E. A Comprehensive Survey of Recent Internet Measurement Techniques for Cyber Security. *Computers & Security*, 2023, vol. 128, p. 103123. DOI: 10.1016/j.cose.2023.103123.
2. Al, R. F., Muneer, A., Dominic, P. D. D., Ghaleb, E. A. A., Al-Ashmori, A. Survey on Cyber Security for Industrial Control Systems. *Proceedings of the 2021 International Conference on Data Analytics for Business and Industry (ICDABI)*, 2021. DOI: 10.1109/ICDABI53623.2021.9655902.
3. Wu, G., Chang, E. Class-Boundary Alignment for Imbalanced Dataset Learning. *Computer Science, Mathematics*, 2003.
4. Yin, C., Zhu, Y., Fei, J., He, X. A Deep Learning Approach for Intrusion Detection Using Recurrent Neural Networks. *IEEE Access*, 2017, vol. 5. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2762418.
5. Natekin, A., Knoll, A. Gradient Boosting Machines, A Tutorial. *Frontiers in Neurobotics*, 2013, vol. 7, p. 21. DOI: 10.3389/fnbot.2013.00021.
6. Fan, Z., You, Z. Research on network intrusion detection based on XGBoost algorithm and multiple machine learning algorithms. *Theoretical and Natural Science*, 2024, vol. 31, no. 1, pp. 162–167. DOI: 10.54254/2753-8818/31/20241171.
7. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., Polosukhin, I. Attention Is All You Need. *arXiv:1706.03762v7*, 2023. DOI: 10.48550/arXiv.1706.03762v7.
8. Mienye, D. I., Sun Y. A Survey of Ensemble Learning: Concepts, Algorithms, Applications, and Prospects. *IEEE Access*, 2022, pp. (99):1–1. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3207287.
9. Chen, T., Guestrin, C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *arXiv:1603.02754*, 2016. DOI: 10.48550/arXiv.1603.02754.
10. Arik, S. O., Pfister, T. TabNet: Attentive Interpretable Tabular Learning. *arXiv:1908.07442*, 2020. DOI: 10.48550/arXiv.1908.07442.
11. Zhang, C., Ma, Y. *Ensemble Machine Learning: Methods and Applications*, 2012.
12. Mohammadian, H., Lashkari, A. H., Ghorbani, A. Poisoning and Evasion: Deep Learning-Based NIDS under Adversarial Attacks. *21st Annual International Conference on Privacy, Security and Trust (PST)*, 2024.
13. Moustafa, N., Slay, J. UNSW-NB15: a comprehensive data set for network intrusion detection systems (UNSW-NB15 network data set). *Military Communications and Information Systems Conference (MilCIS)*. *IEEE*, 2015.
14. Boukerche, A., Zheng, L., Alfandi, O. Outlier Detection: Methods, Models, and Classification. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 2020. vol. 53. no. 3, article no. 55, pp. 1–37. DOI: 10.1145/3381028.
15. Samuels, J. A. *One-Hot Encoding and Two-Hot Encoding: An Introduction*, 2024. DOI: 10.13140/RG.2.2.21459.76327.
16. Raju, V. N. G., Lakshmi, K. P., Jain, V. M., Kalidindi, A., Padma, V. Study the Influence of Normalization/Transformation process on the Accuracy of Supervised Classification. *2020 Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology*, 2020. DOI: 10.1109/ICSSIT48917.2020.9214160.
17. Ruder, S. An overview of gradient descent optimization algorithms. *arXiv:1609.04747*, 2017. DOI: 10.48550/arXiv.1609.04747.
18. He, H., Garcia, E. A. Learning from Imbalanced Data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2009, vol. 21, no. 9. DOI: 10.1109/TKDE.2008.239.
19. Ting, K. M., Witten, I. H. Issues in Stacked Generalization. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 1999, vol. 10. pp. 271–289. DOI: 10.1613/jair.594.
20. Yu, T., Zhu, H. Hyper-Parameter Optimization: A Review of Algorithms and Applications. *arXiv:2003.05689*, 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2003.05689.
21. Chen, T., Guestrin, C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *arXiv:1603.02754*, 2016. DOI: 10.1145/2939672.2939785.
22. McPherron, S. P., Archer, W., Otárola-Castillo, E. R., Torquato, M. G., Keevil, T. L. Machine learning, bootstrapping, null models, and why we are still not 100% sure which bone surface modifications were made by crocodiles. *Journal of Human Evolution*, 2022, vol. 164, p. 103071. DOI: 10.1016/j.jhevol.2021.103071.
23. Camuto, A., Willetts, M., Şimşekli, U., Roberts, S., Holmes, C. Explicit Regularisation in Gaussian Noise Injections. *Advances in Neural Information Processing Systems 34 (NeurIPS 2020)*, 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2007.07368.

Статья поступила в редакцию 03.02.2025; одобрена после рецензирования 28.02.2025; принята к публикации 03.03.2025.

The article was submitted 03.02.2025; approved after reviewing 28.02.2025; accepted for publication 03.03.2025.

УДК 004.056

**ТРЕБОВАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ
К СРЕДСТВАМ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ**

Лапин Виталий Геннадьевич, Ставропольский краевой клинический консультативно-диагностический центр, 355000, Российская Федерация, г. Ставрополь, ул. Ленина, 304,

начальник отдела АСУ, ORCID: 0000-0002-0611-7002, e-mail: vitlx@yandex.ru

Кеньков Егор Александрович, Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1,

студент кафедры вычислительной математики и кибернетики, ORCID: 0009-0005-3078-1412, e-mail: kenkov2045@yandex.ru

Лапина Мария Анатольевна, Северо-Кавказский Федеральный университет, 355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1,

доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики, ORCID: 0000-0001-8117-9142, e-mail: mlapina@ncfu.ru

Кужева Диана Арсеновна, Северо-Кавказский Федеральный университет, 355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1,

аспирант кафедры вычислительной математики и кибернетики, ORCID: 0009-0004-4360-854X, e-mail: kenkov2045@gmail.com

В статье рассматриваются актуальные вопросы обеспечения соблюдения требований по безопасности информации к средствам контейнеризации. Основное внимание уделено анализу требований по безопасности информации к средствам контейнеризации, установленных приказом ФСТЭК России от 4 июля 2022 г. № 118. В работе подробно рассмотрены ключевые аспекты, такие как изоляция контейнеров, выявление уязвимостей в образах, контроль целостности и регистрация событий безопасности. Особое внимание уделено операционной системе Astra Linux Special Edition, которая соответствует требованиям ФСТЭК и предоставляет встроенные инструменты для обеспечения безопасности контейнеров, такие как OpenSCAP и AFICK. Также в статье предложены практические рекомендации по настройке Docker-контейнеров для минимизации рисков, включая ограничение ресурсов (памяти и процессора), запуск контейнеров под не root пользователем и использование непривилегированного режима. Приведен пример безопасной конфигурации Docker-контейнера на основе образа Debian. Результаты исследования демонстрируют, что соблюдение требований ФСТЭК и правильная настройка контейнеров значительно снижают поверхность атаки и повышают уровень защиты данных в распределенных системах.

Ключевые слова: контейнеризация, docker, безопасность информации, Astra Linux, ФСТЭК, изоляция контейнеров, регистрация событий, непривилегированный режим, ограничение ресурсов, уязвимости контейнеров

INFORMATION SECURITY REQUIREMENTS FOR CONTAINERIZATION MEANS

Lapin Vitaly G., Stavropol Regional Clinical Consulting and Diagnostic Center, 304 Lenin St., Stavropol, 355000, Russian Federation,

Head of the Automated Control System Department, ORCID: 0000-0002-0611-7002, e-mail: vitlx@yandex.ru

Kenkov Egor A., North Caucasus Federal University, 1 Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation,

student of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, ORCID: 0009-0005-3078-1412, e-mail: kenkov2045@yandex.ru

Lapina Maria A., North Caucasus Federal University, 1 Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation,

Associate Professor of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, ORCID: 0000-0001-8117-9142, e-mail: mlapina@ncfu.ru

Kuzheva Diana A., North Caucasus Federal University, 1 Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation,

graduate student of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, ORCID: 0009-0004-4360-854X, e-mail: kenkov2045@gmail.com

The article discusses current issues of ensuring compliance with information security requirements for containerization tools. The main focus is on the analysis of information security requirements for containerization tools established by the order of the FSTEC of Russia dated July 4, 2022 No. 118. The work examines in detail key aspects such as container isolation, identifying vulnerabilities in images, integrity control and logging security events. Particular attention is paid to the Astra Linux Special Edition operating system, which meets FSTEC requirements and provides built-in tools for ensuring container security, such as OpenSCAP and AFICK. The article also offers practical recommendations for configuring Docker containers to minimize risks, including limiting resources (memory and processor),

running containers as a non-root user and using unprivileged mode. An example of a secure configuration of a Docker container based on a Debian image is given. The results of the study demonstrate that compliance with FSTEC requirements and proper configuration of containers significantly reduce the attack surface and increase the level of data protection in distributed systems.

Keywords: containerization, docker, information security, Astra Linux, FSTEC, container isolation, event logging, unprivileged mode, resource limitation, container vulnerabilities

ВВЕДЕНИЕ

Современные распределенные вычислительные системы активно используют технологии виртуализации и контейнеризации для повышения эффективности и гибкости развертывания приложений. Однако с ростом популярности контейнеризации возрастают и риски, связанные с безопасностью данных. В связи с этим особое внимание уделяется разработке и внедрению мер, обеспечивающих защиту информации в контейнерах. В данной статье рассматриваются требования по безопасности информации к средствам контейнеризации, установленные приказом ФСТЭК России, а также практические аспекты настройки Docker-контейнеров для минимизации рисков.

ТРЕБОВАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ К СРЕДСТВАМ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ

Требования по безопасности информации к средствам контейнеризации устанавливает приказ ФСТЭК России от 4 июля 2022 г. № 118. В приказе для разграничения требований безопасности к средствам контейнеризации устанавливается шесть классов защиты, где шестой класс – самый низкий, первый класс – самый высокий.

Обязательный перечень требований по безопасности информации включает в себя требования, предъявляемые к:

- уровню доверия средства контейнеризации;
- хостовой операционной системе, в среде которой функционирует средство контейнеризации;
- составу функций безопасности средства контейнеризации;
- изоляции контейнеров средством контейнеризации;
- выявлению уязвимостей в образах контейнеров;
- проверке корректности конфигурации контейнеров;
- контролю целостности контейнеров и их образов в средстве контейнеризации;
- регистрации событий безопасности в средстве контейнеризации.

Также есть дополнительные требования по безопасности информации, предъявляемые к:

- управлению доступом в средстве контейнеризации;
- идентификации и аутентификации пользователей в средстве контейнеризации;
- централизованному управлению образами контейнеров и контейнерами в средстве контейнеризации.

Одним из требований является развертывание контейнера на сертифицированной хостовой операционной системе, которая соответствует Требованиям в области технического регулирования к продукции, используемой в целях защиты сведений, составляющих государственную тайну или относимых к охраняемой в соответствии с законодательством Российской Федерации иной информации ограниченного доступа, утвержденным Приказом ФСТЭК России от 19 августа 2016 г. № 119, и Требованиям по безопасности информации, устанавливающим уровни доверия к средствам технической защиты информации и средствам обеспечения безопасности информационных технологий, утвержденным Приказом ФСТЭК России от 2 июня 2020 г. № 76 [1].

В список данных ОС можно включить Astra Linux Special Edition, Ред ОС. Но в этой главе мы рассмотрим данные требования на примере ОС Astra Linux Special Edition.

ИЗОЛЯЦИЯ КОНТЕЙНЕРОВ СРЕДСТВОМ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ

В 9 пункте описаны требования к изоляции контейнеров средством контейнеризации. То есть пространства идентификаторов процессов контейнеров, имен для межпроцессного взаимодействия контейнеров, имен для пользователей и групп контейнеров, имен хостов и доменов контейнеров, имен контейнеров и имен для иерархии каталогов контейнеров должны быть изолированы по отношению к ОС и иным контейнерам.

Данное требование выполняется средствами LXC. LXC – это средства для изоляции контейнеров на уровне операционной системы, которая жидется не на использовании виртуальных машин, а на создании собственного виртуального окружения с собственным пространством имён и идентификаторов процессов контейнера. В основе данного средства изоляции LXC лежит технология cgroups, которая входит в состав ядра Linux.

CGROUPS (CLONE_NEWCGROUP) – технология для изоляции контрольных групп, которая позволяет контейнерам иметь свои собственные настройки и ограничения по использованию ресурсов. То есть `sgroups` ограничивает и изолирует вычислительные ресурсы для групп процессов [2].

ВЫЯВЛЕНИЕ УЯЗВИМОСТЕЙ В ОБРАЗАХ КОНТЕЙНЕРОВ

В пункте 10 описаны требования к выявлению уязвимостей в образах контейнеров. Средство контейнеризации при создании, использовании и хранении образа контейнера должно находить известные уязвимости, которые содержатся в банке данных угроз безопасности информации ФСТЭК России, а также в других источниках, в которых содержится информация об актуальных угрозах и уязвимостях.

Для выполнения данного требования можно использовать встроенное средство операционной системы Astra Linux под названием OpenSCAP, которое обеспечивает поиск уязвимостей в образах контейнеров, т. е. осуществляет поиск уязвимостей, содержащихся в банке данных угроз безопасности информации ФСТЭК России [3].

ПРОВЕРКА КОРРЕКТНОСТИ КОНФИГУРАЦИИ КОНТЕЙНЕРОВ В СРЕДСТВЕ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ

В 11 разделе приказа от ФСТЭК предъявляются требования к проверке корректности конфигурации контейнеров в средстве контейнеризации. В нём говорится, что средство контейнеризации обязано выполнять требования по ограничению прав для программного обеспечения, которое развёрнуто внутри контейнеров, на использование периферийных устройств, устройств хранения данных и съёмных машинных носителей информации, на использование вычислительных ресурсов хостовой операционной системы. А также средство контейнеризации обязано обеспечивать монтирование корневой файловой системы хостовой операционной системы в режиме «только для чтения».

Данные требования выполняются встроенными средствами Docker. Для этого не нужно использовать привилегированный режим при запуске контейнера, также не нужно использовать флаг `device`, который позволяет получить доступ к устройствам хранения данных и съёмным машинным носителям информации. А также при монтировании корневой файловой системы хостовой операционной системы необходимо указывать параметр `ro`, который предоставляет права на корневую файловую систему только для чтения.

КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ КОНТЕЙНЕРОВ И ИХ ОБРАЗОВ

В 12 пункте предъявляются требования к контролю целостности контейнеров и их образов в средстве контейнеризации. В Astra Linux есть сертифицированное средство контроля целостности AFICK, которое входит в состав операционной системы и выполняет требование контроля целостности контейнеров и их образов. Данное средство работает и выполняет периодическую проверку целостности при помощи системного планировщика `cron`.

Также в ОС работает демон, который обрабатывает входящие от `syslog-ng` события безопасности и выполняет действия, которые задаются администратором безопасности средства виртуализации. Действия выполняются при помощи модуля `KNotifications`. Сам же демон реагирует только на события, на которые он был заранее настроен и сигнализирует об этом определённому пользователю.

Администратор средств виртуализации так же получает уведомления о событиях безопасности при помощи центра уведомлений `fly-notifications`.

Чтобы контролировать целостность сведений о событиях безопасности, используется файл журнала безопасности, который находится в `/parsec/log/astra/events`, и на него установлен атрибут `chattr +a`, что позволяет его только читать и делать записи в конец данного файла, без возможности иных изменений. Также файл логов защищён от изменений средствами МКЦ, т. е. сам файл с событиями, каталог, в котором он расположен, и процесс `syslog-ng-mod-astra`, который осуществляет запись, имеют высокую метку целостности.

Говоря о целостности образов контейнеров и параметров настройки средства контейнеризации при установке образа контейнера, мы знаем, что они обеспечиваются применением технологии цифровой подписи.

То есть для начала мы получаем ID контейнера, в основе которого и лежит образ, целостность которого нам необходимо обеспечить. После происходит подпись файла конфигурации данного образа, добавление имени файла конфигурации в файл `/etc/digsig/xattr_control`, обновление списка образов, целостность которых обеспечивается исходя из списка в файле `xattr_control`. Далее происходит перезагрузка системы.

И теперь, если целостность образа контейнера нарушена, то запуск данного образа блокируется.

РЕГИСТРАЦИЯ СОБЫТИЙ БЕЗОПАСНОСТИ, СВЯЗАННЫХ С КОНТЕЙНЕРАМИ

В 13 пункте предъявляются требования к регистрации событий безопасности в средстве контейнеризации. Данное требование осуществляется встроенными средствами ОС Astra Linux Special Edition. Регистрации подлежат как минимум следующие события безопасности:

- неуспешные попытки аутентификации пользователей средства контейнеризации;

- создание, модификация и удаление образов контейнеров;
- получение доступа к образам контейнеров;
- запуск и остановка контейнеров с указанием причины остановки;
- изменение ролевой модели;
- модификация запускаемых контейнеров.

Часть данных событий, связанная с неуспешными попытками аутентификации и изменением ролевой модели, записывается в журнал, который находится в `/var/log/astra/events`. Управлять регистрацией событий безопасности возможно при помощи настройки регистрации системных событий `fly-admin-events`. Службы `auditd` и `syslog-ng-mod-astra` занимаются сбором, обработкой, записью и хранением событий безопасности.

События, связанные с созданием, удалением, модификацией, получением доступа к образам контейнеров, запуском и остановкой контейнеров, регистрируются средствами Docker – демоном `dockerd`. Но важно учесть, что `dockerd` должен быть запущен с параметром `DOCKER_OPTS="-D"`, что, в свою очередь, включает режим отладки, т. е. «debug»-режим.

Также утилита `fly-notifications` оповещает администратора безопасности средств контейнеризации о событиях безопасности.

РОЛЕВОЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ

В 14 пункте предъявляются требования к реализации ролевого метода управления доступом с тремя ролями пользователей:

- разработчик образов контейнеров;
- администратор безопасности средства контейнеризации;
- администратор информационной (автоматизированной) системы.

Данное требование не является обязательным и реализуется администратором информационной системы и администратором безопасности до запуска средства контейнеризации на хостовой операционной системе. Администраторы могут создать в хостовой операционной системе пользователей под каждую роль и назначить им соответствующие права.

Разработчик образов контейнеров может только создавать, изменять и удалять образы. Администратор безопасности средства контейнеризации занимается запуском и остановкой контейнеров. Администратор информационной (автоматизированной) системы может создавать и управлять учетными записями пользователей, читать журнал событий безопасности средства контейнеризации и формировать отчёты о событиях безопасности и выгрузку журнала событий безопасности.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И АУТЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

В 15 пункте предъявляются требования к идентификации и аутентификации пользователей в средстве контейнеризации. Данное требование также реализовано в ОС Astra Linux Special Edition.

Администратор безопасности производит первую идентификацию пользователя. Сама же идентификация и аутентификация реализована по требованиям разделов ГОСТ Р 58833-2020 «Защита информации. Идентификация и аутентификация. Общие положения» [4]. Пароль пользователя устанавливает администратор при помощи графической утилиты `fly-admin-smc`. Аутентификационная информация хранится с использованием хэш-функции, с учётом требований ГОСТ Р 34.11-94 и ГОСТ Р 34.11-2012. Также утилита `unshare` устанавливает запрет на запуск средствами контейнеризации процессов в хостовой ОС, которые обладают правами администратора информационной системы и администратора безопасности ИС.

БЕЗОПАСНОСТЬ DOCKER-КОНТЕЙНЕРОВ

Главой ранее был рассмотрен приказ ФСТЭК России от 4 июля 2022 г. № 118, которой устанавливает требования по безопасности информации к средствам контейнеризации. А именно в 11 разделе приказа устанавливаются требования к корректности конфигурации контейнеров в средстве контейнеризации. И чтобы понять, для чего же эти требования применимы к средствам контейнеризации, стоит на явных примерах рассмотреть необходимость выполнения данных требований. А также посмотреть на возможные последствия отказа от выполнения требований.

Поэтому в данной главе мы рассмотрим, что может произойти с хостовой операционной системой, а также с сетью, в которой она находится, если пренебрегать исполнением требований к корректности конфигурации контейнеров в средстве контейнеризации.

ПРИВИЛЕГИРОВАННЫЙ РЕЖИМ DOCKER

Как уже ранее упоминалось в 11 разделе приказа ФСТЭК России от 4 июля 2022 г. № 118, средство контейнеризации должно соответствовать требованию ограничения прав прикладного программного обеспечения, выполняемого внутри контейнера, на использование вычислительных ресурсов хостовой операционной системы.

Для того чтобы данное требование было реализовано в системе, в которой используется средство контейнеризации, мы в первую очередь можем отказаться от использования привилегированного режима Docker при запуске контейнера. Ведь именно запуск Docker-контейнера в привилегированном режиме открывает лазейки для использования вычислительных ресурсов хостовой операционной системы, что как раз-таки и позволяет злоумышленникам получать доступ к информации, хранящейся на хостовой операционной системе, повышение привилегий в операционной системе, а также и сам контроль над данной операционной системой.

А теперь рассмотрим, чем может быть опасно использование привилегированного режима Docker для хостовой операционной системы и для сети, в которой находится данный хост, при запуске контейнеров.

Доступ к контейнеру злоумышленник сможет получить, например, при помощи открытых портов 2375 и 2376 по протоколу TCP [5]. Данные порты предназначены в Docker для удаленного доступа к управлению контейнерами. По умолчанию они закрыты, но администратор контейнеризации может открыть их для управления средствами контейнеризации.

