

ISSN 2518-1092

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

RESEARCH RESULT. INFORMATION TECHNOLOGY

10(4) 2025

16+

Сайт журнала:
rinformation.ru
сетевой научный рецензируемый журнал
online scholarly peer-reviewed journal



Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл. № ФС77-69101 от 14 марта 2017 г.
Журнал включен в Перечень ВАК рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика).
Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).
The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor)
Mass media registration certificate El. № FS 77-69101 of March 14, 2017
The journal is included into the List of Higher Attestation Commission of peer-reviewed scientific publications where the main scientific results of dissertations for obtaining scientific degrees of a candidate and doctor of science should be
(1.2.1. Artificial Intelligence and machine learning, 2.3.1. The system analysis, management and information processing, statistics).
The journal is introduced in Russian Science Citation Index (RSCI).



Том 10, № 4. 2025

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 10, № 4. 2025

ONLINESCHOLARLYPEER-REVIEWEDJOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: **Черноморец А.А.**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: **Жихарев А.Г.**, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры информационных и робототехнических систем Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: **Болгова Е.В.**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

РЕДАКТОР АНГЛИЙСКИХ ТЕКСТОВ: **Ляшенко И.В.**, кандидат филологических наук, доцент, доцент кафедры английской филологии и межкультурной коммуникации Белгородского государственного национального исследовательского университета

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Басов О.О., доктор технических наук, доцент, руководитель центра искусственного интеллекта (Акционерное общество «АСТ»), г. Москва)

Белов С.П., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Волчков В.П., доктор технических наук, профессор (Московский технический университет связи и информатики, г. Москва)

Дмитриенко В.Д., доктор технических наук, профессор (Харьковский национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина)

Иващук О.А., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Калмыков И.А., доктор технических наук, профессор (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь)

Корсунов Н.И., заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Коськин А.В., доктор технических наук, профессор (Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел)

Ломазов В.А., доктор физико-математических наук, профессор (Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, г. Белгород)

Маторин С.И., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Орлова Ю.А., доктор технических наук, доцент (Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград)

Таранчук В.Б., доктор физико-математических наук, профессор, (Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь)

EDITORIAL TEAM:

EDITOR-IN-CHIEF: **Andrey A. Chernomorets**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Belgorod State National Research University

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF: **Alexander G. Zhikharev**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

EXECUTIVE SECRETARY: **Evgeniya V. Bolgova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

ENGLISH TEXT EDITOR: **Igor V. Lyashenko**, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of English Philology and Intercultural Communication, Belgorod State National Research University

EDITORIAL BOARD:

Oleg O. Basov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor (Russia)

Sergey P. Belov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Valery P. Volchkov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Valery D. Dmitrienko, Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukraine)

Olga A. Ivaschuk, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Igor A. Kalmykov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Nikolay I. Korsunov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Alexander V. Koskin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Vadim A. Lomazov, Doctor of Physical and Mathematical, Professor (Russia)

Sergey I. Matorin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Yulia A. Orlova, Doctor of Technical Science, Associate Professor (Russia)

Valery B. Taranchuk, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Belarus)

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Издатель: НИУ «БелГУ». Адрес издателя: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85.

Журнал выходит 4 раза в год

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education «Belgorod State National Research University»

Publisher: Belgorod State National Research University

Address of publisher: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

Publication frequency: 4 /year

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОЛОГИИINFORMATION SYSTEM
AND TECHNOLOGIES

Болгова Е.В., Черноморец А.А., Буханцов А.Д., Фуников А.Д. О показателях работоспособности методов распознавания при условии приближенной разметки тестовых данных	3	Bolgova E.V., Chernomorets A.A., Bukhantsov A.D., Funikov A.D. On Performance Indicators of Recognition Methods, Provided that the Test Data is Approximately Marked Up	3
---	----------	--	----------

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

AUTOMATION AND CONTROL

Духовников В.А., Абрамова О.Ф. Мобильная платформа для контроля расходов и планирования технического обслуживания автомобилей с применением методов машинного обучения	14	Duhovnikov V.A., Abramova O.F. Mobile Platform for Expense Control and Vehicle Maintenance Planning Using Machine Learning Methods	14
Тихонова И.В., Громов А.В. Формирование, учет и ребалансировка инвестиционного портфеля на платформе «1С: Предприятие»	27	Tikhonova I.V., Gromov A.V. Information System to Make, Accounting and Rebalancing Investment Portfolio on the 1C: Enterprise Platform	27
Рыбанов А.А., Дроздов С.Д. Компаративный анализ эффективности использования Firebase Test Lab для тестирования мобильных приложений	47	Rybanov A.A., Drozdov S.D. Comparative Analysis of Firebase Test Lab Effectiveness for Mobile Application Testing	47

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ
И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙARTIFICIAL INTELLIGENCE
AND DECISION MAKING

Абрамов К.В., Балабанова Т.Н., Белов А.С., Новиков А.Г. Нейронные сети в задаче распознавания мошеннических операций с кредитными картами	61	Abramov K.V., Balabanova T.N., Belov A.S., Novikov A.G. Neural Networks in the Task of Recognizing Credit Card Fraud	61
Хрупин Д.С., Шапцев В.А. Метод квантования нейронных сетей обнаружения на встраиваемых системах	70	Khrupin D.S., Shaptsev V.A. Quantization Method for Detection Neural Networks on Embedded Systems	70
Бузов П.А., Жихарев А.Г., Малкуш Е.В., Кузнецов А.В. Системно-объектное моделирование как инструмент верификации и оптимизации системы контроля качества в производственной линии (на примере продукции «ДенталКаст 50 тип 4»)	77	Buzov P.A., Zhikharev A.G., Malkush E.V., Kuznetsov A.V. System-Object Modeling as a Tool for Verification and Optimization of the Quality Control System in a Production Line (Case Study of «DentalCast 50 Type 4» Product)	77
Юрчак В.А. Использование тематической кластеризации в мультимодальных данных для поиска неявных связей и трендов в развитии тезаурусов	88	Yurchak V.A. Using Thematic Clustering in Multimodal Data to Search for Implicit Connections and Trends in Thesaurus Development	88

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

УДК 004.4

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-1

**Болгова Е.В.
Черноморец А.А.
Буханцов А.Д.
Фуников А.Д.**

О ПОКАЗАТЕЛЯХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИ УСЛОВИИ ПРИБЛИЖЕННОЙ РАЗМЕТКИ ТЕСТОВЫХ ДАННЫХ

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: bolgova_e@bsuedu.ru, chernomorets@bsuedu.ru, bukhantsov@bsuedu.ru, funikov@bsuedu.ru

Аннотация

Для оценивания и сравнения эффективности применения методов распознавания объектов при решении конкретной задачи применяются различные показатели работоспособности. При оценивании показателей работоспособности данных методов на основании анализа реальных тестовых данных разметка оператором пикселей, принадлежащих объекту, во многих случаях может быть выполнена достаточно приближенно. В работе предложены оценки показателей Accuracy, Precision, Recall, F1-мера работоспособности методов распознавания (классификации) при условии приближенной разметки тестовых данных (изображений). В работе также предложено в качестве показателя работоспособности методов распознавания так называемое нормированное среднеквадратическое расстояние между множеством ложно-выделенных пикселей и множеством пикселей объекта, которое в отличие от других показателей позволяет оценить распределение на изображении ложно-выделенных пикселей относительно пикселей объектов, что имеет важное значение при оценивании и сравнении эффективности различных методов распознавания. В работе приведены примеры вычисления значений предложенных показателей.