Привилегированный режим контейнера Docker позволяет злоумышленнику получить контроль над хостовой операционной системой посредством монтирования хостовой операционной системы в контейнер, что позволяет получить доступ к файлам на операционной системе под root пользователем. А имея доступ к файлам на операционной системе под root-пользователем, злоумышленник может изменить настройки подключения по ssh у root-пользователя и получить доступ к командной строке под root-пользователем. Далее при помощи пакета nmap злоумышленник может сканировать локальную сеть, что поможет ему собрать информацию о локальной сети и использовать её в своих целях.

Также есть вероятность, что злоумышленник сможет получить доступ к вашему контейнеру.

ОГРАНИЧЕНИЕ РЕСУРСОВ И ПРАВ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ КОНТЕЙНЕРУ

Использование контейнера в непривилегированном режиме всё же не решает до конца проблему ограничения прав прикладного программного обеспечения, выполняемого внутри контейнера, на использование вычислительных ресурсов хостовой операционной системы.

Одним из важных этапов запуска Docker-контейнера является наложение ограничений на использование ресурсов хостовой операционной системы. И поэтому при запуске Docker-контейнера в его конфигурации должны быть строго прописаны ограничения по использованию памяти и ресурсов центрального процессора хоста [6].

ОГРАНИЧЕНИЕ РЕСУРСОВ ПАМЯТИ

Для наложения ограничений на использование памяти мы можем использовать следующие параметры запуска:

1. Установить максимальное значение объема памяти, который может быть использован контейнером Docker можно при помощи флага `-m` или `-memory` [7]. При этом минимальным значением, которое можно установить в этот параметр, является 6 мегабайт.

Этот параметр необходимо использовать для ограничения памяти, потребляемой Docker-контейнером. Иначе при получении злоумышленником доступа к контейнеру с неограниченным лимитом используемой памяти может произойти атака, направленная на переполнение буфера.

2. Установить максимальное значение объема памяти, используемого для подкачки на диск хостовой системы можно, применяя флаг `--memory-swap`. Данный параметр указывается только в том случае, если был указан параметр `memory`, иначе он не имеет никакого значения, и не будет никак интерпретирован.

Данный параметр будет полезен в том случае, если вы сомневаетесь, что контейнеру хватит той памяти, которую вы выделили ему при помощи параметра `memory`. Но стоит заметить, что использование памяти для подкачки снижает производительность приложения.

Сам же параметр `memory-swap` может принимать несколько допустимых значений:

- если значение параметра больше нуля, то для подкачки будет использовано именно то значение, которое указано в данном параметре, за исключением значения параметра `memory`. Размер памяти для подкачки вычисляется как разность значений параметров `memory-swap` и `memory`, именно поэтому значение параметра `memory-swap` должно быть больше значения параметра `memory`;

- если значение параметра равно нулю, то данный параметр игнорируется;

- если значение параметра равно значению параметра `memory`, то у контейнера нет доступа к памяти для подкачки;

- если параметр `memory-swap` не задан, но параметр `memory` задан, то значение параметра `memory-swap` приравнивается к значению параметра `memory`. То есть в общей сложности контейнером используется в два раза больше памяти, чем указано в параметре `memory`. Именно поэтому, если контейнеру необходимо много памяти, то стоит задавать и параметр `memory-swap`;

– если значение параметра равно -1 , то контейнер может использовать неограниченный объём памяти подкачки, он даже может задействовать абсолютно всю память хостовой системы.

3. Установить мягкое ограничение на использование пользовательской памяти контейнера можно при помощи флага `--memory-reservation`.

Данный параметр может работать в комбинации с параметром `memory`. И если оба эти параметра были задействованы, то значение параметра `memory-reservation` должно быть меньше значения параметра `memory`, так как данный параметр не ограничивает использование памяти контейнером, а заставляет его как можно быстрее снизить уровень потребляемой памяти до указанного в параметре `memory-reservation` объёма, в случае превышения этого значения.

4. Установить максимальный объём памяти ядра, который может использоваться контейнером можно при помощи флага `--kernel-memory`. При этом допустимым минимальным значением является значение, равное 6 мегабайтам.

Отличие памяти ядра от обычной памяти, предоставляемой контейнеру, состоит в том, что её нельзя выгрузить в файл подкачки.

Если контейнеру не задавать ограничение на максимальный объём памяти ядра, то можно столкнуться с такой проблемой, как блокировка ресурсов хостовой операционной системы, т. е. ядро начнёт забирать всю доступную память из системы, что может привести к «голоданию» всех других контейнеров на этом сервере. Это случается, когда у контейнера нет определённых границ по памяти ядра. Если же максимальный объём памяти ядра установлен, то это не даёт контейнеру, которому не хватает памяти ядра, влиять на другие контейнеры, работающие на хостовой системе.

При уже существующем ограничении пользовательской памяти контейнера у нас может быть несколько вариантов событий настройки памяти ядра:

– если значение параметра памяти ядра больше, чем значение параметра пользовательской памяти контейнера, то в таком случае при нехватке памяти ядра мы будем получать ошибку OOM (Out of Memory), что будет нам говорить о том, что память ядра дошла до предела. Это происходит потому, что память ядра является составляющей пользовательской памяти контейнера, а это означает, что она не может получить больше памяти, чем та, которая была выделена для контейнера при помощи параметра `memory`;

– если значение параметра памяти ядра меньше, чем значение параметра пользовательской памяти контейнера, то нехватка памяти ядра не будет приводить к ошибке. Но стоит помнить, что память ядра – это и есть часть пользовательской памяти контейнера.

5. Изменить поведение контейнера в случае превышения допустимого объёма максимально допустимой памяти с помощью флага `--oom-kill-disable`.

Данный параметр позволяет не останавливать контейнер и все процессы в нем при получении ошибки нехватки памяти OOM (Out of Memory).

Но не рекомендуется использовать данный параметр в контейнерах, в которых не настроен параметр `memory`. Так как в случае, если закончится память на хосте, но ошибки не последует, то ядро может завершить процессы хостовой операционной системы, чтобы освободить память.

ОГРАНИЧЕНИЕ РЕСУРСОВ ПРОЦЕССОРА

Изначально, при запуске контейнера, ресурсы процессора не ограничены для Docker-контейнеров, что может являться отличной лазейкой для злоумышленника, который хочет попытаться навредить вашей хостовой операционной системе, просто перетянув на себя все ресурсы процессора хостовой операционной системы, что повлияет на работу других программ.

Для наложения ограничений на использование ресурсов процессора мы можем настроить CFS-планировщик. CFS-планировщик – это планировщик для процессов центрального процессора ядра Linux. При настройке данного планировщика изменяются параметры `cgroup`-контейнера на хостовой операционной системе. И для настройки мы будем использовать следующие параметры запуска:

1. Установка ограничений на использование центрального процессора контейнером производится с помощью параметра `--cpu`. Если на вашей хостовой системе 1 центральный процессор, то в целях ограничения использования контейнером процессора вы можете установить значение данного параметра в 0,5, что эквивалентно использованию ресурсов центрального процессора (ЦП) не более чем на 50 %.

По умолчанию значение параметра равно 0, что означает отсутствие ограничений на использование ЦП.

2. Установить ограничение на использование ЦП можно также и при помощи двух других флагов: `--cpu-period` и `--cpu-quota`. Первый отвечает за период использования ЦП и по умолчанию равен 100000 микросекунд. Второй отвечает за максимальное количество доступных ресурсов ЦП в период, указанный в параметре `cpu-period`.

То есть для того чтобы ограничить использование ресурсов ЦП контейнером на 50 %, мы можем записать значение 50000 в параметр `cru-quota`, а также установить значение 100000 в параметр `cru-period`.

3. Установить, какой именно процессор следует использовать контейнеру, можно с помощью параметра `--cru-set-cpus`. Нумерация процессоров начинается с нулевого индекса. А контейнеру можно предоставить доступ даже к нескольким процессорам на выбор одновременно.

Данный параметр полезен, если мы сами вручную решаем разделять, какие процессоры должны быть использованы определёнными Docker-контейнерами.

ОГРАНИЧЕНИЕ ПРАВ DOCKER-КОНТЕЙНЕРА

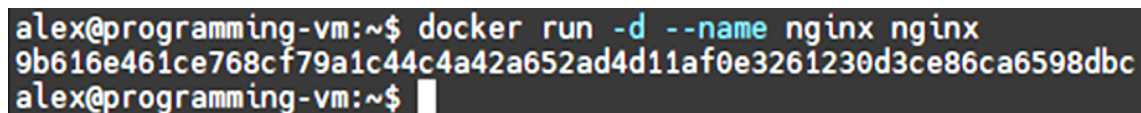
Одной из значительных уязвимостей Docker-контейнеров является запуск контейнера Docker под `root`-пользователем. Контейнеры Docker по умолчанию запускаются с `root`-пользователем во главе. К чему это может привести? А к тому, что пользователь `root` внутри контейнера имеет те же права, что и пользователь `root` на хостовой операционной системе. И это является одной из самых актуальных лазеек для злоумышленников, ведь существует достаточно способов выбраться из Docker-контейнера в хостовую операционную систему, если получить права `root`-пользователя внутри Docker-контейнера.

Именно поэтому первым шагом к ограничению прав Docker-контейнера должен стать запуск контейнеров Docker не под `root`-пользователями.

Для начала стоит продемонстрировать, что при обычном запуске контейнера контейнер запускается с `root`-пользователем внутри по умолчанию. Для этого запустим контейнер на основе образа `web-сервера Nginx` [8] последней версии и выведем `id` контейнера на экран (рис. 1).

Запуск контейнера будем производить командой:

```
docker run -d --name nginx nginx
```

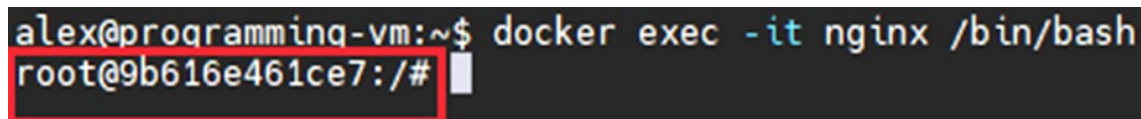


```
alex@programming-vm:~$ docker run -d --name nginx nginx
9b616e461ce768cf79a1c44c4a42a652ad4d11af0e3261230d3ce86ca6598dbc
alex@programming-vm:~$
```

Рисунок 1 – Запуск контейнера под `root`-пользователем

Запустив контейнер, мы можем осуществить вход в командную оболочку контейнера `bash` (рис. 2) при помощи команды:

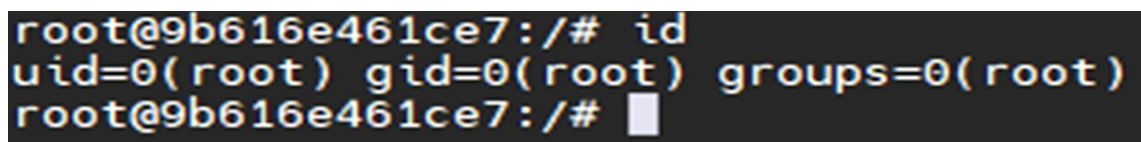
```
docker exec -it nginx /bin/bash
```



```
alex@programming-vm:~$ docker exec -it nginx /bin/bash
root@9b616e461ce7:/#
```

Рисунок 2 – Оболочка Docker-контейнера на основе образа `Nginx`

Посмотрим на результат команды `id`, которая покажет `UID` и `GID` пользователя, под которым мы авторизовались (рис. 3).



```
root@9b616e461ce7:/# id
uid=0(root) gid=0(root) groups=0(root)
root@9b616e461ce7:/#
```

Рисунок 3 – Результат команды `id`

`UID` и `GID` пользователя равны 0, что означает, что это `root`-пользователь.

Как мы видим, зайдя в командную оболочку контейнера, мы сразу заходим под `root`-пользователем, что уже является потенциальной угрозой для хостовой операционной системы.

Исправить это можно несколькими способами:

- создать свой образ на основе необходимого для приложения образа (в нашем случае это образ `web-сервера Nginx`) при помощи `Dockerfile` и запускать контейнер на основе нашего нового образа;

- запустить контейнер от имени нового пользователя при помощи флага `--user`.

Чтобы реализовать первый способ, нам нужно создать файл `Dockerfile` [9] на основе образа `Nginx` или же любого другого образа, главное, чтобы там была оболочка командной строки `bash` или `sh`, и записать в него следующие строки:

```
FROM nginx
RUN useradd -u 8877 nonroot
USER nonroot
```

В этих строках мы указываем, на основании какого образа мы будем создавать свой кастомный образ, после создаем пользователя с именем nonroot с UID 8877 и устанавливаем данного пользователя основным при запуске контейнера на основе данного образа.

Сохраняем данный файл и, находясь в той же директории, в которой находится файл Dockerfile, собираем [10] собственный образ с именем nonrootuser на основе данного файла при помощи команды: **docker build -t nonrootuser**.

После успешной сборки образа произведём запуск контейнера на основе данного образа (рис. 4).

```
alex@programming-vm:~$ docker run -it nonrootuser /bin/bash
nonroot@7626aa1f07a6:/$
```

Рисунок 4 – Запуск контейнера на основе образа nonrootuser

Теперь проверим при помощи команды `id`, под каким пользователем запустился данный Docker-контейнер (рис. 5).

```
nonroot@7626aa1f07a6:/$ id
uid=8877(nonroot) gid=8877(nonroot) groups=8877(nonroot)
nonroot@b2bba1t0/ab:/$
```

Рисунок 5 – Результат команды `id`

Контейнер был запущен под созданным нами в файле Dockerfile пользователем nonroot.

Для реализации второго способа достаточно указать имя или UID пользователя, под которым будет запущен Docker-контейнер, в команде запуска контейнера под флагом `--user` или `-u`. Примером может послужить следующая команда:

```
docker run -d --name nginx --user nonroot nginx
```

Данная команда запускает контейнер уже под существующим пользователем в контейнере. Если данный пользователь не был создан в нём заранее вами или же разработчиками образа, то данная команда выдаст ошибку.

Но запуск контейнера под не root-пользователем – это не единственный способ ограничить права, предоставляемые Docker контейнеру. Ещё одними из важных параметров при запуске контейнера могут послужить такие параметры, как `--cap-drop` и `--cap-add`.

Данные параметры позволяют запрещать и разрешать выполнение существующих capabilities (привилегий) для Docker-контейнера. Capabilities – это средства, которые позволяют управлять привилегиями в ОС Linux, т. е. данные средства предоставляют привилегии root-пользователя процессам или исполняемым файлам.

Эти оба параметра можно использовать одновременно при запуске Docker-контейнера. Например, мы можем запретить все привилегии для контейнера и разрешить только те, которые необходимы для работы контейнера.

Реализуем запуск контейнера на основе образа Nginx, запретим ему все привилегии и разрешим пользоваться только привилегией CHOWN, которая предоставляет права на изменение GID и UID файлов:

```
docker run --cap-drop=all --cap-add=CHOWN -d nginx
```

Для базового образа Nginx достаточно привилегии CHOWN, но если попытаться запустить контейнер без данной привилегии, то мы получим ошибку (рис. 6).

```
kenkov@debian12:~$ docker run -it --name nginx --cap-drop=all nginx
/docker-entrypoint.sh: /docker-entrypoint.d/ is not empty, will attempt to perform configuration
/docker-entrypoint.sh: Looking for shell scripts in /docker-entrypoint.d/
/docker-entrypoint.sh: Launching /docker-entrypoint.d/10-listen-on-ipv6-by-default.sh
10-listen-on-ipv6-by-default.sh: info: Getting the checksum of /etc/nginx/conf.d/default.conf
10-listen-on-ipv6-by-default.sh: info: Enabled listen on IPv6 in /etc/nginx/conf.d/default.conf
/docker-entrypoint.sh: Sourcing /docker-entrypoint.d/15-local-resolvers.envsh
/docker-entrypoint.sh: Launching /docker-entrypoint.d/20-envsubst-on-templates.sh
/docker-entrypoint.sh: Launching /docker-entrypoint.d/30-tune-worker-processes.sh
/docker-entrypoint.sh: Configuration complete; ready for start up
2025/01/12 09:37:42 [emerg] 1#1: chown("/var/cache/nginx/client_temp", 101) failed (1: Operation not permitted)
nginx: [emerg] chown("/var/cache/nginx/client_temp", 101) failed (1: Operation not permitted)
```

Рисунок 6 – Ошибка из-за отсутствия привилегии CHOWN для Docker-контейнера на основе образа Nginx

БЕЗОПАСНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ DOCKER-КОНТЕЙНЕРА

В прошлой главе были рассмотрены параметры, необходимые для безопасной конфигурации Docker. И поэтому в этой главе мы составим конфигурацию для Docker-контейнера на основе образа операционной системы Debian и рассмотрим, почему были выбраны данные параметры запуска Docker-контейнера.

РАЗРАБОТКА КОНФИГУРАЦИИ

Изначально мы создадим файл Dockerfile, в котором создадим нового пользователя под именем container_user. Данный Dockerfile необходим нам, чтобы создать собственный образ на основании образа операционной системы Debian и запустить контейнер под не root-пользователем. Наш файл Dockerfile будет выглядеть следующим образом:

```
FROM debian:latest
RUN useradd -u 12345 container_user
RUN mkdir /app
WORKDIR /app
USER container_user
```

Также в данном файле мы создали и сделали рабочей директорию /app. Это необходимо в том случае, если в Docker-контейнере будет работать приложение, у которого директории могут совпадать с названиями корневых директорий операционной системы Debian. По умолчанию рабочей директорией является корневая директория операционной системы.

Далее, находясь в одной директории с файлом Dockerfile, мы соберем наш новый образ при помощи команды:

```
docker build -t custom_debian .
```

После успешного создания образа мы можем приступить к созданию контейнера на основе нового образа custom_debian.

Конфигурация для Docker-контейнера на операционной системе Debian с хостовой машиной, составляющими компонентами которой являются 1 процессор и 10 гигабайт оперативной памяти, будет выглядеть следующим образом:

```
docker run \
-it --name container_app --user container_user \
--memory 2g \
--memory-swap 3g \
--memory-reservation 1.5g \
--kernel-memory 512m \
--oom-kill-disable \
--cpus=0.7 \
custom_debian
```

Так как внутри данного контейнера нет никакой программы, которая бы делала какие-либо действия, то мы используем флаг `-it`, что запускает контейнер в интерактивном режиме, и мы сразу попадаем в его командную оболочку и не даём остановиться ему, пока мы находимся в контейнере. Иначе бы мы использовали флаг `-d`, вместо флага `-it`, что запустило бы контейнер в фоновом режиме, а мы бы остались в командной оболочке хостовой операционной системы.

Данный контейнер работает под пользователем container_user, у которого нет прав root-пользователя. Контейнеру было выделено 2 гигабайта пользовательской памяти, из которой 512 мегабайт отводится для процессорной памяти. Ещё один гигабайт зарезервирован для памяти подкачки. А значением оптимального объёма памяти является 1,5 гигабайта. Также при достижении максимального объёма пользовательской памяти наш контейнер не будет останавливаться и останавливать приложение, работающее в нём. И ограничены ресурсы процессора в 0,7 раза от максимально доступных ресурсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены требования по безопасности информации к средствам контейнеризации, установленные приказом ФСТЭК России, а также предложены практические рекомендации по настройке Docker-контейнеров для минимизации рисков. Использование непривилегированного режима, ограничение ресурсов и прав контейнеров, а также контроль целостности и регистрация событий безопасности являются ключевыми мерами для обеспечения безопасности в распределённых вычислительных системах.

Список источников

1. Приказ ФСТЭК России от 4 июля 2022 г. № 118 «Требования по безопасности информации к средствам контейнеризации».
2. manpages.debian.org. – URL: <https://manpages.debian.org/unstable/manpages/cgroups.7.en.html> (дата обращения: 20.02.2025).
3. Операционная система специального назначения «Astra Linux Special Edition». – 2024. – № 194. – URL: https://vasilisc.com/files/manual-astra-linux-1-8/Ruk_KSZ_1.pdf.
4. ГОСТ Р 58833-2020. Защита информации. Идентификация и аутентификация. Общие положения // Гарант. – URL: <https://base.garant.ru/74374978/> (дата обращения: 21.02.2025).

5. docs.docker.com. – URL: <https://docs.docker.com/engine/daemon/remote-access/#configuring-remote-access-with-systemd-unit-file> (дата обращения: 22.02.2025).
6. docs.docker.com. – URL: https://docs.docker.com/engine/containers/resource_constraints/ (дата обращения: 23.02.2025).
7. Nickoloff, J. Docker in Action / J. Nickoloff, S. Kuenzli. – 2nd ed. – Manning Publications, 2019. – № 127. – URL: <https://alek772.github.io/Books/Docker%20in%20Action%20Second%20Edition.pdf>.
8. docs.docker.com. – URL: <https://docs.docker.com/engine/containers/run/> (дата обращения: 24.02.2025).
9. docs.docker.com. – URL: <https://docs.docker.com/reference/dockerfile/> (дата обращения: 25.02.2025).
10. docs.docker.com. – URL: <https://docs.docker.com/reference/cli/docker/buildx/build/> (дата обращения: 26.02.2025).