Ключевые слова: показатели работоспособности; методы распознавания; цифровые изображения; дилатация; нормированное среднеквадратическое расстояние

Для цитирования: Болгова Е.В., Черноморец А.А., Буханцов А.Д., Фуников А.Д. О показателях работоспособности методов распознавания при условии приближенной разметки тестовых данных // Научный результат. Информационные технологии. – Т.10, №4, 2025. – С. 3-13. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-1

**Bolgova E.V.
Chernomorets A.A.
Bukhantsov A.D.
Funikov A.D.**

ON PERFORMANCE INDICATORS OF RECOGNITION METHODS, PROVIDED THAT THE TEST DATA IS APPROXIMATELY MARKED UP

Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: bolgova_e@bsuedu.ru, chernomorets@bsuedu.ru, bukhantsov@bsuedu.ru, funikov@bsuedu.ru

Abstract

Various performance indicators are used to evaluate and compare the effectiveness of object recognition methods in solving a specific task. When evaluating the performance of these methods based on the analysis of real test data, the operator's marking of pixels belonging to an object can in many cases be performed fairly approximately. The paper proposes estimates of Accuracy, Precision, Recall, and F1-score indicators of the efficiency of recognition (classification) methods under the condition of approximate markup of test data (images). The paper also suggests the so-

called normalized mean-square distance between a set of False Positive pixels and a set of pixels of an object as an indicator of the performance of recognition methods, which, unlike other indicators, allows us to estimate the distribution of False Positive pixels in an image relative to pixels of objects, which is important when evaluating and comparing the effectiveness of various recognition methods. The paper provides examples of calculating the values of the proposed indicators.

Keywords: performance indicators; recognition methods; digital images; dilation; normalized mean-square distance

For citation: Bolgova E.V., Chernomorets A.A., Bukhantsov A.D., Funikov A.D. On Performance Indicators of Recognition Methods, Provided that the Test Data is Approximately Marked Up // Research result. Information technologies. – T.10, №4, 2025. – P. 3-13. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-1

ВВЕДЕНИЕ

Для решения задач распознавания объектов, заключающихся в отнесении анализируемых объектов к одному из априори заданных классов (решается задача классификации), в настоящее время разработано значительное количество методов. Для оценивания и сравнения их эффективности при решении конкретной задачи применяются различные критерии (показатели работоспособности).

В работе рассматриваются показатели работоспособности методов распознавания (классификации) объектов двух классов, которые применяются при бинарной классификации, обнаружении объекта на изображении, сегментации и др. [1-3].

Вычисление показателей работоспособности заданного метода классификации основано на результатах его применения при обработке тестовых данных, для которых априори известно разделение на два класса (известны представители так называемых положительного и отрицательного классов). При этом в результате применения метода эти данные распределяются (например, на основании вычисления критерия (статистики)), по четырем классам [1-3]:

- класс верно определенных представителей положительного класса (истинно-положительный класс, True Positive), количество элементов в классе обозначают TP ;
- класс верно определенных представителей отрицательного класса (истинно-отрицательный класс, True Negative), количество элементов в классе обозначают TN ;
- класс объектов, ошибочно (ложно) определенных как положительные (ложноположительный класс, False Positive), количество элементов в классе обозначают FP ;
- класс объектов, ошибочно (ложно) определенных как отрицательные (ложноотрицательный класс, False Negative), количество элементов в классе обозначают FN .

При бинарной классификации, используя полученные результаты, строится матрица ошибок (confusion matrix), приведенная в таблице 1, которая используется для визуализации эффективности метода классификации [1-2]:

Таблица 1

Пример матрицы ошибок

Table 1

Example of an error matrix

Матрица ошибок		Априори известен	
		Положительный класс	Отрицательный класс
Результат вычислительного эксперимента, вычисление критерия (статистики)	Положительный класс (получен)	TP	FP (ошибка 1 рода, «ложная тревога»)
	Отрицательный класс (получен)	FN (ошибка 2 рода, «пропуск цели»)	TN

На основании значений TP , TN , FP и FN для оценивания работоспособности методов распознавания (бинарной классификации) во многих случаях применяются следующие показатели [1-4]:

- *Accuracy* (Точность) – показатель, позволяющий оценить долю правильных решений, полученных на основе заданного метода, относительно всех решений:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}; \quad (1)$$

- *Precision* (Точность в смысле доли положительных решений) – показатель, позволяющий оценить долю правильных положительных решений относительно решений, выделенных на основе заданного метода как положительные:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}; \quad (2)$$

- *Recall* (Полнота) – показатель, позволяющий оценить долю правильных положительных решений, полученных на основе заданного метода, относительно всех априори положительных решений:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}; \quad (3)$$

- *F1-мера* – свертка показателей *Precision* и *Recall*, позволяющая сбалансировать их значения;

$$F1 = 2 \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}; \quad (4)$$

- и другие показатели.

Значения FP и FN применяют также при оценивании вероятностей ошибок 1 и 2 рода отвергнуть правильную нулевую гипотезы и правильную альтернативную гипотезы соответственно [5].

Следует отметить, что при оценивании показателей *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, *F1-мера* и др. работоспособности методов распознавания объектов на основании анализа реальных тестовых данных значений TP , TN , FP и FN для могут быть получены достаточно приближено в виду возможной неточности при априорном задании положительного и отрицательного классов. Например, разметка оператором пикселей на тестовом изображении, принадлежащих объекту и фону, во многих случаях может быть выполнена достаточно неточно.

ОЦЕНИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТОДА ПРИ УСЛОВИИ ПРИБЛИЖЕННОЙ РАЗМЕТКИ ТЕСТОВЫХ ДАННЫХ

Оценим вычисление значений TP , TN , FP и FN на примере классификации пикселей цифрового изображения на пиксели объекта и фона при условии приближенной разметки тестовых данных.

Для вычисления значений количества TP правильно выделенных пикселей объекта, количества FP ложно-выделенных пикселей, количества FN невыделенных пикселей объекта и количества TN правильно отмеченных пикселей, не принадлежащих объекту, требуется, кроме изображений с результатами выделения искомого объекта, наличие размеченных тестовых данных – изображений, в которых оператором выделены (размечены) пиксели, принадлежащие искомому объекту.

Следует отметить, что при оценивании работоспособности методов распознавания объектов на основании анализа реальных тестовых данных (изображений) разметка оператором пикселей, принадлежащих объекту, во многих случаях может быть выполнена достаточно приближенно.

При условии приближенной разметки тестовых данных (изображений) оценки количества TP^* правильно выделенных пикселей объекта, количества FP^* ложно-выделенных пикселей, количества FN^* невыделенных пикселей объекта и количества TN^* правильно отмеченных пикселей, не принадлежащих объекту, применяемые при оценивании показателей

работоспособности заданного метода распознавания, могут быть получены для оснований следующих утверждений и процедур.

В случаях невозможности выполнения точной разметки пикселей объектов на тестовых изображениях целесообразно считать справедливым следующее утверждение.

Утверждение 1. Неразмеченный пиксель $I(k_1, k_2)$, $k_1 = 1, 2, \dots, N_1$, $k_2 = 1, 2, \dots, N_2$, тестового изображения I , размерности $N_1 \times N_2$ пикселей, считается принадлежащим искомому объекту, если в ε -окрестности этого пикселя имеется отличный от $I(k_1, k_2)$ пиксель, размеченный как пиксель объекта.

Степень принадлежности α_{k_1, k_2} неразмеченного пикселя $I(k_1, k_2)$ объекту определяется следующим соотношением:

$$\alpha_{k_1, k_2} = \frac{N_{k_1, k_2}}{N_\varepsilon}, \quad (5)$$

где N_{k_1, k_2} – количество в ε -окрестности пикселя $I(k_1, k_2)$ пикселей, размеченных как принадлежащих искомому объекту, N_ε – общее количество пикселей в ε -окрестности.