References

1. *Order of the FSTEC of Russia dated July 4, 2022 no. 118 "Information security requirements for containerization tools"* (In Russ.).
2. *manpages.debian.org*. Available at: <https://manpages.debian.org/unstable/manpages/cgroups.7.en.html> (accessed 20.02.2025).
3. *Special-purpose operating system "Astra Linux Special Edition"*, 2024, no. 194. Available at: https://vasilisc.com/files/manual-astra-linux-1-8/Ruk_KSZ_1.pdf (In Russ.).
4. GOST R 58833-2020. Information security. Identification and authentication. General provisions. *Garant*. Available at: <https://base.garant.ru/74374978/> (accessed 21.02.2025) (In Russ.).
5. docs.docker.com. Available at: <https://docs.docker.com/engine/daemon/remote-access/#configuring-remote-access-with-systemd-unit-file> (accessed 22.02.2025).
6. docs.docker.com. Available at: https://docs.docker.com/engine/containers/resource_constraints/ (accessed 23.02.2025).
7. Nickoloff, J., Kuenzli, S. *Docker in Action*. 2nd ed. Manning Publications, 2019, no. 127. Available at: <https://alek772.github.io/Books/Docker%20in%20Action%20Second%20Edition.pdf>.
8. docs.docker.com. Available at: <https://docs.docker.com/engine/containers/run/> (accessed 24.02.2025).
9. docs.docker.com. Available at: <https://docs.docker.com/reference/dockerfile/> (accessed 25.02.2025).
10. docs.docker.com. Available at: <https://docs.docker.com/reference/cli/docker/buildx/build/> (accessed 26.02.2025).

Статья поступила в редакцию 29.01.2025; одобрена после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 04.03.2025.

The article was submitted 29.01.2025; approved after reviewing 26.02.2025; accepted for publication 04.03.2025.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КОМПЛЕКС ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Зеленский Илья Сергеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400074, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, аспирант, ORCID 0000-0001-6057-4549, e-mail: timkaa525@yandex.ru

Финогеев Антон Алексеевич, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, кандидат технических наук, доцент, ORCID 0000-0001-8280-1474, e-mail: fanton3@ya.ru

Ляпунов Андрей Андреевич, Волгоградский государственный технический университет, 400074, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, студент, ORCID 0009-0004-9294-7484, e-mail: anbrej.inkvizitor@gmail.com

Голубева Ольга Олеговна, Волгоградский государственный технический университет, 400074, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, студент, ORCID 0009-0000-1707-2762, e-mail: olga.564789123@gmail.com

Парыгин Данила Сергеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400074, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, кандидат технических наук, доцент, ORCID 0000-0001-8834-5748, e-mail: dparygin@gmail.com

В настоящей статье рассмотрен вопрос моделирования климатических воздействий на объекты городской среды. Пиковые воздействия и резкие изменения климата в городских условиях могут приводить к различным неблагоприятным эффектам, представляющим риски для здоровья, благополучия и жизни населения. Для раннего прогнозирования и эффективного решения задач подобного прогнозирования уже разработаны различные подходы, позволяющие предугадывать влияние тех или иных природных воздействий на городскую среду. Одним из подходов прогнозирования являются, в частности, методы имитационного моделирования. Задачи подобного моделирования возникают регулярно, однако чаще всего возникают они в отношении отдельно стоящих сооружений, в частности высотных зданий. Настоящая статья концентрирует своё внимание на исследовании и компьютерном имитационном моделировании климатических воздействий, а именно ветровой нагрузки, на комплексы городских сооружений: кварталы, микрорайоны и т. п. В результате экспериментов на цифровом двойнике комплекса застройки учебного кампуса Института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета были получены данные, указывающие на возможность создания серьёзной ветровой нагрузки во внутреннем дворе кампуса, что повлекло принятие соответствующих управленческих решений.

Ключевые слова: городская застройка, климатические воздействия, ветровое давление, динамическое давление, поверхностный коэффициент, ветровая нагрузка, турбулентность, моделирование

Благодарности: Авторы выражают благодарность коллегам по лаборатории городских вычислений UCLab и кафедре «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве» Института архитектуры и строительства ВолгГТУ, принимавшим участие в разработке проекта. Отдельная благодарность выражается Карпуловой Полине Андреевне за ценные идеи, позволившие усовершенствовать представление результатов исследования.

Финансирование: исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда и Администрации Волгоградской области № 22-11-20024, <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>. Результаты части «Создание цифрового двойника комплекса зданий» получены в рамках гранта Российского научного фонда, проект № 20-71-10087.

MODELING OF CLIMATIC IMPACTS ON A COMPLEX OF URBAN ENVIRONMENT OBJECTS

Zelenskiy Ilya S., Volgograd State Technical University, 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, graduate student, ORCID 0000-0001-6057-4549, e-mail: timkaa525@yandex.ru

Finogeev Anton A., Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor, ORCID 0000-0001-8280-1474, e-mail: fanton3@ya.ru

Lyapunov Andrey A., Volgograd State Technical University, 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, student, ORCID 0009-0004-9294-7484, e-mail: anbrej.inkvizitor@gmail.com

Golubeva Olga O., Volgograd State Technical University, 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, student, ORCID 0009-0000-1707-2762, e-mail: olga.564789123@gmail.com

Parygin Danila S., Volgograd State Technical University, 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor, ORCID 0000-0001-8834-5748, e-mail: dparygin@gmail.com

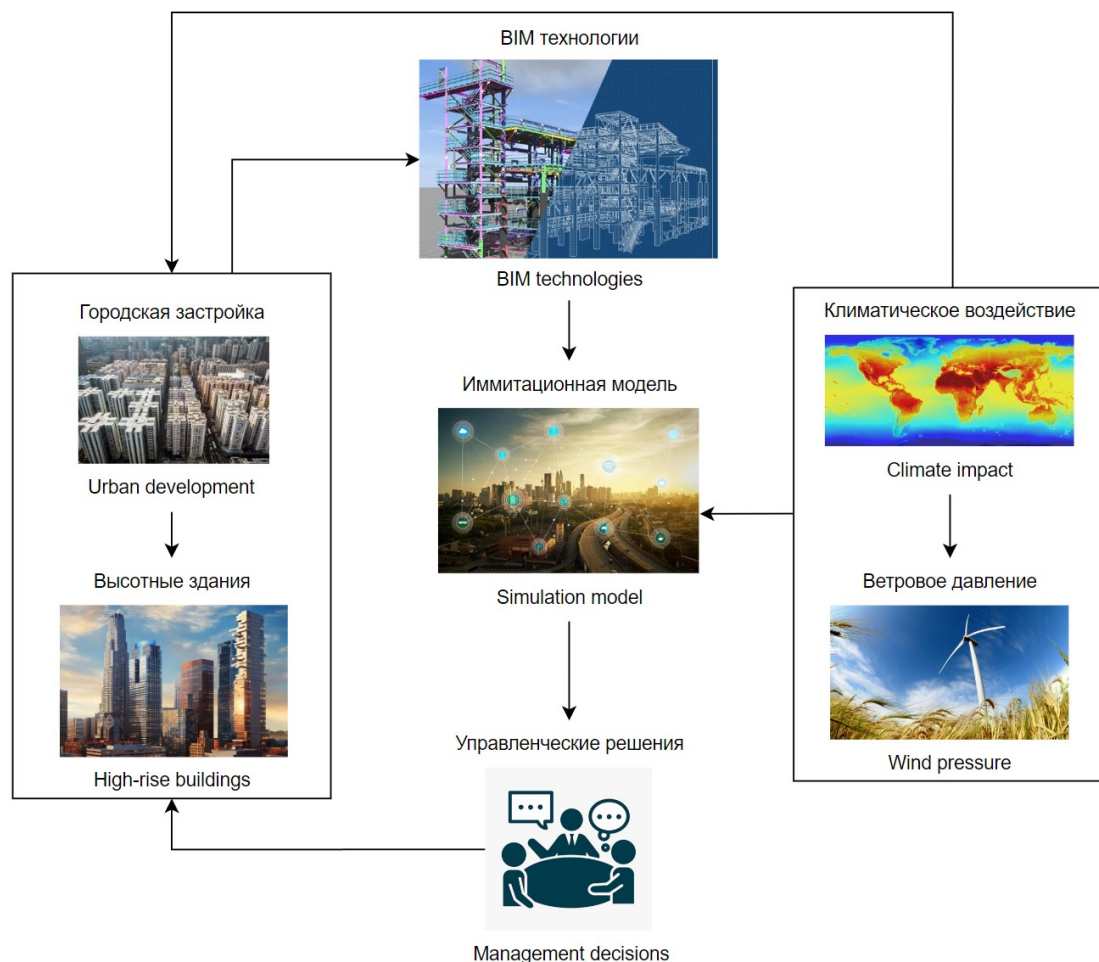
The issue of modeling climate impacts on urban environmental objects is discussed. Peak exposures and abrupt climate changes in urban environments can lead to a variety of adverse effects that pose risks to public health and well-being. Various approaches which are able to predict the impact of certain natural impacts on the urban environment have already been developed for early prediction and effective solution of such problems. One of the prediction approaches is, in particular, simulation methods. Problems of such modeling arise regularly, but most often they arise in relation to free-standing structures, in particular high-rise buildings. However, in urban environments, buildings and structures are, one way or another, combined into complexes. City blocks, microdistricts, etc can serve as examples of such complexes. This work focuses on the study and computer modeling of climatic impacts, and specifically wind loads, on such complexes of urban structures. As a result of experiments on a digital twin of the Volgograd State Technical University (Institute of Architecture and Civil Engineering) educational campus urban structures complex, data were obtained indicating the possibility of creating a serious wind load in the inner courtyard of the campus, which led to making appropriate management decisions.

Keywords: urban buildings, climate impacts, wind pressure, dynamic pressure, surface coefficient, wind load, turbulence, modeling

Acknowledgments: the authors express are grateful to their colleagues from the Urban Computing Laboratory (UCLab) and the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering of Volgograd State Technical University (Institute of Architecture and Construction), who took part in this project's development. Special thanks to Polina Andreevna Karaulova for valuable ideas that allowed us to improve the research results presentation.

Financial support: the study was supported by the Russian Science Foundation and Volgograd Region Administration grant no. 22-11-20024, <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>. The results of «Digital twin creation for a complex of buildings» section were obtained within the framework of a Russian Science Foundation grant, project no. 20-71-10087.

Graphical annotation (Графическая аннотация)



ВВЕДЕНИЕ

Воздействия климата на городскую среду становятся всё более актуальной проблемой. Города особенно уязвимы к подобным воздействиям из-за высокой концентрации населения, инфраструктуры и экономической деятельности в относительно небольших географических районах. Пиковые воздействия и резкие изменения климата в условиях городской среды могут приводить к различным неблагоприятным последствиям, включая наводнения, тепловые удары, повреждения инфраструктуры, создание угрозы и/или повышение рисков для здоровья населения и т. д. [1].

Наглядной иллюстрацией климатических воздействий может послужить инцидент с «танцующим» мостом в городе Волгограде [2]. При обследовании моста после инцидента не было обнаружено повреждений даже в дорожном и лакокрасочном покрытии конструкций. Детальные же исследования подтвердили версию непредусмотренного проектом климатического воздействия на мост в виде ветрового резонанса. Причиной произошедшего была признана недостаточная изученность специфики места возведения объекта [2].

Для заблаговременного предсказания и эффективного решения подобных проблем уже сейчас разработаны различные подходы, способные предсказывать влияние тех или иных природных воздействий на городскую среду. Одними из таких методов являются, в частности, методы имитационного моделирования [3]. Чтобы дать подробную картину последствий для различных городских объектов, модели могут включать различные факторы, такие как топография, типы зданий, транспортная инфраструктура и модели землепользования.

Настоящее исследование проводится в рамках изучения подходов к информационному моделированию городской среды для поддержки задач комплексного развития территорий на основе разработки цифровых моделей отдельных объектов и/или участков городского пространства. В рамках комплексного развития городских территорий приходится работать как с новыми, так и с уже существующими объектами, для которых подобное моделирование до сих пор не проводилось, но у которых могут присутствовать специфические проблемы, требующие внимания и изучения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках настоящего исследования климатическое воздействие на городскую среду было решено рассмотреть на примере ветра. Традиционно задача расчёта ветровой нагрузки может решаться с использованием уже упомянутых методов имитационного моделирования [3]: аэродинамических формул, изложенных в строительных нормах и правилах (СНиП 2.01.07-85) [4], либо изготовлением модели исследуемого сооружения и продува её в аэродинамической трубе. Однако расчёт с помощью формул СНиП является неточным. Кроме того, в СНиП даны формулы для ограниченного числа форм зданий и сооружений и отсутствуют формулы для расчёта нагрузки на здания в составе застройки. При продуве в аэродинамической трубе имеются ограничения на размеры продуваемого объекта и на скорость потока. Также применение данного метода требует значительных материальных затрат. Аналитическое же решение для определения ветровых нагрузок на сегодняшний день найдено лишь для простейших гидродинамических задач, но не для общего случая.

Задача моделирования ветрового воздействия встречается на практике достаточно регулярно [5, 6] как применительно к отдельным зданиям и сооружениям в целом [7, 8, 9], так и к их специфическим элементам [10, 11, 12], а исследованию данного вопроса посвящено немало книг и статей [13, 14, 15]. Однако в городских условиях здания и сооружения так или иначе объединены в комплексы. Примером такого комплекса могут служить городские кварталы. Такое объединение приводит к взаимному влиянию элементов комплекса друг на друга. Например, одно здание в комплексе может прикрывать другое от излишне экстремальных ветровых нагрузок [16]. Моделирование сложных взаимодействий между ветром и объектами городской среды имеет решающее значение при разработке эффективных стратегий адаптации и смягчения последствий, которые могут помочь городам подготовиться к последствиям погодных явлений [17].

В связи с чем была поставлена задача по проведению экспериментальной апробации метода моделирования ветровой нагрузки на комплекс городских зданий и сооружений. В качестве базы для эксперимента был выбран кампус Института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета [18]. Данный комплекс зданий представляет собой полноценный городской квартал, застроенный зданиями и сооружениями разных периодов (присутствует как малоэтажный корпус дореволюционной постройки, так и относительно новые многоэтажные корпуса, внутренний двор с многолетними деревьями и т. д.). В рамках данного комплекса из-за специфики его застройки сложились такие же специфические климатические, в частности, ветровые условия.

В качестве прикладной цели моделирования было выбрано исследование потенциальных ветровых воздействий на внутренний двор кампуса и находящиеся там объекты, например, уже ранее упомянутые многолетние деревья.

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА КОМПЛЕКСА ЗДАНИЙ

Одной из подзадач исследования стало создание цифрового двойника исследуемого комплекса зданий. В рамках исследования в качестве цифрового двойника было решено использовать 3D-модель кампуса собственной разработки. Основы построения такой модели сводятся к проекту информационной модели здания (Building Information Model, BIM), что включает в себя сбор как документальных сведений об объекте-оригинале, т. е. чертежей кампуса, так и «фактической» информации, получаемой при личном посещении, с последующим подробным воссозданием кампуса и прилегающей территории средствами 3D-редакторов [19]. Инструментами моделирования в рамках исследования стали Blender [20] и Unity [21], а впоследствии созданная модель в упрощённом виде была

перенесена в программу tinkercad [22] для её более удобного импорта в систему моделирования ветра. На рисунках 1–3 показаны различные элементы созданной 3D-модели кампуса. Из-за специфики прикладной части исследования особое внимание было уделено воссозданию внутреннего двора кампуса, что можно наглядно наблюдать на рисунке 3.



Рисунок 1 – Общий вид кампуса



Рисунок 2 – Учебный корпус дореволюционной постройки

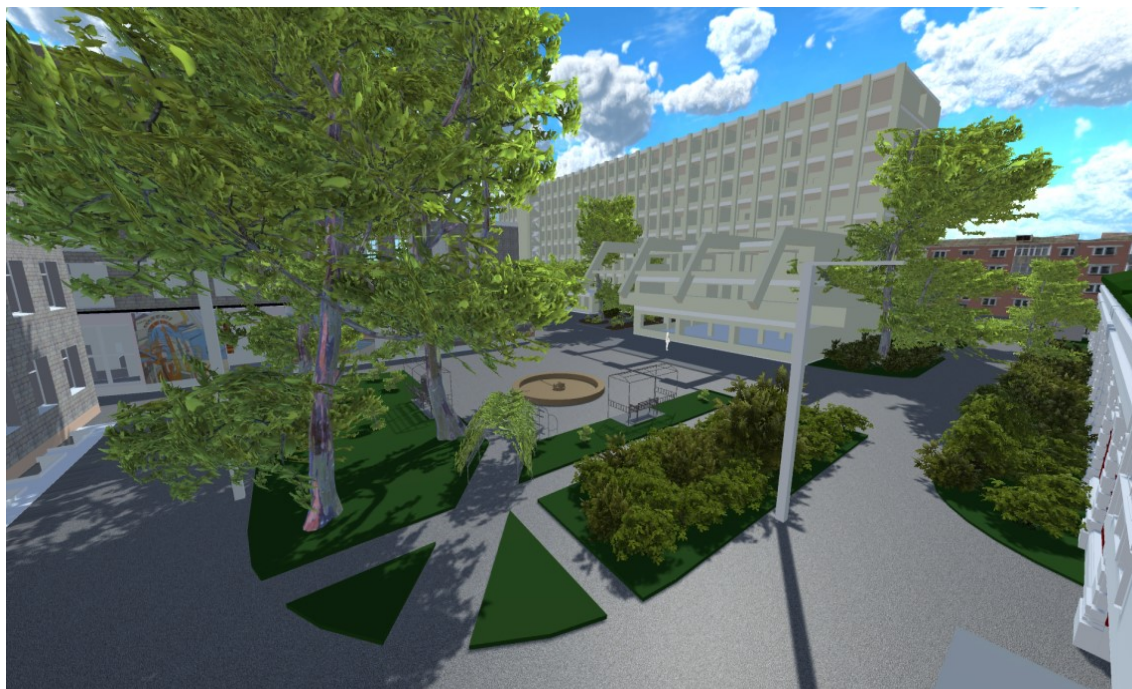


Рисунок 3 – Внутренний двор кампуса

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ КОМПЛЕКСА ЗДАНИЙ

Чтобы смоделировать влияние ветра, была использована программа RWIND [23]. RWIND позволяет вычислять различные параметры, связанные с воздействием ветра на объекты, а также визуализировать движение ветровых потоков в заданных условиях [23].

Описанный в предыдущем разделе статьи цифровой двойник кампуса был обработан программой tinkercard [22], после чего импортирован в проект RWIND для проведения моделирования. Были установлены различные скорости и направления ветра относительно кампуса. По результатам серии симуляций получены визуальные отображения ветровой нагрузки и движения ветровых потоков на территории исследуемого комплекса зданий. Моделирование производилось на вычислительном комплексе высокой производительности, внедренном на кафедре цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве ВолгГТУ в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

На рисунке 4 представлена визуализация ветрового давления на поверхность зданий при скорости ветра 30 м/с (ураганный ветер) и направлении под 35 градусов к кампусу. Желтые, оранжевые и красные области на рисунке соответствуют сжимающей нагрузке и её степени, зелёные – отсутствию нагрузки, голубые и синие – всасывающей нагрузке.

На рисунке 5 представлена визуализация движения ветровых потоков и их скоростей при общей скорости ветра в 10 м/с (обычный сильный ветер) и направлении под 90 градусов к кампусу. Как видно из рисунков, при таком направлении ветра один из корпусов кампуса хорошо закрывает внутренний двор (скорость потоков во внутреннем дворе порядка 2–4 м/с).

Однако при более сильном ветре под углом 35 градусов к кварталу кампуса ветровая картина во внутреннем дворе уже перестаёт быть благоприятной, что можно наблюдать на рисунке 6.

На рисунке 7 можно наблюдать протекание турбулентных явлений во внутреннем дворе кампуса даже при обычном сильном ветре (10 м/с), направленном под прямым углом к кампусу.

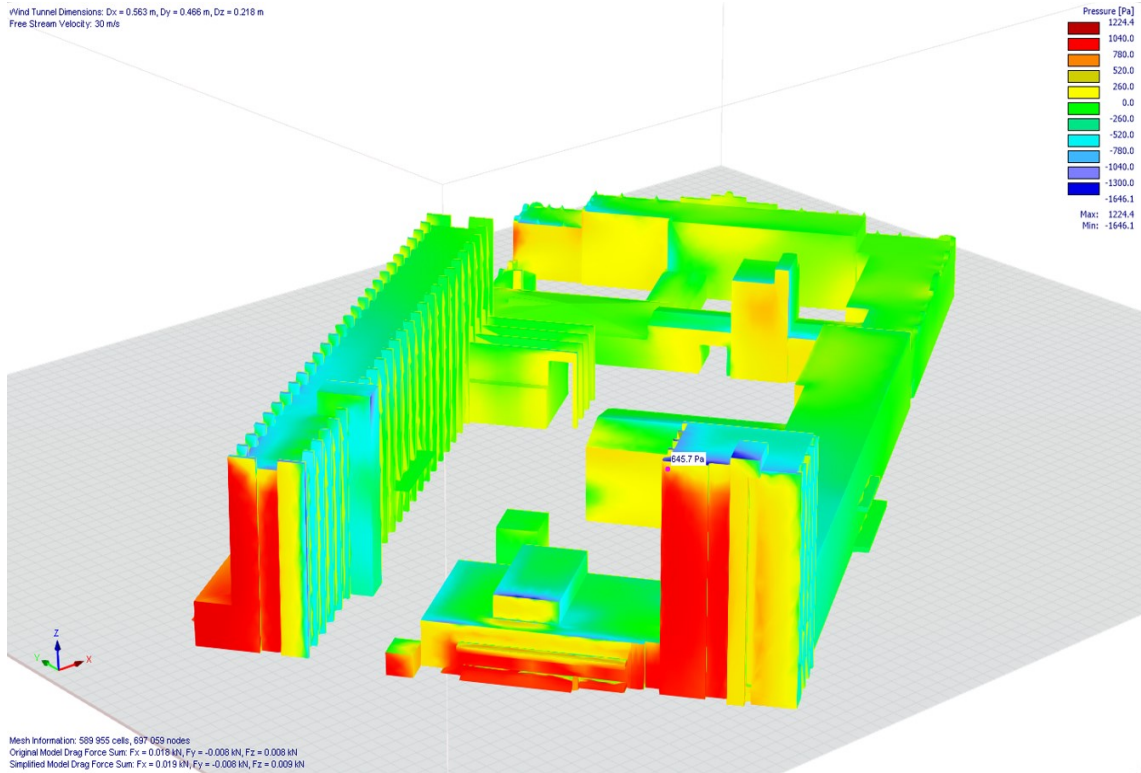


Рисунок 4 – Ветровое давление на поверхность зданий

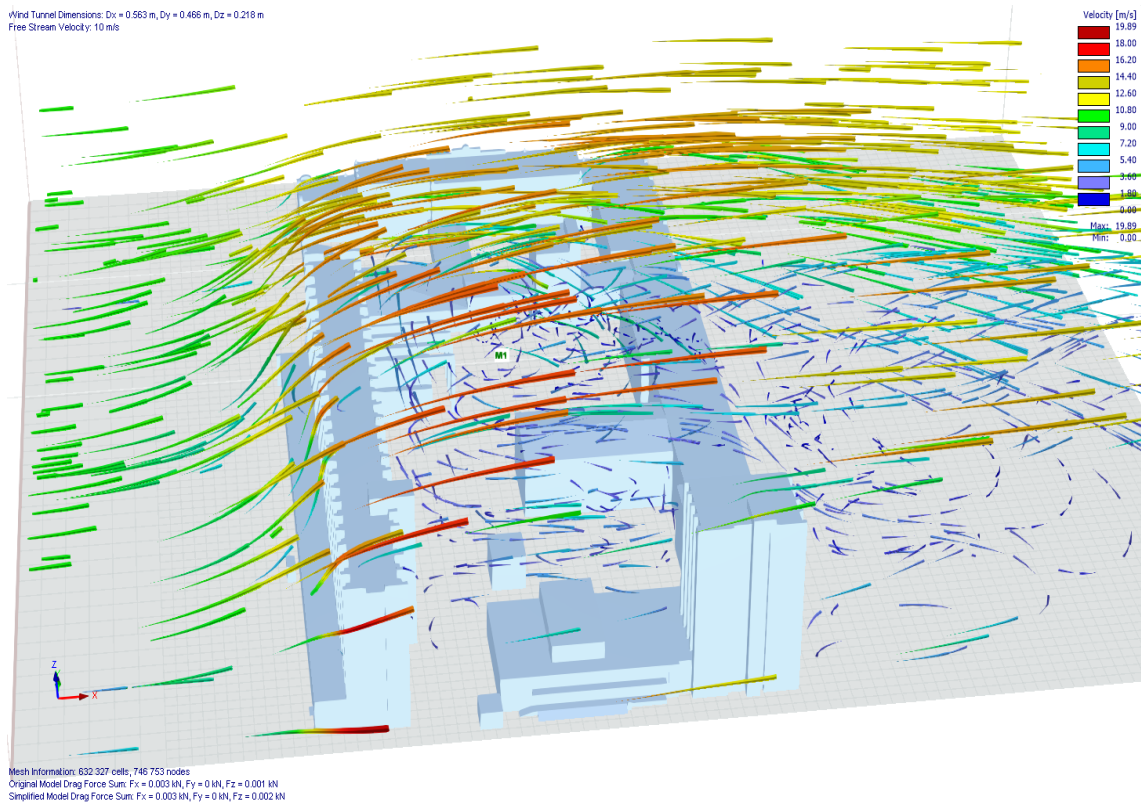


Рисунок 5 – Визуализация движения и скорости ветровых потоков

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученная в результате моделирования картина поведения ветровых потоков во внутреннем дворе учебного кампуса (рис. 4–7) говорит о том, что при определённых сочетаниях скорости и направления ветровых потоков внутренний двор окажется под серьёзной ветровой нагрузкой вследствие протекания там специфических турбулентных явлений. С учётом, что во дворе расположены также высокие старые деревья, а сам двор активно эксплуатируется, подобные явления могут создавать угрозу здоровью и даже жизни учащихся и сотрудников университета. Полученные в результате исследования данные были переданы администрации университета, в результате чего было принято решение о дополнительной оценке состояния деревьев с последующим удалением растений, признанных аварийными, для предотвращения возможного причинения ущерба имуществу и здоровью людей.

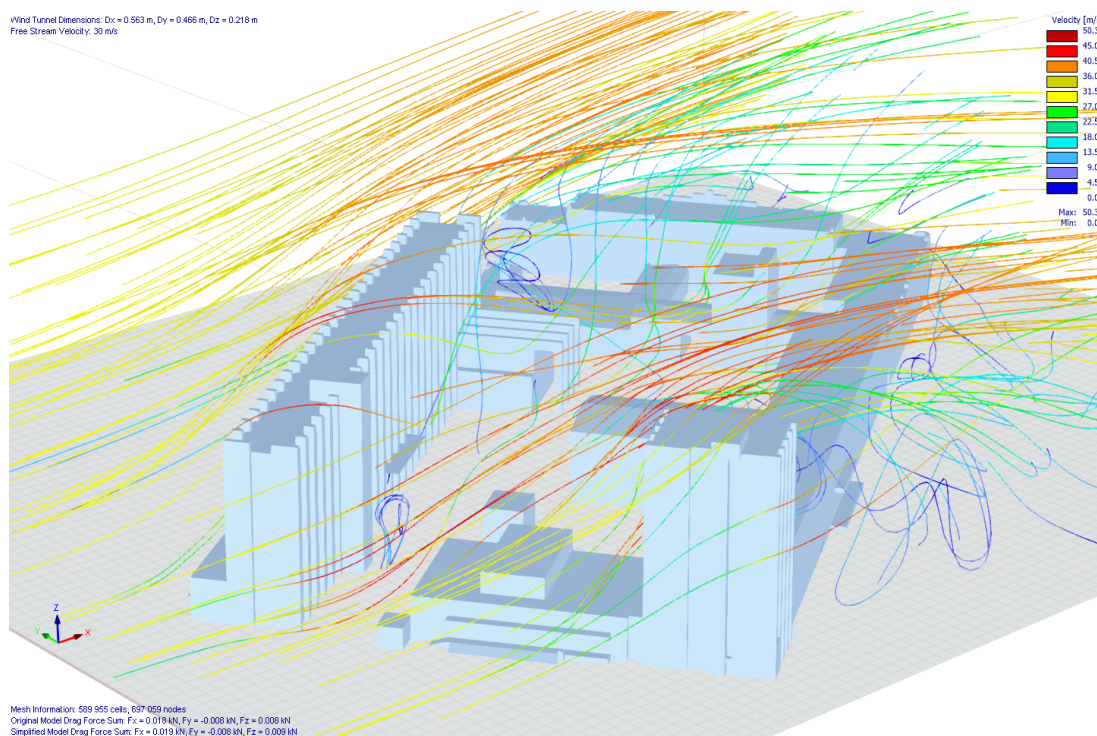


Рисунок 6 – Ветровая картина во внутреннем дворе при сильном ветре

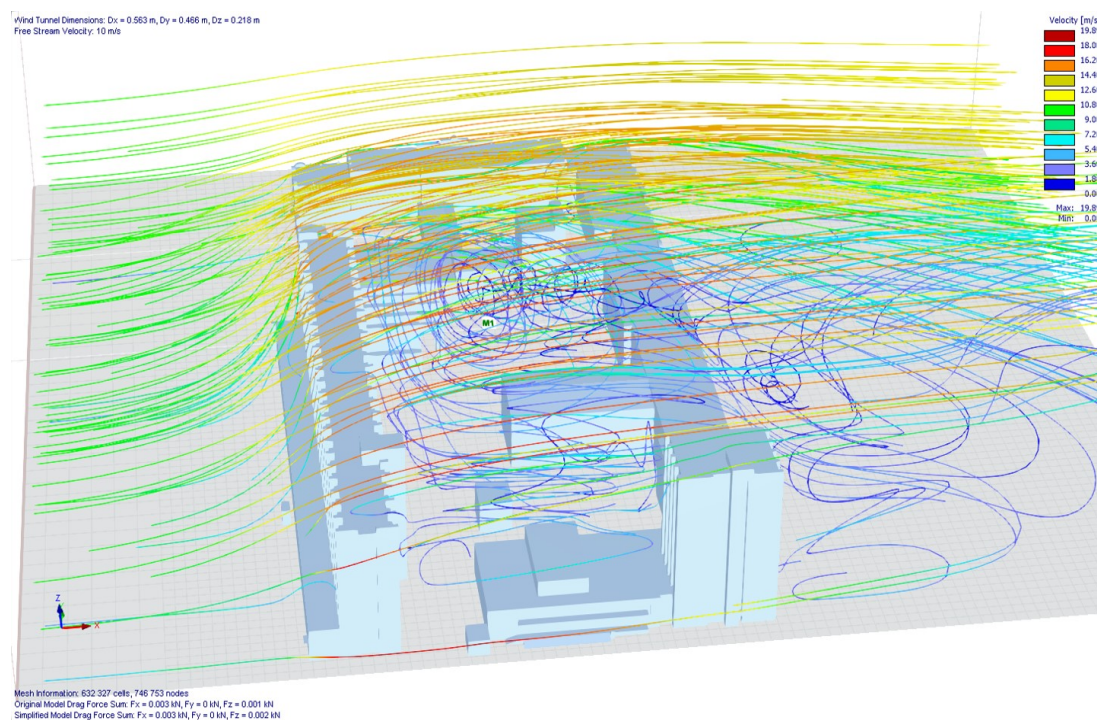


Рисунок 7 – Турбулентные явления во внутреннем дворе кампуса

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования был на практике опробован метод исследования климатических (ветровых) воздействий на целые группы городских зданий и сооружений на базе комплекса застройки учебного кампуса Института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета. Исследования выполнялись в рамках программы повышения энергоэффективности объектов капитального строительства [24]. Для проведения экспериментов был создан цифровой двойник комплекса строительных объектов. В результате экспериментов на созданном двойнике были получены данные, нашедшие незамедлительное прикладное применение, что подтверждает практическую ценность и применимость метода.

Программа RWIND, использованная в качестве главного средства моделирования поведения ветра и его воздействия на комплексы зданий и сооружений, показала себя действенным прикладным инструментом, который может быть рекомендован к применению на конкретном этапе использования метода моделирования климатических воздействий.

Список источников

1. Рашевский, Н. М. Проблема учета эколого-климатических факторов для уточнения методики расчета показателей качества городской среды / Н. М. Рашевский, Д. С. Парыгин, М. А. Куликов, Н. П. Садовникова, А. В. Игнатъев // Социология города. – 2022. – № 4. – С. 44–57.
2. Овчинников, И. И. Танцующий мост в Волгограде: причины, аналогии, мероприятия / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, В. О. Филиппова // Науковедение. – 2015. – Т. 7, № 6. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/08KO615.pdf>.
3. Имитационное моделирование / Н. П. Садовникова, Д. С. Парыгин, Т.В. Ерещенко, Н. М. Рашевский : учеб. пособие. – Волгоград : ВолгГТУ, 2022. – 128 с.
4. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. – Введ. 1987-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200280>.
5. Bairagi, A. K. Estimation of Wind Load on Stepped Tall Building Using CFD Simulation / A. K. Bairagi, S. K. Dalui // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. – 2021. – Vol. 45. – P. 707–727.
6. Demir, H. Numerical Investigation of Wind Loads on Building with Various Turbulence Models / H. Demir // Journal of Institute Of Science and Technology. – 2021. – Vol. 37, issue 2. – URL: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1810682>.
7. Кравченко, Г. М. Динамический расчет зданий на ветровые нагрузки с учетом пульсационной составляющей / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, А. В. Долженко // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – № 1. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21387907_41538674.pdf.
8. Dongjin, Cui. Effects of building layouts and envelope features on wind flow and pollutant exposure in height-asymmetric street canyons / Dongjin Cui, Xingdi Li, Jianlin Liu, Lei Yuan, Cheuk Ming Mak, Yue Fan, Kenny Kwok // Building and Environment. – 2021. – Vol. 205. – URL: <https://sci-hub.ru/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108177>.
9. Yuanzhe, Tang. Numerical Simulation of Wind Pressures on a High-rise Building by Auto-mesh System / Yuanzhe Tang, Shuyang Cao // International Journal of High-Rise Buildings. – 2019. – Vol. 8, no. 4. – P. 255–264.
10. Атаманчук, А. В. Ветровые нагрузки на элементы трехгранных башен и пакеты вытяжных труб / А. В. Атаманчук, И. С. Холопов, Д. Д. Чернышев // Металлические конструкции. – 2007. – Т. 13, № 1. – С. 17–24.
11. Галямичев, А. В. Ветровая нагрузка и её действие на фасадные конструкции / А. В. Галямичев // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – № 9(60). – С. 44–57.
12. Singh, Ja. CFD simulation of the wind field around pyramidal roofed single-story buildings / Ja. Singh, A. K. Roy // SN Applied Sciences. – 2019. – Vol. 1, № 11. – P. 1–10.
13. Urban Climates / T. R. Oke, G. Mills, A. Christen, J. A. Voogt. – Cambridge : Cambridge University Press, 2017. – 525 p.
14. Hsieh, C.-M. Mitigating urban heat islands: A method to identify potential wind corridor for cooling and ventilation / C.-M. Hsieh, H.-C. Huang // Computers, Environment and Urban Systems. – 2016. – № 57. – P. 130–143.
15. He, B.-J. Wind-sensitive urban planning and design: Precinct ventilation performance and its potential for local warming mitigation in an open midrise gridiron precinct / B.-J. He, L. Ding, D. Prasad // Journal of Building Engineering. – 2020. – Vol. 29. – URL: <https://sci-hub.ru/https://doi.org/10.1016/j.jobee.2019.101145>.
16. Povzun, A. O. Wind load on buildings and structures / A. O. Povzun, N. I. Buzun, S. S. Zimin // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2015. – № 3 (30). – P. 70–80.
17. Chen, F.-B. Study of Wind Loads and Wind Speed Amplifications on High-Rise Building with Opening by Numerical Simulation and Wind Tunnel Test / F.-B. Chen, X.-L. Wang, Y. Zhao, Y.-B. Li, Q.-S. Li, P. Xiang, Y. Li // Advances in Civil Engineering. – 2020. – URL: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2020/8850688/>.
18. Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета. – 2024. – URL: <https://vgasu.ru/>.
19. Щербаков, А. Г. Создание цифрового двойника образовательного кампуса на этапе эксплуатации: перспективы применения / А. Г. Щербаков, Д. С. Парыгин, Д. А. Саушкин, Р. Я. Шиганов, Д. А. Горлов // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2022. – № 6 (61). – С. 30–34.
20. Blender. – 2024. – URL: <https://www.blender.org/>.
21. Unity. – 2024. – URL: <https://unity.com/ru>.

22. tinkercad. – 2024. – URL: <https://www.tinkercad.com/>.

23. Моделирование воздействий ветра в RWIND 3 // Dlubal. – 2024. – URL: <https://www.dlubal.com/ru/produkty/avtonomnye-programmy-dlja-rascheta/rwind>.

24. Савина, О. В. Поддержка принятия решений по повышению энергоэффективности объектов городской инфраструктуры / О. В. Савина, Д. С. Парыгин, А. А. Финогеев, А. Д. Чикин, А. Г. Щербаков // Социология города. 2022. № 4. С. 58–69.

References

1. Rashevskiy, N. M., Parygin, D. S., Kulikov, M. A., Sadovnikova, N. P., Ignatev, A. V. The issue of ecological and climatic factors considering to clarify the urban environment quality indicators calculating methodology. *Sociology of a City*. 2022, no. 4, pp. 44–57 (In Russ.).

2. Ovchinnikov, I. I., Ovchinnikov, I. G., Filippova, V. O. The Dancing Bridge of Volgograd: Reasons, Analogies, Events. *Science Studies*, 2015, vol. 7, no. 6. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/08KO615.pdf> (In Russ.).

3. Sadovnikova, N. P., Parygin, D. S., Ereshhenko, T. V., Rashevskij, N. M. *Simulation modeling*. Volgograd: VSTU, 2022. 128 p. (In Russ.).

4. *SNiP 2.01.07-85. Loads and impacts*, 1987. URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200280> (In Russ.).

5. Bairagi, A. K., Dalui, S. K. Estimation of Wind Load on Stepped Tall Building Using CFD Simulation. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 2021, vol. 45, pp. 707–727.

6. Demir, H. Numerical Investigation of Wind Loads on Building with Various Turbulence Models. *Journal of Institute of Science and Technology*, 2021, vol. 37, issue 2. URL: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1810682>.

7. Kravchenko, G. M., Trufanova, E. V., Dolzhenko, A. V. Dynamic calculation of buildings for wind loads considering the pulsation component. *APRIORI. Series: Natural and Technical Sciences*, 2013, no. 1. Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21387907_41538674.pdf (In Russ.).

8. Dongjin, Cui, Xingdi, Li, Jianlin, Liu, Lei, Yuan, Cheuk, Ming, Mak, Yue, Fan, Kenny, Kwok. Effects of building layouts and envelope features on wind flow and pollutant exposure in height-asymmetric street canyons. *Building and Environment*, 2021, vol. 205. Available at: <https://sci-hub.ru/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108177>.

9. Yuanzhe, Tang, Shuyang, Cao. Numerical Simulation of Wind Pressures on a High-rise Building by Auto-mesh System. *International Journal of High-Rise Buildings*, 2019, vol. 8, no. 4, pp. 255–264.

10. Atamanchuk, A. V., Kholopov, I. S., Chernyshev, D. D. Wind loads on triangular tower elements and stacks of chimneys. *Metal Structures*, 2007, vol. 13, no. 1, pp. 17–24 (In Russ.).

11. Galjamichev, A. V. Wind load and its effect on facade structures. *Unique Buildings and Structures Construction*, 2017, no. 9 (60), pp. 44–57 (In Russ.).

12. Singh, Ja., Roy, A. K. CFD simulation of the wind field around pyramidal roofed single-story buildings. *SN Applied Sciences*. 2019, vol. 1, no. 11, pp. 1–10.

13. Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J. A. *Urban Climates*. Cambridge, Cambridge University Press, 2017. 525 p.

14. Hsieh, C.-M., Huang, H.-C. Mitigating urban heat islands: A method to identify potential wind corridor for cooling and ventilation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2016, no. 57, pp. 130–143.

15. He, B.-J., Ding, L., Prasad, D. Wind-sensitive urban planning and design: Precinct ventilation performance and its potential for local warming mitigation in an open midrise gridiron precinct. *Journal of Building Engineering*, 2020, vol. 29. URL: <https://sci-hub.ru/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101145>.

16. Povzun, A. O., Buzun, N. I., Zimin, S. S. Wind load on buildings and structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2015, no. 3 (30), pp. 70–80.

17. Chen F.-B., Wang X.-L., Zhao Y., Li Y.-B., Li Q.-S., Xiang P., Li Y. Study of Wind Loads and Wind Speed Amplifications on High-Rise Building with Opening by Numerical Simulation and Wind Tunnel Test. *Advances in Civil Engineering*, 2020. URL: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2020/8850688/>.

18. *Institute of Architecture and Construction of Volgograd State Technical University*. Available at: <https://vgasu.ru/> (In Russ.).

19. Shherbakov, A. G., Parygin, D. S., Saushkin, D. A., Shiganov, R. Ya., Gorlov, D. A. Creating a digital twin of an educational campus at the operational stage: application prospects. *Natural and Man-made Risks. Safety of Structures*, 2022, no. 6 (61), pp. 30–34 (In Russ.).

20. *Blender*. Available at: <https://www.blender.org/>.

21. *Unity*. Available at: <https://unity.com/ru> (In Russ.).

22. *tinkercad*. Available at: <https://www.tinkercad.com/>.

23. Wind Impact Simulation using RWIND 3. *Dlubal*. Available at: <https://www.dlubal.com/ru/produkty/avtonomnye-programmy-dlja-rascheta/rwind> (In Russ.).

24. Savina, O. V., Parygin, D. S., Finogeev, A. A., Chikin, A. D., Shherbakov, A. G. Decision support on improving the energy efficiency of urban infrastructure facilities. *Sociology of a City*, 2022, no. 4, pp. 58–69 (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 23.12.2024; одобрена после рецензирования 12.01.2025; принята к публикации 17.01.2025.

The article was submitted 23.12.2024; approved after reviewing 12.01.2025; accepted for publication 17.01.2025.

УДК 004:9

ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ НЕЧЕТКО ЗАДАНЫХ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕАЛИЗАЦИИ ПОИСКОВЫХ ЗАПРОСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩ, ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И ЭЛЕКТРОННЫХ БИБЛИОТЕК

Саяркин Леонид Андреевич, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, 194064, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пр. Тихорецкий, 3, адъюнкт (аспирант), ORCID: 0009-0003-9945-5266, e-mail: leonid.sayarkin@yandex.ru

Паращук Игорь Борисович, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, 194064, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пр. Тихорецкий, 3,

доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0001-8793-7768, e-mail: shchuk@rambler.ru

Крюкова Елена Сергеевна, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, 194064, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пр. Тихорецкий, 3,

кандидат технических наук, преподаватель, ORCID: 0000-0001-7482-056, e-mail: e.kkrukovaa69@yandex.ru

Рассмотрены особенности и условия применения некоторых известных методов теории нечётких множеств в интересах процедуры вычисления нечётко заданных вероятностно-временных параметров марковской модели процесса реализации поисковых запросов пользователей облачных хранилищ, центров обработки данных и электронных библиотек. Данный подход опирается на известные методы теории нечётких множеств, теории синтеза оптимальных систем, теории качества и традиционные методы идентификации и верификации значений элементов матрицы вероятностей перехода процесса информационного поиска из состояния в состояние. При этом учитывается нечёткая формулировка возможных состояний (границ пространств состояний) процесса реализации поисковых запросов пользователей облачных хранилищ, центров обработки данных и электронных библиотек. Рассмотрены фазы, математические особенности и логико-физические аспекты подходов, позволяющих реализовать вычисление нечётко заданных вероятностно-временных параметров марковской модели процесса реализации поисковых запросов в условиях нечёткости исходных данных для моделирования. Практическое применение предложенного подхода позволит повысить адекватность моделирования подобных сложных управляемых процессов, что в конечном итоге позволит повысить достоверность оценки и прогнозирования качества и эффективности поисковых алгоритмов.

Ключевые слова: облачное хранилище, центр обработки данных, электронная библиотека, нечёткие множества, реализация поисковых запросов, марковская модель, матрица переходных вероятностей, фаза

ELEMENTS OF CALCULATION OF FUZZY PROBABILISTIC-TEMPORAL PARAMETERS OF THE MARKOV MODEL OF THE PROCESS OF IMPLEMENTATION OF SEARCH QUERY IMPLEMENTATION OF USERS OF CLOUD STORAGES, DATA CENTERS AND ELECTRONIC LIBRARIES

Sayarkin Leonid A., Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, 3 Tikhoretsky Ave., St. Petersburg, 194064, Russian Federation, adjunct (graduate student), ORCID: 0009-0003-9945-5266, e-mail: leonid.sayarkin@yandex.ru

Parashchuk Igor B., Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, 3 Tikhoretsky Ave., St. Petersburg, 194064, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, ORCID: 0000-0001-8793-7768, e-mail: shchuk@rambler.ru

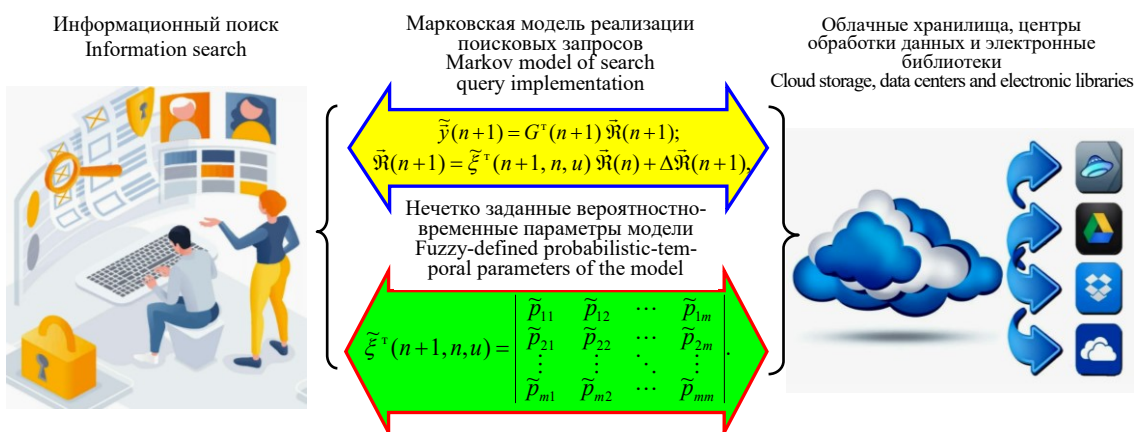
Kryukova Elena S., Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, 3 Tikhoretsky Ave., St. Petersburg, 194064, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), teacher, ORCID: 0000-0001-7482-056, e-mail: e.kkrukovaa69@yandex.ru

The article considers the features and conditions of application of some known methods of fuzzy set theory in the interests of the procedure of calculating fuzzy probabilistic-temporal parameters of the Markov model of the process of implementing search queries of users of cloud storages, data processing centers and electronic libraries. This approach is based on the known methods of fuzzy set theory, theory of synthesis of optimal systems, quality theory and traditional methods of identification and verification of values of elements of the probability matrix of transition of the information retrieval process from state to state. At the same time, a fuzzy formulation of possible states (boundaries of state spaces) of the process of implementing search queries of users of cloud storages, data processing centers and electronic libraries is taken into account. The phases, mathematical features and logical and physical aspects of approaches that allow implementing the calculation of fuzzy probabilistic-temporal parameters of the Markov model of the process of implementing search queries under conditions of fuzzy initial data for modeling are considered. Practical application of the proposed approach will improve the adequacy of modeling such complex controlled processes, which, ultimately, will improve the reliability of assessing and predicting the quality and efficiency of search algorithms.

Keywords: cloud storage, data center, electronic library, fuzzy sets, search query implementation, Markov model, transition probability matrix, phase

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Методы теории нечетких множеств в интересах идентификации нечетко заданных вероятностно-временных элементов матрицы переходов для марковской модели реализации поисковых запросов
Methods of fuzzy set theory for identification of fuzzy-defined probability-temporal elements of the transition matrix for the Markov model of search query implementation

ВВЕДЕНИЕ

Современные электронные библиотеки (ЭБ) – нынешние наследники традиционных автоматизированных информационно-справочных и информационно-поисковых систем, а также распределенные (все чаще облачные) центры обработки данных (ЦОД) и уже хорошо себя зарекомендовавшие облачные хранилища (ОХ) – завоевывают всё большую популярность в инфраструктуре информационного пространства нашей страны и зарубежных государств.

Подобные современные объекты охватывают своими удобными сервисами крупные компании и государственные ведомства, они нацелены на обеспечение обработки и хранения значительных объёмов данных. Кроме того, в связи с наличием таких значительных объёмов данных особое значение приобретает процедура доступа и, главное, алгоритмы быстрого и релевантного поиска необходимой пользователям информации.

Сейчас для решения подобных проблем всё чаще используют автоматизированные системы доступа к ресурсам и поиска на этих информационных ресурсах ЭБ, ЦОД и ОХ, используя для этих целей последние достижения в области технологий сохранения и ускоренного поиска данных (иногда с привлечением методов искусственного интеллекта), технологий обеспечения информационной и промышленной безопасности, интенсивной разработки и быстрого развёртывания новых поисковых приложений и передовых компьютерных технологий [1–4].

Наряду с этим, по-прежнему не решены вопросы гарантированного обеспечения качества (оперативности и релевантности) информационного поиска на информационных ресурсах ЭБ, ЦОД и ОХ, особенно в условиях нечёткой формулировки возможных состояний (границ пространств состояний) процесса реализации поисковых запросов пользователей и нечёткости идентификации методологических и математических механизмов перехода данного процесса из состояния в состояние.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ НЕЧЁТКО ЗАДАННЫХ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОИСКОВЫХ ЗАПРОСОВ

В этой связи многообещающей тенденцией совершенствования методов и средств анализа и повышения качества информационного поиска на информационных ресурсах ЭБ, ЦОД и ОХ в условиях такого вида неопределённости исходных данных, нам видится направление, связанное с разработкой современных и инновационных математических моделей смены состояний процесса реализации поисковых запросов с учётом нечёткой формулировки границ (пространств) этих состояний и нечёткой идентификации математических правил (формальных закономерностей) перехода этого процесса из одного нечёткого состояния в другое.

Данные модели зачастую называют нечёткими, они, по нашему мнению, позволят формально и аналитически корректно описать процесс информационного поиска, определить все действующие на процедуру смены нечётких состояний поиска, внутренние и внешние факторы с учётом нечёткости формулировки границ (пространств) этих состояний и нечёткой идентификации правил (вероятностных, вероятностно-пошаговых закономерностей) перехода этого процесса из состояния в состояние.

Объективная необходимость учёта ряда существующих ограничений на уровни и параметры моделирования сложных управляемых процессов с нечёткими состояниями, делает целесообразным формирование достаточно строгого аналитического описания процесса информационного поиска.

Наиболее полно данные ограничения, на наш взгляд, могут быть приняты в расчёт при построении математических марковских моделей с непрерывным или дискретным временем [5–9].

Это позволит добиться требуемой степени адекватности вероятностно-временных свойств процесса информационного поиска при сокращении размерности его математического описания.

Более того, это позволит в рамках марковских моделей для описания нечётких состояний (иногда говорят, нечётких цепей Маркова или нечётких последовательностей Маркова) учитывать нечёткую формулировку границ (пространств) этих состояний и нечёткую идентификацию механизмов (вероятностно-временных параметров) перехода моделируемого процесса из состояния в состояние [8, 10–16].

Иными словами, можно утверждать, что для построения аналитической, вероятностно-временной модели смены нечётких состояний процесса информационного поиска, учитывающей динамический и вероятностный характер, нестационарность этого процесса и управления им, а также учитывающей нечёткие формулировки границ (пространств) этих состояний и нечёткую идентификацию механизмов перехода из состояния в состояние, могут быть использованы управляемые цепи Маркова с нечёткими состояниями, с нечётко заданными вероятностями переходов из состояния в состояние.

Такие модели являются модификацией традиционных цепей Маркова и формально могут быть описаны в виде классических разностных стохастических уравнений.

Такая форма описания управляемых марковских цепей с нечёткими состояниями (нечёткими переходами) имеет вид [16]:

$$\tilde{y}(n+1) = G^T(n+1) \bar{R}(n+1); \quad (1)$$

$$\bar{R}(n+1) = \tilde{\xi}^T(n+1, n, u) \bar{R}(n) + \Delta \bar{R}(n+1); \quad (2)$$

$$\bar{v}(n+1) = F(n, y(n)) \bar{R}(n+1) + \bar{\phi}(n+1), \quad (3)$$

где выражение (1) – уравнение нечёткого состояния процесса информационного поиска (нечёткого состояния векторного показателя качества поиска \tilde{y}) на $(n+1)$ -м этапе реализации поисковых запросов, причем:

$\tilde{y}(n+1)$ – вектор-столбец значений показателя качества \tilde{y} информационного поиска;

$G^T(n+1)$ – диагональная квадратная матрица (порядка m) возможных значений показателя качества информационного поиска \tilde{y} на $(n+1)$ -м этапе моделируемого процесса реализации поисковых запросов, при этом количество m (столбцов и строк) зависит от выбранного числа нечётких состояний (глубины моделирования);

$\bar{R}(n+1)$ – вектор-столбец опорных индексов (маркеров) состояния процесса информационного поиска на $(n+1)$ -м этапе реализации поисковых запросов, устанавливаемый для функциональности и математической корректности формального описания динамики перехода моделируемого процесса из одного состояния в другое.

Выражение (2) – уравнение для определения состояния вектора опорных индексов (маркеров), в котором:

$\bar{R}(n)$ – вектор-столбец значений опорных индексов (маркеров) состояния процесса информационного поиска на предыдущем (n) -м этапе;

$\Delta \bar{R}(n+1)$ – вектор-столбец корректирующих приращений опорных индексов (маркеров) состояний моделируемого процесса реализации поисковых запросов [16].

Выражение (3) – уравнение наблюдения за процессом (процессом смены состояний конкретного показателя качества поиска $y(n)$), где:

$F(n, y(n))$ – диагональная квадратная матрица (порядка m) наблюдаемых значений процесса;

$\bar{\phi}(n+1)$ – вектор белых шумов наблюдения с нулевым средним и матрицей дисперсии, определяемой динамикой процесса.

Оригинальность предложенной математической марковской модели информационного поиска обусловлена наличием в выражении (2) элемента $\tilde{\xi}^T(n+1, n, u)$ – транспонированной квадратной матрицы (порядка m) нечётко заданных (нечётко идентифицированных) вероятностей перехода моделируемого процесса из состояния в состояние, обуславливающей математический механизм смены состояний показателей качества реализации поисковых запросов на каждом $(n+1)$ -м этапе:

$$\tilde{\xi}^T(n+1, n, u) = \begin{pmatrix} \tilde{p}_{11}(n+1, n, u) & \tilde{p}_{12}(n+1, n, u) & \cdots & \tilde{p}_{1m}(n+1, n, u) \\ \tilde{p}_{21}(n+1, n, u) & \tilde{p}_{22}(n+1, n, u) & \cdots & \tilde{p}_{2m}(n+1, n, u) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{p}_{m1}(n+1, n, u) & \tilde{p}_{m2}(n+1, n, u) & \cdots & \tilde{p}_{mm}(n+1, n, u) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где, например, $\tilde{p}_{12}(n+1, n, u)$ – нечётко заданная (нечётко идентифицированная) вероятность перехода (с предыдущего этапа n на следующий этап $(n+1)$ и с учётом управляющих воздействий u) моделируемого процесса из состояния «1» в состояние «2».

Эта матрица нечётко заданных переходных вероятностей, например, для трёх состояний ($m = 3$) имеет вид:

$$\tilde{\xi}^T(n+1, n, u) = \begin{pmatrix} \tilde{p}_{11}(n+1, n, u) & \tilde{p}_{12}(n+1, n, u) & \tilde{p}_{13}(n+1, n, u) \\ \tilde{p}_{21}(n+1, n, u) & \tilde{p}_{22}(n+1, n, u) & \tilde{p}_{23}(n+1, n, u) \\ \tilde{p}_{31}(n+1, n, u) & \tilde{p}_{32}(n+1, n, u) & \tilde{p}_{33}(n+1, n, u) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

или иначе:

$$\tilde{\xi}^T(n+1, n, u) = \begin{pmatrix} \tilde{p}_{11} & \tilde{p}_{12} & \tilde{p}_{13} \\ \tilde{p}_{21} & \tilde{p}_{22} & \tilde{p}_{23} \\ \tilde{p}_{31} & \tilde{p}_{32} & \tilde{p}_{33} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где каждый из элементов – нечётко заданное значение вероятности перехода конкретного показателя качества информационного поиска \tilde{y} из состояния в состояние, обусловленное нечёткими знаниями экспертов об этих значениях, что, в свою очередь, обусловлено нечёткой формулировкой критериев качества и предпочтений пользователей.

Очевидно, что в рамках предложенного подхода на первый план выходит задача вычисления нечётко заданных параметров модели – компонентов матрицы переходов $\tilde{\xi}^T(n+1, n, u)$ для этой марковской модели смены нечётких состояний процесса информационного поиска.

Каждое нечётко заданное значение вероятности перехода процесса информационного поиска из состояния в состояние в рамках данной модели может и должно быть чётко определено, идентифицировано (верифицировано) с использованием известных алгоритмов принятия решений, например, предполагающих построение множества недоминирующих альтернатив на базе нечётких отношений предпочтения [14].

При этом первой фазой процедуры вычисления нечётко заданных значений вероятностно-временных параметров модели, процедуры синтеза компонентов матрицы переходов $\tilde{\xi}^T(n+1, n, u)$ для марковской модели смены нечётких состояний процесса информационного поиска является фаза формулировки нечёткого множества \tilde{A} , компонентами которого являются нечётко заданные вероятности переходов (например, вероятность перехода (\tilde{p}_{ij}) из состояния i в состояние j) и которые могут быть определены как множество упорядоченных пар

$$\tilde{A} = \{\mu_{\tilde{A}}(\tilde{p}_{ij}) | (\tilde{p}_{ij})\}, \quad (7)$$

где $\mu_{\tilde{A}}(\tilde{p}_{ij})$ – функция принадлежности, характеризующая «вес» мнения эксперта о значении конкретного ij -го компонента (\tilde{p}_{ij}) матрицы (4).

Аналогичным образом определяются нечёткие множества для всех иных компонентов матрицы (4) соответственно.

Исходя из этих исходных данных, на основе последующих фаз вычисления нечётко заданных значений вероятностно-временных параметров модели такого класса, очередных фаз синтеза элементов матрицы (4) требуется найти рациональную альтернативу значений вероятностей переходов с максимальной степенью недоминируемости.

На второй фазе процедуры вычисления нечётко заданных значений вероятностно-временных параметров модели с учётом полученных данных составляются матрицы нечётких отношений предпочтения, определяемые на множестве мнений экспертов о значениях компонентов матрицы $\tilde{\xi}^T(n+1, n, u)$ и содержащие функции принадлежности как нечёткие отношения предпочтения для этих значений, например, для вычисления значений элементов матрицы нечётко заданных переходных вероятностей для трёх состояний ($m = 3$):

$$\tilde{\xi}_A^T(n+1, n, u) = \begin{vmatrix} \mu_{\tilde{A}}(\tilde{p}_{11}) | (\tilde{p}_{11}) & \mu_{\tilde{A}}(\tilde{p}_{12}) | (\tilde{p}_{12}) & \mu_{\tilde{A}}(\tilde{p}_{13}) | (\tilde{p}_{13}) \\ \mu_{\tilde{A}}(\tilde{p}_{21}) | (\tilde{p}_{21}) & \mu_{\tilde{A}}(\tilde{p}_{22}) | (\tilde{p}_{22}) & \mu_{\tilde{A}}(\tilde{p}_{23}) | (\tilde{p}_{23}) \\ \mu_{\tilde{A}}(\tilde{p}_{31}) | (\tilde{p}_{31}) & \mu_{\tilde{A}}(\tilde{p}_{32}) | (\tilde{p}_{32}) & \mu_{\tilde{A}}(\tilde{p}_{33}) | (\tilde{p}_{33}) \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Следующая фаза процедуры вычисления нечётко заданных значений вероятностно-временных параметров модели – построение нечёткого отношения, характеризующего значения совместной функции принадлежности нечётких переменных (\tilde{p}_{ij}) в рамках данного нечёткого отношения. Затем осуществляется определение подмножества недоминирующих альтернатив на нечётком множестве $\{\tilde{A}, \mu_{\tilde{A}}\}$.

В итоге получаем функцию принадлежности из нечёткого множества недоминирующих альтернатив. Максимальное значение этой функции характеризует предпочтительное, идентифицированное (наиболее достоверное, верифицированное) значение конкретного ij -го компонента (\tilde{p}_{ij}) матрицы (4), значение конкретной вероятности перехода процесса информационного поиска из состояния в состояние.

Ориентируясь на эти максимальные значения, например, для вычисления значений элементов матрицы нечётко заданных переходных вероятностей для трёх состояний ($m = 3$), получаем:

$$\tilde{\xi}^T(n+1, n, u) = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{vmatrix}, \quad (9)$$

где каждый из элементов матрицы – идентифицированное (наиболее достоверное, верифицированное) значение конкретного ij -го компонента (p_{ij}) , т. е. численное значение вероятности перехода конкретного показателя качества информационного поиска из состояния в состояние.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, описаны фазы нового методологического подхода к решению задачи вычисления нечётко заданных значений вероятностно-временных параметров модели реализации поисковых запросов, фазы синтеза компонентов матрицы переходов для марковской модели смены нечётких состояний процесса информационного поиска на ресурсах ЭБ, ЦОД и ОХ.

Вычисление этих нечётко заданных компонентов, представляющих собой переходные вероятности, характеризующие вероятностно-пошаговый механизм смены состояний марковской цепи, базируется на математике теории нечётких множеств (на построении множества недоминирующих альтернатив на базе нечётких отношений предпочтения) и осуществляется с учётом нечёткой формулировки возможных состояний, границ пространств состояний процесса реализации поисковых запросов пользователей и нечёткости идентификации методологических и математических механизмов перехода этого процесса из состояния в состояние.

Предлагаемая совокупность взаимосвязанных фаз вычисления нечётко заданных вероятностно-временных параметров марковской модели процесса реализации поисковых запросов пользователей облачных хранилищ, центров обработки данных и электронных библиотек, основанная на методах нечётких отношений предпочтения и сравнения нечётких альтернатив, позволяет, на наш взгляд, повысить адекватность моделирования таких сложных управляемых процессов, что в конечном итоге позволит повысить достоверность оценки и прогнозирования качества и эффективности поисковых алгоритмов.

Направлением дальнейших исследований, по нашему мнению, могут и должны стать работы по созданию алгоритмов синтеза достоверных моделей информационного поиска, учитывающих не только нечёткость исходных данных, но и другие виды неопределённости, такие как неполнота, противоречивость параметров процессов такого класса.

Список источников

1. Зуйкина, К. Л. Электронные библиотеки в России. Текущий статус и перспективы развития / К. Л. Зуйкина, Д. В. Соколова, А. В. Скалабан. – Москва : Ваш формат, 2017. – 120 с.
2. Крюкова, Е. С. Модели и методы интервальной оценки качества электронных библиотек и контента электронных образовательных ресурсов / Е. С. Крюкова. – Санкт-Петербург : ВАС, 2024. – 108 с.
3. Орбан, С. Путешествие к облаку. Советы по использованию облачных технологий от лидеров IT-рынка / С. Орбан. – Москва : Альпина PRO, 2022. – 293 с.
4. Парашук, И. Б. Особенности построения и анализа качества дата-центров как базовых элементов IT-инфраструктуры / И. Б. Парашук, Н. В. Михайличенко // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий : материалы IV Межрегиональной научно-практической конференции. – Севастополь : Севастопольский государственный университет. 2018. – С. 28–29.

5. Зейфман, А. И. Марковские цепи и модели с непрерывным временем / А. И. Зейфман. – Москва : Элек-КМ. 2008. – 168 с.
6. Артеменков, С. Л. Марковские модели в задачах диагностики и прогнозирования / С. Л. Артеменков, В. И. Алхимов, С. Н. Баранов, О. Б. Беляева и др. – Москва : ФГБОУ ВО МГППУ, 2017. – 197 с.
7. Галажинская, О. Н. Теория случайных процессов. Ч. 2: Марковские процессы : учеб. пособие / Галажинская О. Н., С. П. Моисеева. – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. – 126 с.
8. Паращук, И. Б. К вопросу математического описания динамики изменения показателей качества телекоммуникационной системы марковскими последовательностями / И. Б. Паращук, Д. А. Ковальченко // Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и автоматика («ПАРУСА-2014»): сборник трудов III Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (20–21.11.2014, Геленджик). – Таганрог : Изд-во ЮФУ, 2014. – Т. 1. – С. 164–167.
9. Саенко, И. Б. Моделирование и проектирование систем : учебник / И. Б. Саенко, И. Б. Паращук, Ю. В. Кондрашов, О. С. Лаута, Я. А. Домбровский, А. И. Попов, Е. С. Крюкова. – Санкт-Петербург : ВАС, 2023. – 472 с.
10. Матвеев, М. Г. Дискретная однородная цепь Маркова для нечетких состояний / М. Г. Матвеев, Н. А. Алейникова, А. А. Громковский // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «Системный анализ и информационные технологии». – 2022. – № 4. – С. 119–131.
11. Гончар, Т. А. Нечеткие однородные цепи Маркова / Т. А. Гончар, С. О. Барышевский // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 5, ч. 4. – С. 470–471.
12. Диалло, А. Б. Исследование информационных рисков безопасной работы электролизера на основе нечетких цепей Маркова / А. Б. Диалло, Д. Т. Дим, С. Р. Бакасов, А. Е. Пророков, В. Н. Богатиков // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 5. – С. 83–96.
13. Перепелкин, Е. А. Инвариантность оценки состояния конечной цепи Маркова с дискретным временем / Е. А. Перепелкин // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 6. – С. 76–81
14. Паращук, И. Б. Реализация поисковых информационных запросов в крупных дата-центрах с использованием математических методов теории нечетких множеств / И. Б. Паращук, А. В. Михайличенко, Л. А. Саяркин // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов («СинхроИнфо»). – 2024. – Т. 15, № 3. – С. 20–27.
15. Палюх, Б. В. Приложение метода разделения состояний для управления технологической безопасностью промышленных процессов на основе нечетко определенных моделей : монография / Б. В. Палюх, В. Н. Богатиков, А. Е. Пророков, В. В. Алексеев. Тверь: Изд-во ТГТУ, 2009. 368 с.
16. Паращук, И. Б. Нечеткие множества в задачах анализа сетей связи / И. Б. Паращук, И. П. Бобрик. – Санкт-Петербург : ВУС, 2001. 80 с.

References

1. Zuiкина, K. L., Sokolova, D. V., Skalaban, A.V. *Electronic libraries in Russia. Current status and development prospects*. Moscow, Your format, 2017. 120 p. (In Russ.).
2. Kryukova, E. S. Models and methods for interval assessment of the quality of electronic libraries and content of electronic educational resources. Saint Petersburg, VAS, 2024. 108 p. (In Russ.).
3. Orban, S. *Journey to the cloud. Tips on using cloud technologies from IT market leaders*. Moscow, Alpina PRO, 2022. 293 p. (In Russ.).
4. Parashchuk, I. B., Mikhailichenko, N. V. Features of the construction and analysis of the quality of data centers as basic elements of the IT infrastructure. *Promising directions for the development of domestic information technologies: materials of the IV Interregional scientific and practical conference*. Sevastopol, Sevastopol State University, 2018, pp. 28–29 (In Russ.).
5. Zeifman, A. I. Markov chains and models with continuous time. Moscow, Eleks-KM, 2008. 168 p. (In Russ.).
6. Artemenkov, S. L., Alkhimov, V. I., Baranov, S. N., Belyaeva, O. B., et al. *Markov models in diagnostics and forecasting problems*. Moscow: FGBOU VO MGPPU, 2017. 197 p. (In Russ.).
7. Galazhinskaya, O. N., Moiseeva, S. P. *Theory of random processes. Part 2: Markov processes: textbook*. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University, 2016. 126 p. (In Russ.).
8. Parashchuk I. B., Kovalchenko D. A. On the issue of mathematical description of the dynamics of change in quality indicators of a telecommunication system by Markov sequences. Problems of automation. Regional management. Communications and automation (“SAILS-2014”) Collection of works of the III All-Russian scientific conference of young scientists, graduate students and students. (20–21.11.2014, Gelendzhik). Taganrog: Publ. SFedU, 2014, vol. 1. pp. 164–167 (In Russ.).
9. Saenko, I. B., Parashchuk, I. B., Kondrashov, Yu. V., Lauta, O. S., Dombrovsky, Ya. A., Popov, A. I., Kryukova, E. S. *Modeling and design of systems: textbook*. Saint Petersburg, VAS, 2023. 472 p.
10. Matveev, M. G., Aleinikova, N. A., Gromkovsky, A. A. Discrete homogeneous Markov chain for fuzzy states. *Bulletin of Voronezh State University. Series "System Analysis and Information Technology"*, 2022, no. 4, pp. 119–131 (In Russ.).
11. Gonchar, T. A., Baryshevsky, S. O. Fuzzy homogeneous Markov chains. *International Student Scientific Bulletin*, 2017, no. 5, part 4, pp. 470–471 (In Russ.).
12. Diallo, A. B., Dim, D. T., Bakasov, S. R., Prorokov, A. E., Bogatikov, V. N. Study of information risks of safe operation of an electrolyzer based on fuzzy Markov chains. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 83–96 (In Russ.).

13. Perepelkin, E. A. Invariance of the state estimate of a finite Markov chain with discrete time. *Autometry*, 2021, vol. 57, no. 6, pp. 76–81 (In Russ.).

14. Parashchuk, I. B., Mikhailichenko, A. V., Sayarkin, L. A. Implementation of search information queries in large data centers using mathematical methods of fuzzy set theory. *Systems for synchronization, generation and processing of signals ("SynchronizationInfo")*. 2024, vol. 15, no. 3, pp. 20–27 (In Russ.).

15. Palyukh, B. V., Bogatkov, V. N., Prorokov, A. E., Alekseev, V. V. *Application of the state separation method for managing the technological safety of industrial processes based on fuzzy-defined models: monograph*. Tver, Publishing house of TSTU, 2009. 368 p. (In Russ.).

16. Parashchuk, I. B., Bobrik, I. P. *Fuzzy sets in problems of communication network analysis*. St. Petersburg, VUS, 2001. 80 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 22.01.2025; одобрена после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 26.02.2025.

The article was submitted 22.01.2025; approved after reviewing 26.02.2025; accepted for publication 26.02.2025.

УДК 004.942:579.695

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОРАЗЛОЖЕНИЯ
ПАРАЦЕТАМОЛА И АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕШЕНИЯ
ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ**

Кожухарь Олеся Юрьевна, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, 125047, Российская Федерация, г. Москва, Миусская площадь, 9, аспирант, AuthorID: 1077181, SPIN code: 5759-6225, ORCID: 0009-0005-9965-3961, e-mail: olesyakozhukhar@yandex.ru

Скичко Алексей Сергеевич, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, 125047, Российская Федерация, г. Москва, Миусская площадь, 9, кандидат технических наук, доцент, AuthorID: 52434, SPIN-код: 8102-9810, ORCID: 0000-0003-0022-0209, e-mail: olf_1@list.ru

В работе раскрывается проблематика математического моделирования процессов биоразложения фармацевтических препаратов в водной среде. Рассматривается процесс биодegradации парацетамола с помощью штамма бактерий *Staphylococcus sciuri* DPP1. Проведён анализ процесса на основе экспериментальных данных, показана целесообразность рассмотрения в схеме процесса промежуточного метаболита, который оказывает негативное влияние непосредственно на стадию разложения парацетамола. Разработана математическая модель процесса с учётом его особенностей. Показано, что типовые микробиологические параметры уравнений для удельных скоростей стадий процесса не являются константами, а зависят от начальной концентрации парацетамола в среде, и что эти зависимости можно описать с помощью функций экспоненциального типа. Поставлена многомерная оптимизационная задача с 8 неизвестными параметрами, для решения которой использовался метод поочерёдного изменения переменных. С помощью вычислительных экспериментов обосновано выделение промежуточного z-метаболита в схеме разложения и доказана состоятельность предложенной гипотезы в основе модели.

Ключевые слова: биоразложение парацетамола, субстратное ингибирование, математическое моделирование, размерность оптимизационной задачи, аппроксимационные зависимости, воспроизводимость

**MATHEMATICAL MODELLING OF PARACETAMOL BIODEGRADATION PROCESS
AND ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF SOLVING
THE OPTIMISATION PROBLEM OF DETERMINING THE MODEL PARAMETERS**

Kozhukhar Olesya Yu., D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 9 Miusskaya Square, Moscow, 125047, Russian Federation, graduate student, AuthorID: 1077181, SPIN code: 5759-6225, e-mail: olesyakozhukhar@yandex.ru

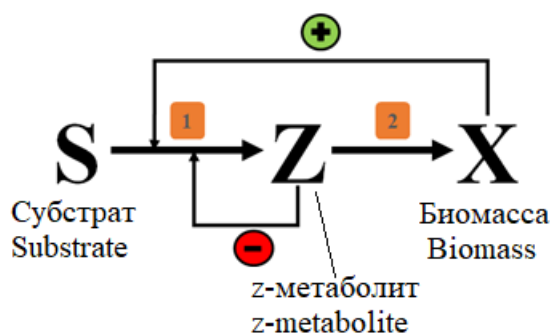
Skichko Alexey S., D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 9 Miusskaya Square, Moscow, 125047, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor, AuthorID: 52434, SPIN-код: 8102-9810, ORCID: 0000-0003-0022-0209, e-mail: olf_1@list.ru

The work reveals the problems of mathematical modeling of the processes of biodegradation of pharmaceuticals in aqueous medium. The process of biodegradation of paracetamol using *Staphylococcus sciuri* DPP1 bacterial strain is considered. The process was analyzed on the basis of experimental data, the expediency of considering an intermediate metabolite in the process scheme, which has a negative effect directly on the stage of paracetamol decomposition, was shown. The mathematical model of the process taking into account its peculiarities has been developed. It is shown that typical microbiological parameters of equations for specific rates of process stages are not constants, but depend on initial concentration of paracetamol in the medium, and that these dependencies can be described by functions of exponential type. A multivariate optimization problem with 8 unknown parameters was posed, for the solution of which the method of alternate change of variables was used. Using computational experiments, the separation of the intermediate z-metabolite in the decomposition scheme was justified and the validity of the proposed hypothesis in the basis of the model was proved.

Keywords: biodegradation of paracetamol, substrate inhibition, mathematical modelling, dimensionality of optimization problem, approximation dependencies, reproducibility

Graphical annotation (Графическая аннотация)



ВВЕДЕНИЕ

Математическое моделирование традиционно является мощным инструментом для оптимизации, анализа и прогнозирования различных процессов. Однако пока не существует однозначных подходов к моделированию процессов биодеструкции фармацевтических препаратов. При этом правильно подобранное математическое описание позволило бы понять сложное взаимодействие между микроорганизмами, фармацевтическим веществом и окружающей средой, спрогнозировать эффективный процесс очистки конкретного загрязнителя определёнными бактериями с учётом возможности оптимизации параметров процесса, для того чтобы впоследствии разработать новые технологии очистки воды от фармацевтических отходов.

Следует сразу отметить, что проблематика очистки воды от фармпрепаратов только в последние годы получила значимый исследовательский импульс, связанный, очевидно, с возникновением конкретных проблем с утилизацией лекарств, у которых истёк срок годности [1]. При этом подавляющее большинство работ в данной области носит экспериментальный характер. Попытки математического моделирования данных процессов встречаются крайне редко и не носят системно-обобщающего характера. То есть единой концепции моделирования процессов данного типа в настоящее время пока не разработано.

Существует несколько подходов к моделированию процессов биодеструкции фармацевтических отходов. Так, в зарубежной периодике часто встречается использование методологии поверхности отклика (Response Surface Methodology, RSM), которая обладает преимуществом при планировании воспроизводимых процессов в лабораторных условиях, но может иметь непредсказуемый результат в промышленных масштабах в связи с малой воспроизводимостью процессов биодеструкции фармполлютантов [2, 3]. В основе математической модели для описания взаимосвязи между входными переменными и откликом используется уравнение полиномиальной регрессии, которое не учитывает основные физико-химические законы и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности микроорганизмов. Подобными недостатками обладает и использование искусственного интеллекта для моделирования и прогнозирования процессов биоразложения фармацевтических загрязнителей. В этом случае модель представляет собой «чёрный ящик», который не позволяет объяснить физический смысл процесса, а для обучения требуется большой набор данных, при этом проведение нескольких серий эксперимента биодеструкции фармпрепаратов может быть дорогостоящим и трудоемким [4]. При этом такие модели очень чувствительны к влиянию случайного фактора погрешности экспериментальных измерений, что может привести к неточным прогнозам [5, 6].

В отечественной литературе встречается другой подход, пригодный только для моделирования процессов, реализация которых описывается аналитически интегрируемыми дифференциальными уравнениями 1-го порядка. В основе модели кинетическое уравнение первого порядка, скорость процесса выражается через уравнение линейной регрессии от времени, а параметры находятся методом наименьших квадратов [7].

При этом классическим подходом в моделировании процессов биоочистки является использование структурированных и неструктурированных моделей. Модели клеток, охватывающие внутриклеточные компоненты, можно определить как структурированные модели клеток [8]. Чем более реалистично математически описывается система, тем сложнее становится полученная модель. При этом неструктурированная модель учитывает только макропараметры, такие как концентрация, не углубляясь в содержание клетки [9]. Для моделирования процессов в биотехнологии преимущество отдаётся неструктурированным моделям, которые позволяют описать основные законы роста популяции. Однако существующие классические неструктурированные модели основаны на идеологии культивирования клеток в максимально приближённых к идеальным условиям. При этом подобные условия не соответствуют тому,

что можно наблюдать в среде с загрязнителем, негативно влияющим на окружающие микроорганизмы. Как правило, загрязнитель пассивирует рост клеток в такой среде.

Таким образом, классический подход моделирования с помощью неструктурированных моделей, но с учётом особенностей протекания процессов биоочистки, был выбран авторами данной работы приоритетным. При этом для увеличения гибкости модели в неё может быть введён ряд параметров, зависящих от концентрации разлагаемого вещества, и для определения этих зависимостей может быть использован аппарат поверхности отклика.

КИНЕТИЧЕСКАЯ СХЕМА РАЗЛОЖЕНИЯ ПАРАЦЕТАМОЛА В СРЕДЕ

В данной работе изучается процесс биологического разрушения парацетамола в водной среде с помощью штамма бактерий *Staphylococcus sciuri* DPP1. Микроорганизмы рода *Staphylococcus* способны разрушать парацетамол, используя входящий в него углерод в качестве источника питания [2]. Для описания удельной скорости данного процесса в научной периодике предлагалось уравнение Холдейна [2]. Однако по представленным расчётным результатам в работе [10] очевидно, что авторы не исследовали возможность использования данного уравнения на полном объёме имеющихся экспериментальных данных, в частности, при высоких концентрациях парацетамола, когда явно наблюдаются некоторые эффекты ингибирования. Уравнение Холдейна описывает субстратное ингибирование, что соответствует замедлению биодеструкции субстрата в начальной стадии разложения, однако это не соответствует экспериментальным данным, описывающим накопительное замедление процесса разложения с течением времени. Полученный результат демонстрирует невозможность использования классических неструктурированных моделей для моделирования процессов биоочистки без внесения дополнительных изменений. И таким образом, задача разработки математического описания данного процесса до текущего момента адекватного решения не имеет.

В связи с результатами, описанными в [10], авторами данной работы предложена новая кинетическая схема процесса биоразложения парацетамола штаммом бактерий *Staphylococcus sciuri* DPP1 (рис. 1). В цепи разложения парацетамола выделен некий промежуточный продукт, накапливающийся в системе по ходу процесса и оказывающий ингибирующее действие на его начальную стадию, что объясняет стремительное разложение парацетамола на начальной стадии и последующее его замедление – проявление накопительного характера ингибирования. В таком случае промежуточный продукт становится ингибитором для процесса разложения субстрата. Проведя декомпозицию, процесс разделили на две стадии: первая стадия – процесс разложения парацетамола S в промежуточный продукт Z , вторая стадия – дальнейшее разложение и рост биомассы. Появление промежуточного продукта Z оказывает негативное влияние на первую стадию, при этом рост бактерий положительно влияет на биodeградацию субстрата S .

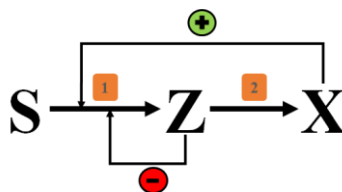


Рисунок 1 – Ингибирование распада парацетамола промежуточным z-метаболитом

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА

На основе схемы (рис. 1) для описания удельной скорости 1-й стадии принято уравнение Моно с учётом ингибирования этой стадии её продуктом – z-метаболитом:

$$\mu_s = \frac{\mu_{0s} S}{k_{ss} + S + k_i z}, \quad (1)$$

где μ_{0s} – максимальная удельная скорость распада парацетамола, 1/сут.;

k_{ss} – константа насыщения 1-й стадии, г/л;

s – концентрация парацетамола, г/л;

k_i – константа ингибирования;

z – концентрация промежуточного метаболита, г/л.

Для описания удельной скорости 2-й стадии (распада z-метаболита) выбрано уравнение Моно без учёта какого-либо ингибирования:

$$\mu_z = \frac{\mu_{0z} z}{k_{sz} + z}, \quad (2)$$

где μ_z – удельная скорость распада z -метаболита, 1/сут.;

k_{sz} – константа насыщения 2-й стадии, г/л;

μ_{0z} – максимальная удельная скорость распада z -метаболита, 1/сут.

Тогда дифференциальные уравнения изменения концентраций субстрата, z -метаболита и биомассы принимают следующий вид:

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{\mu_s x}{Y}, \quad (3)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\mu_s x}{Y} - \frac{\mu_z x}{Y}, \quad (4)$$

$$\frac{dx}{dt} = \mu_z x, \quad (5)$$

где x – концентрация биомассы, г/л;

t – время процесса, сут.;

$Y = x_{\max}/s_0$ – выход биомассы по субстрату, г/г;

s_0 – начальная концентрация субстрата в среде, г/л.

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

Система (1)–(5) содержит 5 неизвестных параметров ($\mu_{0s}, \mu_{0z}, k_{ss}, k_{sz}, k_i$), которые в традиционных подходах к моделированию микробиологических процессов были бы константами при любом составе среды. Однако, как уже указывалось ранее, это было бы справедливо для роста культур в лабораторных условиях на сбалансированных средах, идеальных для метаболизма клеток. В процессах биоочистки такого, как правило, не бывает из-за специфичности взаимодействия клеток с продуктами цепи распада сложных молекул субстрата. Поэтому система (1)–(5) либо требует надстройки в виде дополнительных дифференциальных уравнений, либо приходится принять, что часть из заявленных параметров ($\mu_{0s}, \mu_{0z}, k_{ss}, k_{sz}, k_i$) константами не являются, а могут зависеть от начальной концентрации парацетамола. Первый вариант требует более детального анализа химизма цепи разложения, однако при кажущемся наличии физического смысла в упомянутых надстройках такого типа их результативность может оказаться крайне низкой, а сложность модели и, как следствие, разрядность оптимизационной задачи поиска констант при этом существенно возрастает. Поэтому авторам данной работы кажется более перспективным второй подход, поскольку для его реализации достаточно классических методов вычислительной математики.

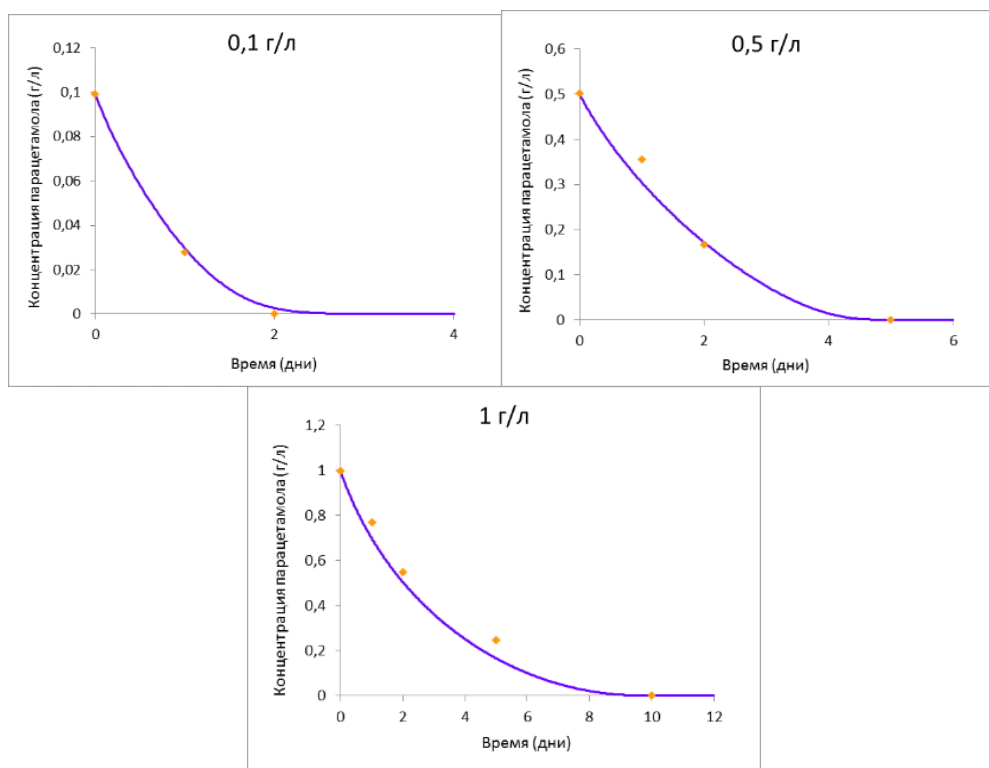
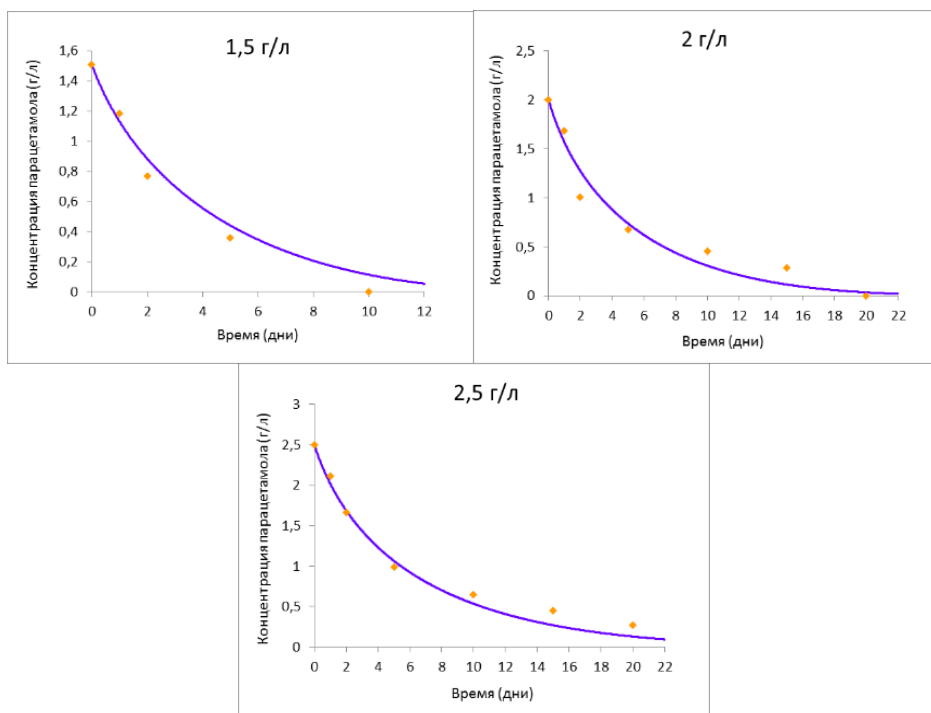
Итак, на первом этапе предстояло выяснить, какие из параметров ($\mu_{0s}, \mu_{0z}, k_{ss}, k_{sz}, k_i$) могут оставаться постоянными, а какие должны меняться относительно начальных условий среды при условии, что вторых в модели должно быть как можно меньше. Для этого проводилась серия вычислительных экспериментов по определению чувствительности влияния варьирования параметров модели на кинетические кривые. На основе этих исследований было принято рассматривать константы насыщения k_{ss} и k_{sz} , а также константу ингибирования k_i , непосредственно константами, а максимальные удельные скорости μ_{0s} и μ_{0z} – функциями от начальной концентрации субстрата s_0 . Для определения зависимостей $\mu_{0s}(s_0)$ и $\mu_{0z}(s_0)$ решалась серия двумерных оптимизационных задач $R_j(\mu_{0sj}, \mu_{0zj}) \rightarrow \min$ при некоторых наборах значений k_{ss}, k_i и k_{sz} . Начальное приближение констант задавалось на основе полученных в работе [10] результатов. В результате этих исследований было выявлено, что искомые зависимости $\mu_{0s}(s_0)$ и $\mu_{0z}(s_0)$, несмотря на используемый набор значений k_{ss}, k_i и k_{sz} , достаточно точно описываются экспоненциальными функциями:

$$\mu_{0s}(s_0) = k_{11} - k_{12}e^{-k_{13}s_0}, \quad \mu_{0z}(s_0) = k_{22}e^{-k_{23}s_0}. \quad (6)$$

Далее была решена многомерная оптимизационная задача $R(k_{ss}, k_{sz}, k_i, k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{22}, k_{23}) \rightarrow \min$ методом покоординатного спуска [11] и найдены оптимальные значения констант, представленные в таблице. Кинетические кривые расчёта по модели с промежуточным z -метаболитом представлены на рисунках 2–3. Видно, что модель правильно описывает качественные тенденции процесса биоразложения парацетамола. Таким образом, введение в рассматриваемую модель каких-либо более сложных и специфичных эффектов и влияний нецелесообразно.

Таблица – Оптимальные значения констант системы (1)–(6)

Константа	k_{ss}	k_{sz}	k_i	γ	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{21}	k_{22}
Значение	0,04	0,04	2,60	0,1	0,277	0,233	0,710	0,100	0,920

Рисунок 2 – Результаты расчёта по модели с промежуточным метаболитом Z: левый – $s_0 = 0,1$ г/л, центральный – $s_0 = 0,5$ г/л, правый – $s_0 = 1,0$ г/лРисунок 3 – Результаты расчёта по модели с промежуточным метаболитом Z: левый – $s_0 = 1,5$ г/л, центральный – $s_0 = 2,0$ г/л, правый – $s_0 = 2,5$ г/л

Для количественной оценки результатов, предсказываемых моделью, была выполнена проверка адекватности по критерию Фишера, которая показала удовлетворительный результат. Также для демонстрации концепции, заложенной в модели согласно рисунку 1, был выполнен расчёт процесса в безразмерных концентрациях парацетамола (рис. 4).

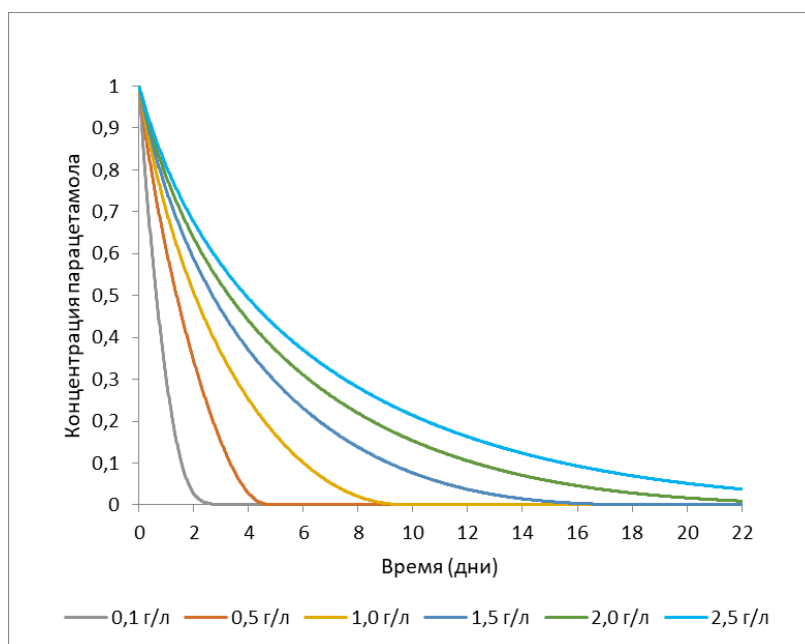


Рисунок 4 – Кинетические кривые на масштабированной оси концентраций

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Видно, что с ростом S_0 кривые разложения становятся более пологими, при том, что начальная скорость разложения меняется не сильно. Увеличение длительности процесса с ростом S_0 связано с постепенным падением начальной скорости, что может возникать именно за счёт накопительного эффекта с отрицательной обратной связью, реализованного в модели путём выделения труднорастворимого промежуточного z-метаболита, постепенно меняющего свойства среды и, как следствие, функциональную активность клеток. Таким образом, разработанная модель поможет в дальнейшем прогнозировать длительность процесса и степень очистки в зависимости от исходной концентрации парацетамола.

Список источников

1. Прожерина, Ю. Фармацевтические отходы как новая экологическая проблема / Ю. Прожерина // Ремедиум. Журнал о российском рынке лекарств и медицинской технике. – 2017. – № 11. – С. 14–19.
2. Chopra, S. Biodegradation and kinetic analysis of acetaminophen with co-culture of bacterial strains isolated from sewage wastewater / S. Chopra, D. Kumar // Current Microbiology. – 2020. – Vol. 77, № 10. – P. 3147–3157.
3. Song, J. Biodegradation and metabolic pathway of sulfamethoxazole by *Sphingobacterium mizutaii* / J. Song et al. // Scientific reports. – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 23130.
4. Li, X. Bibliometric analysis of artificial intelligence in wastewater treatment: Current status, research progress, and future prospects / X. Li et al. // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2024. – Vol. 12, № 4. – P. 113152.
5. Behera, S. K. Application of artificial intelligence tools in wastewater and waste gas treatment systems: Recent advances and prospects / S. K. Behera et al. // Journal of Environmental Management. – 2024. – Vol. 370. – P. 122386.
6. Baker, R. E. Mechanistic models versus machine learning, a fight worth fighting for the biological community? / R. E. Baker et al. // Biology Letters. – 2018. – Vol. 14, № 5. – P. 20170660.
7. Селянинов, А. А. Стохастический анализ повторяемости процесса биологической деструкции дротаверина гидрохлорида / А. А. Селянинов, Е. В. Вихарева, И. Б. Ившина и др. // Российский журнал биомеханики. – 2013. – Т. 17, № 1 (59). – С. 41–54.
8. Hartmann, F. S. F. Digital models in biotechnology: towards multi-scale integration and implementation / F. S. F. Hartmann et al. // Biotechnology Advances. – 2022. – Vol. 60. – P. 108015.
9. Muloiswa, M. Comparison of unstructured kinetic bacterial growth models / M. Muloiswa, S. Nyende-Byakika, M. Dinka // South African Journal of Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 33. – P. 141–150.
10. Кожухарь, О. Ю. Исследование допустимости использования уравнения Холдейна для описания изменения удельной скорости процесса биоразложения парацетамола / О. Ю. Кожухарь, Е. А. Дружкина, А. С. Скичко // Успехи в химии и химической технологии. – 2023. – Т. 37, № 11. – С. 81–84.

11. Кожухарь, О. Ю. Влияние положения констант в уравнениях математических моделей на методологию их поиска / О. Ю. Кожухарь, А. С. Скичко // Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика. – 2022. – Т. 24. – С. 105–112.

References

1. Prozherina, Yu. Pharmaceutical waste as an emerging environmental issue. *Remedium. A magazine about the Russian market of medicines and medical equipment*, 2017, no. 11, pp. 14–19 (In Russ.).
2. Chopra, S., Kumar, D. Biodegradation and kinetic analysis of acetaminophen with co-culture of bacterial strains isolated from sewage wastewater. *Current Microbiology*, 2020, vol. 77, no. 10, pp. 3147–3157.
3. Song, J. et al. Biodegradation and metabolic pathway of sulfamethoxazole by *Sphingobacterium mizutaii*. *Scientific reports*, 2021, vol. 11, no. 1, p. 23130.
4. Li, X. et al. Bibliometric analysis of artificial intelligence in wastewater treatment: Current status, research progress, and future prospects. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2024, vol. 12, no. 4, p. 113152.
5. Behera, S. K. et al. Application of artificial intelligence tools in wastewater and waste gas treatment systems: Recent advances and prospects. *Journal of Environmental Management*, 2024, vol. 370, p. 122386.
6. Baker, R. E. et al. Mechanistic models versus machine learning, a fight worth fighting for the biological community? *Biology Letters*, 2018, vol. 14, no. 5, p. 20170660.
7. Selyaninov, A. A., Vikhareva, E. V., Ivshina, I. B. et al. Stochastic repeatability analysis of the biological degradation process of drotaverine hydrochloride. *Russian Journal of Biomechanics*, 2013, vol. 17, no. 1 (59), pp. 41–54 (In Russ.).
8. Hartmann, F. S. F. et al. Digital models in biotechnology: towards multi-scale integration and implementation. *Biotechnology Advances*, 2022, vol. 60, p. 108015.
9. Muloiwa, M., Nyende-Byakika, S., Dinka, M. Comparison of unstructured kinetic bacterial growth models. *South African Journal of Chemical Engineering*, 2020, vol. 33, pp. 141–150.
10. Kozhukhar, O. Yu., Druzhkina, E. A., Skichko, A. S. Investigation of the acceptability of using the Haldane equation to describe the change in the specific rate of paracetamol biodegradation process. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*, 2023, vol. 37, no. 11, pp. 81–84 (In Russ.).
11. Kozhukhar, O. Yu., Skichko, A. S. Influence of the position of constants in the equations of mathematical models on their search methodology. *Bulletin of the International Academy of Systems Research. Informatics, Ecology, Economics*, 2022, vol. 24, pp. 105–112 (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 09.12.2024; одобрена после рецензирования 12.01.2025; принята к публикации 17.01.2025.

The article was submitted 09.12.2024; approved after reviewing 12.01.2025; accepted for publication 17.01.2025.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.9

СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ СХЕМ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ БАЗОВЫХ БЛОКОВ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ

Лапина Мария Анатольевна, Северо-Кавказский федеральный университет, Российская Федерация, 355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1,

доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики, кандидат физико-математических наук, доцент, ORCID: 0000-0001-8117-9142, e-mail: mlapina@ncfu.ru

Коронский Антон Александрович, Северо-Кавказский федеральный университет, Российская Федерация, 355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1,

студент кафедры вычислительной математики и кибернетики, ORCID: 0009-0001-7393-3501, e-mail: akoronskiy@yandex.ru

Плетухин Алексей Павлович, Северо-Кавказский федеральный университет, Российская Федерация, 355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1,

студент кафедры вычислительной математики и кибернетики, ORCID: 0009-0007-9077-3910, e-mail: mrster03@gmail.com

Лапин Виталий Геннадьевич, Северо-Кавказский федеральный университет, Российская Федерация, 355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1,

доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики, кандидат физико-математических наук, ORCID: 0000-0002-0611-7002, e-mail: vitlx@yandex.ru

В настоящее время цифровые схемы играют огромную и незаменимую роль, поскольку они являются неотъемлемой частью огромного множества настоящих технологий, которые повсеместно и ежедневно используются человечеством в абсолютно различных сферах, начиная от простых бытовых приборов, таких как стиральные машины, холодильники или микроволновые печи, и заканчивая технически сложными вычислительными машинами, например, серверные устройства, компьютеры или сетевые устройства. Цифровые схемы являются неотъемлемой частью, а также обеспечивают функциональность всех современных цифровых устройств. Не будь цифровых схем, невозможно было бы представить себе многие открытия, а также инновации в абсолютно различных областях, таких как медицина, связь и системы передачи информации, транспорт, системы безопасности. Цифровые схемы являются важной составляющей современной жизни, а их синтез формирует основу для реализации новых технологий, которые позволяют улучшить жизнь общества.

Ключевые слова: цифровые схемы, синтез цифровых схем, логические операции, конъюнкция, дизъюнкция, отрицание, стандартные операции, мультиплексор, демультиплексор, сумматор, системы безопасности

SYNTHESIS OF DIGITAL CIRCUITS FOR THE IMPLEMENTATION OF BASIC BLOCKS OF SECURITY SYSTEMS

Lapina Maria A., North Caucasus Federal University, 1 Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation,

Associate Professor of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, ORCID: 0000-0001-8117-9142, e-mail: mlapina@ncfu.ru

Koronskiy Anton A., North Caucasus Federal University, 1 Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation,

student of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, ORCID: 0009-0001-7393-3501, e-mail: akoronskiy@yandex.ru

Pletukhin Alexey P., North Caucasus Federal University, 1 Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation,

student of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, ORCID: 0009-0007-9077-3910, e-mail: mrster03@gmail.com

Lapin Vitalii G., North Caucasus Federal University, 1 Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation,

Associate Professor of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, ORCID: 0000-0002-0611-7002, e-mail: vitlx@yandex.ru

Currently, digital circuits play a huge and irreplaceable role, since they are an integral part of a huge variety of real technologies that are widely and daily used by mankind in completely different fields, ranging from simple household appliances such as washing machines, refrigerators or microwaves, and ending with technically complex computing machines, such as server devices, computers or network devices. Digital circuits are an integral part of, and also provide the functionality of, all modern digital devices. Without digital circuits, it would be impossible to imagine many discoveries, as well as innovations in completely different fields, such as medicine, communications and information transmission systems, transport, and security systems. Digital circuits are an important component of modern life, and their synthesis forms the basis for the implementation of new technologies that can improve the life of society.

Keywords: digital circuits, synthesis of digital circuits, logical operations, conjunction, disjunction, inversion, standard operations, multiplexer, demultiplexer, adder, security systems

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире использование цифровых схем является присущим при реализации любых современных цифровых устройств.

Цифровые схемы во многом облегчают жизнь людей, способствуют развитию и позволяют создавать новые технологии, которые дают возможность к прогрессированию науки, техники, медицины, телекоммуникационных технологий и даже бытовой электроники. Важно понимать их влияние на многие аспекты жизни, поскольку они являются частью всех сфер жизни. Благодаря им появляется возможность эффективно, т. е. с должной надежностью и скоростью, обрабатывать, передавать, а также хранить информацию. Цифровые схемы постепенно становятся все более сложными и многофункциональными. Такие изменения объясняются развитием технологий, увеличением объема информации для обработки и передачи.

Цифровые схемы позволяют создавать устройства, способные выполнять широкий спектр задач, от обработки звука и изображений до управления сложными системами, такими как транспортные средства и промышленные роботы. Число применений цифровых схем растет с каждым годом, чтобы удовлетворить растущую потребность в автоматизации и интеллектуальных решениях.

ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ СХЕМ

Цифровые схемы – это электрические схемы, основой которых являются дискретные уровни напряжения. Они являются наиболее часто используемым механическим способом представления булевой алгебры – раздела математики, который занимается изучением операций над логическими выражениями [1]. Логическое выражение – запись, состоящая из логических величин-переменных, объединенных между собой логическими операциями. Каждая переменная высказывания может принимать значения «истина» или «ложь», также обозначаемые соответственно 1 и 0 [2].

Работа цифровых схем основана на выполнении логических операций, которые можно описать с помощью булевых функций. Поскольку схема, состоящая из логических элементов, реализует булеву функцию – ее синтез представляет собой построение структуры схемы, реализующей необходимую булеву функцию.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В РАЗЛИЧНЫХ БАЗИСАХ

Любой набор логических операций, с помощью которого можно описать логическую функцию, называется базовым блоком или базисом. В такой набор входят только основные логические операции И, ИЛИ, НЕ. Комбинированное использование данных операций позволяет строить более сложные логические выражения [3].

Существует большое число базовых блоков, которые глобально могут быть разделены на избыточные и минимальные. Так, базисы называются избыточными в тех случаях, когда исключение одной логической операции не приводит к потере функциональности блока. В противном случае базисы называются минимальными.

Как уже было сказано ранее, базисов существует огромное множество, однако среди них можно выделить самые основные.

Наиболее распространенным является базис {И, ИЛИ, НЕ} или булевый базис. Данный базовый блок является избыточным, для построения схем с его использованием могут быть использованы как минимальная дизъюнктивная, так и минимальная конъюнктивная нормальные формы. В данном случае функция представляет собой сочетание логических элементов И, ИЛИ и НЕ [4].

Базис И-НЕ (базис Шеффера) представляет собой базовый блок, позволяющий реализовать логическую функцию на элементах И, НЕ. Данная реализация осуществляется за счет преобразования булевого базиса по правилу Де Моргана, т. е. избавления от дизъюнкции между элементарными конъюнкциями.

Базис ИЛИ-НЕ (базис Пирса) также является базовым блоком, позволяющим, в свою очередь, реализовать логическую функцию на элементах ИЛИ, НЕ. Для реализации также используется правило Де Моргана, однако в данном случае необходимо избавиться от конъюнкции между элементарными дизъюнкциями.

ЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ КАК ОСНОВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЦИФРОВЫХ СХЕМ

Логические операции – это действия, выполняющиеся над логическими значениями, которые могут принимать значения истина и ложь. Логические операции являются основными составляющими и служат для формирования сложных логических выражений.

Существует большое множество примеров логических операций, рассмотрим основные из них.

Конъюнкция – логическое умножение, логическое «И». Логическая операция, которая подразумевает истинность высказывания только в том случае, когда все входящие высказывания истинны [5].

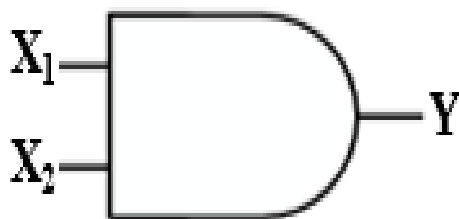


Рисунок 1 – Графическое изображение конъюнкции с двумя входами в цифровой схеме

В таблице 1 приведена таблица истинности для логической операции конъюнкции.

Таблица 1 – Таблица истинности конъюнкции для двух входных значений

X1	X2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Рисунок 2 – Графическое изображение конъюнкции с тремя входами в цифровой схеме

Таблица 2 – Таблица истинности конъюнкции для трех входных значений

X1	X2	X3	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Дизъюнкция – логическое сложение, логическое «ИЛИ». Логическая операция, которая подразумевает истинность высказывания в тех случаях, когда хотя бы одно входящее высказывание истинно.



Рисунок 3 – Графическое изображение дизъюнкции с двумя входами в цифровой схеме

В таблице 3 приведена таблица истинности для логической операции дизъюнкция с двумя входными значениями.

Таблица 3 – Таблица истинности для дизъюнкции двух входных значений

X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

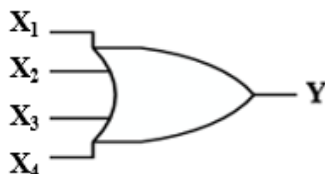


Рисунок 4 – Графическое изображение дизъюнкции с четырьмя входами в цифровой схеме

В таблице 4 приведена таблица истинности для логической операции дизъюнкции с четырьмя входными значениями.

Таблица 4 – Таблица истинности для дизъюнкции с четырьмя входными значениями

X1	X2	X3	X4	Y
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
...
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

Отрицание – логическое «НЕ». Отрицание изменяет логическое выражение на противоположное, т. е. истина меняется на ложь и наоборот.

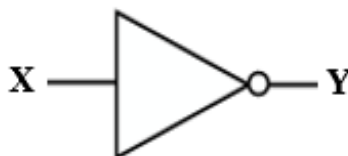


Рисунок 5 – Графическое изображение отрицания в цифровой схеме

В таблице 5 приведена таблица истинности для логической операции отрицания.

Таблица 5 – Таблица истинности отрицания

X	Y
0	1
1	0

Логическое «И-НЕ» – логическая операция, совмещающая в себе операции конъюнкции и отрицания. Подразумевает выполнение операции конъюнкции, а затем инверсию полученного результата. Следовательно, выходное значение будет принимать истину в тех случаях, когда одно из входных значений является ложным.

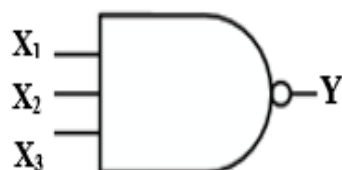


Рисунок 6 – Графическое изображение логического «И-НЕ» в цифровой схеме

В таблице 6 приведена таблица истинности для логической «И-НЕ».

Таблица 6 – Таблица истинности для логического «И-НЕ»

X1	X2	X3	Y	$\neg Y$
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	0	1
1	0	0	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	0

Логическое «ИЛИ-НЕ» – логическая операция, совмещающая в себе операции дизъюнкции и отрицания. Выходное значение будет принимать истину в тех случаях, когда все входные значения являются ложными.



Рисунок 7 – Графическое изображение логического «ИЛИ-НЕ» в цифровой схеме

В таблице 7 приведена таблица истинности для логической «ИЛИ-НЕ».

Таблица 7 – Таблица истинности для логического «ИЛИ-НЕ»

X1	X2	Y'	Y
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

Исключающее «ИЛИ» – логическая операция, выходным значением работы которой будет истина в тех случаях, когда на вход поступают разные значения-чередования «0» и «1» [6].



Рисунок 8 – Графическое изображение исключающего «ИЛИ» в цифровой схеме

В таблице 8 приведена таблица истинности для исключающего «ИЛИ».

Таблица 8 – Таблица истинности для исключающего «ИЛИ»

X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СТАНДАРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Мультиплексор – устройство, имеющее один или более управляющих входов и один выход. Мультиплексоры предназначены для адресной передачи многих входящих сигналов на один выходной порт [7].

Схемная реализация мультиплексоров требует использования логических операций конъюнкции, дизъюнкции и отрицания. На рисунке 9 представлен пример его схемной реализации.

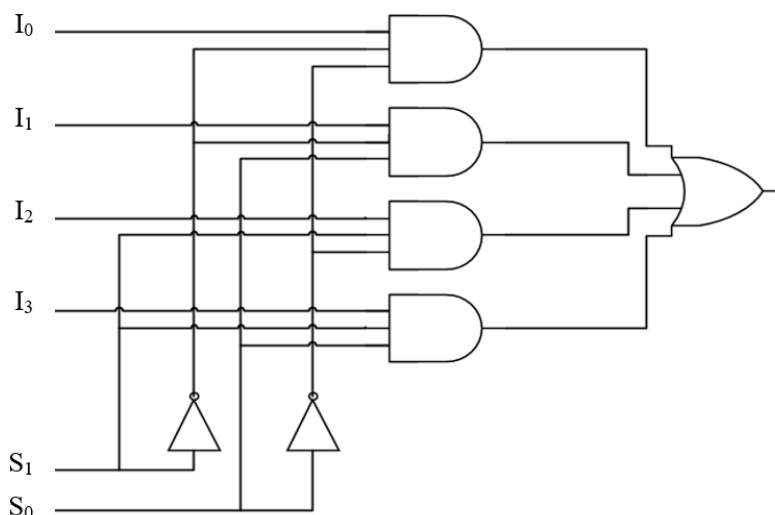


Рисунок 9 – Схемное решение мультиплексора с четырьмя входами

Демультимплексор – устройство, предназначенное для переключения сигнала с одного информационного входа на один из информационных выходов.

На рисунке 10 представлен пример его схемной реализации.

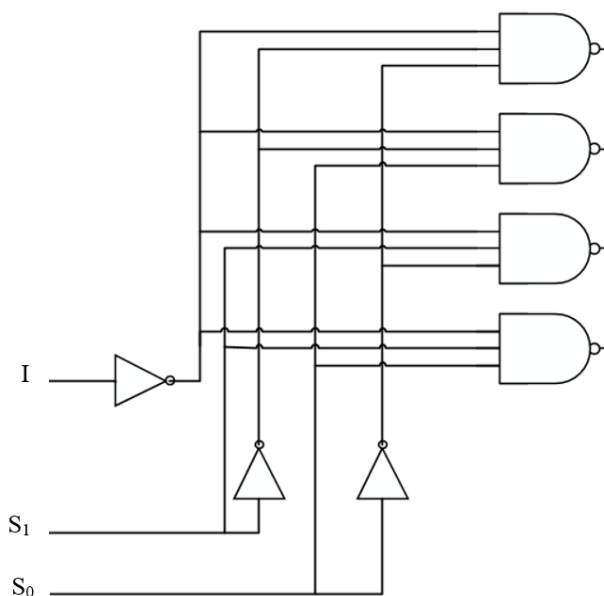


Рисунок 10 – Схемное решение демультимплексора с четырьмя выходами

Сумматор – это логический узел, предназначенный для выполнения арифметического сложения кодов двух чисел. В схемной реализации сумматора используются логические операции конъюнкции, дизъюнкции и исключающего «ИЛИ» [8].

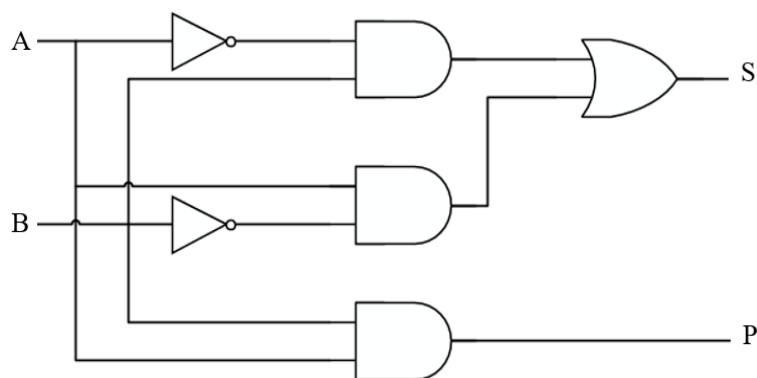


Рисунок 11 – Схемное решение сумматора

В реализации сумматора, рассматриваемой на рисунке 11, выход S представляет собой сумму двоичного сложения входных сигналов A и B, а выход P описывает перенос, когда сумма цифр текущего разряда больше его размера.

Умножитель – это логический узел, предназначенный для выполнения операции умножения двух чисел. Умножитель широко используются во многих цифровых устройствах, например, связанных с цифровой обработкой сигналов, микропроцессорах и других различных вычислительных устройствах.

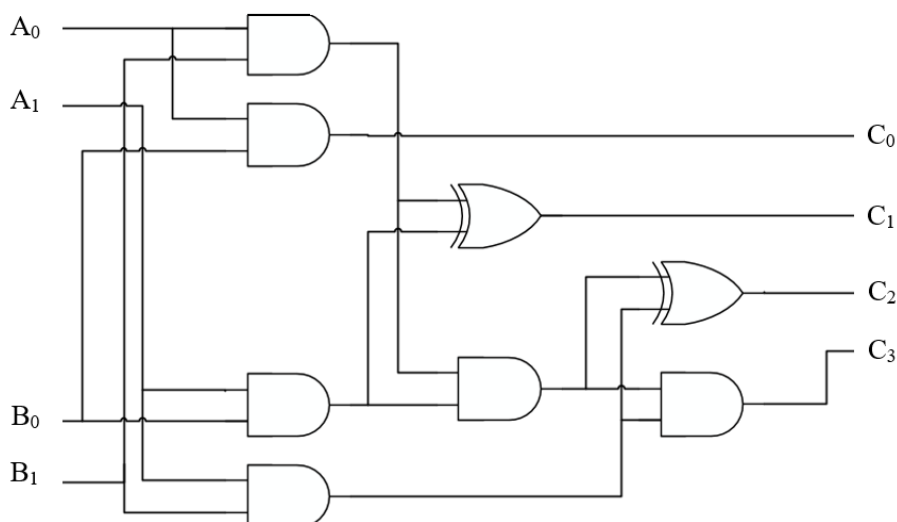


Рисунок 12 – Схемное решение 2x2 бит умножителя

Умножение основано на побитовой операции «И», каждый бит первого множителя умножается на каждый, соответствующий ему, бит второго множителя. В результате получают частичные произведения, которые в дальнейшем суммируются с помощью сумматора для получения конечного результата умножения.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАНДАРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ БАЗОВЫХ БЛОКОВ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ

Цифровые схемы являются ключевыми компонентами систем безопасности, а синтез данных схем является критически важной составляющей при реализации любых систем безопасности. Процесс синтеза представляет собой разработку надежных, функциональных и отказоустойчивых устройств, предназначенных для выполнения функций безопасности как повседневной жизни общества, так и на критически важных объектах.

В таблице 9 приведены данные, показывающие, какие стандартные операции зачастую используются при реализации систем безопасности.

Таблица 9 – Таблица применения стандартных операций в системах безопасности

Система безопасности	Используемые операции
Система аварийной остановки	– Мультиплексор – Демультимплексор – Регистр – Шифратор
Система контроля доступа	– Шифратор – Дешифратор – Регистр
Система защиты информационных данных	– Шифратор – Дешифратор – Регистр
Блок управления исполнительными механизмами	– Мультиплексор – Демультимплексор – Регистр – Шифратор/ Дешифратор
Блок мониторинга состояния системы	– Сумматор – Регистр – Мультиплексор – Дешифратор

Каждая из рассмотренных в таблице 7 система безопасности в общем виде состоит из конкретных определенных стандартных операций. Так, например, регистр используется для хранения информации о текущем состоянии. Мультиплексор и демультимплексор предназначены для распределения различного рода сигналов от нескольких источников к одному и от одного к нескольким соответственно. Шифратор используется для преобразования сигнала и информации в нечитаемый вид для их безопасной передачи.

Помимо физических систем безопасности, синтез цифровых схем играет неотъемлемую роль и в области кибербезопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение стоит отметить, что цифровые схемы – это основная составляющая современных цифровых технологий. Данные технологии не достигли пика своего развития, они постепенно развиваются, улучшаются, трансформируются. Однако они требуют понимания принципа своей работы, устройство цифровых схем является многогранным. Инновации в этой области помогают развитию как науки, так и повседневных цифровых устройств. Они являются основой всех современных устройств, от бытовой электроники до сложных вычислительных систем. Их развитие постепенно продолжается, что открывает новые возможности в науке и технике.

Список источников

1. Digital circuit. – URL: https://engineering.fandom.com/wiki/Digital_circuit.
2. Булева алгебра – что это такое простыми словами: основы и операции. – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/buleva-algebra/>.
3. Кондратьев А. В. Основы цифровой схемотехники : учебное пособие. – 2016.
4. Багоцкий Е. В. Представления логических функций в разных базисах: – URL: <https://multiurok.ru/files/predstavleniia-logicheskikh-funksii-v-raznykh-baz.html>.
5. Серая, Г. В. Методические аспекты освоение элементов математической логики // Теоретические и прикладные аспекты естественнонаучного образования в эпоху цифровизации / Г. В. Серая, В. С. Новиков. – 2023. – С. 287–289.
6. Иванов А. И. Использование двухслойной нейронной сети для выполнения операции исключающего «ИЛИ» // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ ИМ. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. – 2022. – С. 158–163.
7. Ярмухаметов, У. Р. Цифровые устройства: учебное пособие / У. Р. Ярмухаметов, А. Т. Ахметшин. – 2022.
8. Кургузов, А. В. Мультиплексоры / А. В. Кургузов // Новые аспекты моделирования систем и процессов. – 2023. – С. 536–539.
9. Куницын, В. И. Сумматор и его назначение / В. И. Куницын, Е. В. Иванова, Т. П. Новикова // Новые аспекты моделирования систем и процессов. – 2023. – С. 530–535.
10. Шифраторы и дешифраторы. – URL: <https://studizba.com/lectures/informatika-i-programmirovanie/lekcii-po-vychislitelnoy-tehnike/4252-shifraty-i-deshifraty.html>.

11. Павлов, Д. А. Схемотехническое моделирование регистра памяти цифрового автомата в по «SIMINTECH» / Д. А. Павлов // Современная научно-образовательная среда: междисциплинарный подход : сборник статей. – 2023. – С. 17–20.
12. Стельмашонок, Е. В. Цифровые технологии и проблемы информационной безопасности / Е. В. Стельмашонок, И. Н. Васильевой. – 2021.
13. Артамонов, В. А. Кибербезопасность в условиях цифровой трансформации социума / В. А. Артамонов, Е. В. Артамонова. – 2022. – С. 777–784.
14. Буренева, О. И. Аппаратная реализация умножителя с использованием группировок разрядов аргументов / О. И. Буренева, А. П. Павлов // Материалы XXVII Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. – 2024. – С. 296–299.

References

1. *Digital circuit*. Available at: https://engineering.fandom.com/wiki/Digital_circuit.
2. *Boolean algebra – what it is in simple words: basics and operations*. Available at: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/buleva-algebra/> (In Russ.).
3. Kondratiev, A. V. *Fundamentals of digital circuit engineering. The training manual*, 2016 (In Russ.).
4. Bagotskiy, E. V. *Representations of logical functions in different bases*. Available at: <https://multiurok.ru/files/predstavleniia-logicheskikh-funktsii-v-raznykh-baz.html> (In Russ.).
5. Seraya, G. V., Novikov, V. S. Methodological aspects of mastering the elements of mathematical logic. *Theoretical and applied aspects of natural science education in the era of digitalization*, 2023, pp. 287–289 (In Russ.).
6. Ivanov, A. I. Using a two-layer neural network to perform an exclusive "OR" operation. *International Scientific and Technical Conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov, dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences*, 2022, pp. 158–163 (In Russ.).
7. Yarmukhametov, U. R., Akhmetshin, A. T. *Digital devices. The training manual*, 2022 (In Russ.).
8. Kurguzov, A. V. Multiplexers. *New aspects of modeling systems and processes*, 2023, pp. 536–539 (In Russ.).
9. Kunitsyn, V. I., Ivanova, E. V., Novikova, T. P. The adder and its purpose. *New aspects of modeling systems and processes*, 2023, pp. 530–535 (In Russ.).
10. *Encoders and decryptors*. Available at: <https://studizba.com/lectures/informatika-i-programmirovanie/lekcii-po-vychislitelnoy-tehnike/4252-shifratory-i-deshifratory.html>.
11. Pavlov, D. A. Circuit modeling of the memory register of a digital automaton in the software "SIMINTECH". *Modern scientific and educational environment: an interdisciplinary approach : collection of articles*, 2023, pp. 17–20 (In Russ.).
12. Stelmashonok, E. V., Vasilyeva, I. N. *Digital technologies and problems of information security*, 2021 (In Russ.).
13. Artamonov, V. A., Artamonova, E. V. *Cybersecurity in the context of digital transformation of society*, 2022, pp. 777–784 (In Russ.).
14. Bureneva, O. I., Pavlov, A. P. Hardware implementation of a multiplier using groupings of argument digits. *Proceedings of the XXVII International Conference on Soft Computing and Measurements*, 2024, pp. 296–299 (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 30.01.2025; одобрена после рецензирования 12.01.2025; принята к публикации 04.03.2025.

The article was submitted 30.01.2025; approved after reviewing 12.01.2025; accepted for publication 04.03.2025.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале публикуются материалы на английском и русском языках по тематике, соответствующей утвержденным для журнала отраслям наук, группам специальностей.

2. В список соавторов работ включаются только те лица, которые внесли творческий вклад в подготовку представленных материалов. Лицам, оказавшим только техническую помощь, можно выразить благодарность в конце статьи. Один человек может быть автором (соавтором) не более чем двух статей в одном номере журнала, причем единственным автором он может быть только в одной статье.

3. Объем публикаций для научных статей должен быть не менее 8 страниц, а количество источников в библиографическом списке (списке литературы) – не менее 10 позиций.

4. Содержание каждой статьи должно включать следующие элементы: УДК; название статьи; сведения об авторах, включая их место работы, должность, адрес электронной почты; аннотацию объемом от 100 до 250 слов, ключевые слова (от 9 до 13); графическую аннотацию, отражающую содержание статьи; название статьи, сведения об авторах, аннотацию и ключевые слова на английском языке (для англоязычных статей – на русском языке); введение – оно должно заканчиваться формулировкой цели работы в явной форме; собственно текст статьи – очень желательна его сегментация на разделы, имеющие содержательные заголовки; выводы или заключение (должны соответствовать формулировке цели статьи).

5. Для русскоязычных статей приводится два библиографических списка: на языке оригинала статьи; список с транслитерацией русскоязычных источников на латиницу и (дополнительно) приведением в квадратных скобках переводов названий статей и названий источников на английский язык.

В «русскоязычном» библиографическом списке (списке литературы) порядок следования источников – по алфавиту фамилий авторов (сначала русскоязычные источники, потом иноязычные). На все источники, включенные в библиографический список, должны быть даны ссылки в тексте статьи в квадратных скобках. При необходимости авторы могут указывать номера страниц в источниках, на которые даются ссылки. Приветствуются ссылки на иноязычные источники, а также на материалы, опубликованные ранее в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии». Однако в последнем случае количество таких ссылок не должно превышать 20 % от общего количества источников, включенных в библиографический список. Для источников, имеющих DOI, целесообразно его указывать. При ссылках на статьи, опубликованные в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии», целесообразно в конце библиографического описания источника в круглых скобках указывать гиперссылку, указывающую на место размещения статьи на странице сайта Астраханского государственного университета.

Ссылки в библиографическом списке на материалы, размещенные в интернете, допускаются при соблюдении следующих условий: если у материала, на который дается ссылка, имеется автор и/или название, то они должны быть указаны для этого источника; должен быть приведен полный маршрут доступа к источнику в интернете; должна быть указана дата обращения (доступа) к источнику.

Ограничения по списку литературы: доля самоцитирований для любого из авторов статьи, а также по совокупности всех авторов статьи, не должна превышать 25 %; доля ссылок на статьи с участием одного автора, не являющегося автором (соавтором) статьи, не должна превышать 25 %.

6. Суммарная доля таблиц и иллюстраций в общем объеме представляемой статьи не должна превышать 40 %. Под иллюстрациями понимаются следующие объекты: диаграммы; графики; рисунки; эскизы; фотографии; карты и т. п.

7. Доля оригинального текста в статьях (оцениваемого через систему «Антиплагиат» на сайте www.antiplagiat.ru) должна быть не менее 80 %.

8. Указание на то, что работа финансируется по какому-либо гранту, в рамках Федеральной целевой программы, государственного заказа и пр. дается в виде постраничной сноски после заголовка (названия) работы.

9. В сведения об авторах работ помимо места работы и должности целесообразно включать ORCID автора и гиперссылку на страничку с его личными наукометрическими показателями на сайте www.elibrary.ru. По желанию можно привести также ссылки на странички с наукометрическими показателями на Scopus, в ResearchGate; на личную страничку, размещенную на сайте организации.

10. Основные технические требования к оформлению статей (материалов):

10.1. Текст должен быть расположен по ширине страницы формата А4 с учётом полей (все поля по 2,5 см), набран шрифтом Times New Roman, кегль 12, межстрочный интервал 1,0. В таблицах, подрисуночных надписях допускается уменьшенный шрифт – вплоть до 10 кегля. Альбомная ориентация страниц допускается только в порядке исключения для следующих случаев: широкоформатные таблицы с большим количеством колонок; иллюстрации большого размера, которые не умещаются на странице с книжной ориентацией.

Абзацные отступы одинаковы по всему тексту – 0,75 см. Кавычки («»), скобки ([], ()), маркеры и другие знаки должны быть аналогичными на протяжении всего предоставляемого для публикации материала.

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:
управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2025
№ 1 (69)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Федеральной службы по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия
ПИ № ФС77-31932 от 16 мая 2008 г.

Учредитель
Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Адрес редакции:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20

Адрес издателя:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Издание включено в Интернет-каталог
ООО «Агентство «Книга-Сервис» 2022/1

Главный редактор И. М. Ажмухамедов

Редактирование,
компьютерная правка, верстка *Н. Н. Сахно*

Дата выхода в свет 30.06.2025 г.

Цена свободная
Уч.-изд. 12,0. Усл. печ. л. 16,8.
Заказ № 4677. Тираж 500 экз. (первый завод – 24 экз.)

Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
тел. (8512) 24-66-60 (доб. 3; издательско-полиграфический отдел)
Отпечатано в Астраханской цифровой типографии
414040, г. Астрахань, пл. К. Маркса, 33
тел./факс (8512) 54-00-11, 73-40-40,
E-mail: a-d-t@mail.ru