Отметим, например, что для ε -окрестности, определяемой как прямоугольное окно размерности 3×3 пикселя, величина N_ε равна 8; для ε -окрестности, определяемой как прямоугольное окно размерности 5×5 пикселя, величина N_ε равна 24 и т.д.

Степень принадлежности пикселя, размеченного как пиксель объекта, будем считать равной 1.

В данной работе при любом положительном значении степени принадлежности α_{k_1, k_2} пикселя:

$$\alpha_{k_1, k_2} > 0,$$

будем считать, то пиксель $I(k_1, k_2)$ является пикселем, принадлежащим объекту (то есть в его ε -окрестности находится хотя бы один размеченный пиксель объекта).

Для оценивания количества T_1 пикселей, принадлежащих объекту на исходном тестовом изображении, учитывая Утверждение 1, можно применить следующую процедуру.

Обозначим, A_0 – бинарное изображение, размерности $N_1 \times N_2$ пикселей, содержащее результаты разметки оператором пикселей объекта на исходном тестовом изображении I (пиксель изображения A_0 равен 1, если он размечен как принадлежащий объекту, в противном случае – равен 0).

Построим бинарное изображение A_1 , размерности $N_1 \times N_2$ пикселей, содержащее результат выполнения морфологической операции дилатация [6-8] над изображением A_0 :

$$A_1 = A_0 \oplus El, \quad (6)$$

где \oplus – операция дилатации изображения A_0 со структурообразующим элементом El . В работе предлагается применять структурообразующий элемент в виде прямоугольника размером $d_1 \times d_2$ пикселей. Размеры $d_1 \times d_2$ структурообразующего элемента определяются из условий постановки задачи распознавания, например, размеры структурообразующего элемента могут иметь значения 2×3 , 5×5 и др. пикселей.

Тогда, оценка количества T_1 пикселей, принадлежащих объекту на тестовом изображении I , определяется количеством единичных пикселей изображения A_1 ,

$$T_1 = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} A_1(i, j). \quad (7)$$

На основании соотношения (7) оценка количества T_2 пикселей, не принадлежащих объекту на исходном тестовом изображении, определяется следующим образом:

$$T_2 = T_0 - T_1, \quad (8)$$

где T_0 – количество пикселей в исходном изображении,

$$T_0 = N_1 N_2,$$

N_1, N_2 – размеры исходного изображения (пиксели).

Для оценивания количества правильно выделенных пикселей объекта сформулируем следующее утверждение.

Утверждение 2. Если в ε –окрестности выделенного пикселя имеется пиксель, размеченный как пиксель объекта, то считается, что пиксель правильно выделен.

Обозначим, B_0 – бинарное изображение, размерности $N_1 \times N_2$ пикселей, содержащее результаты выделения пикселей объекта на тестовом изображении I на основании заданного метода (пиксель изображения B_0 равен 1, если он выделен как принадлежащий объекту, в противном случае – равен 0).

Анализ бинарного изображения B_0 позволяет получить оценку количества T_3 пикселей, выделенных на основании заданного метода как пиксели объекта:

$$T_3 = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} B_0(i, j). \quad (9)$$

Построим бинарное изображение B_1 , размерности $N_1 \times N_2$ пикселей, содержащее правильно выделенные пиксели (в соответствии с Утверждением 2), как результат пересечения множеств единичных пикселей изображений B_0 и A_1 (6):

$$B_1 = B_0 \cap A_1. \quad (10)$$

Оценка количества TP^* правильно выделенных пикселей объекта на изображении, учитывая Утверждение 2, определяется количеством единичных пикселей изображения B_1 ,

$$TP^* = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} B_1(i, j). \quad (11)$$

Учитывая соотношения (9) и (11), получим оценку количества FP^* ложно-выделенных пикселей объекта:

$$FP^* = T_3 - TP^*. \quad (12)$$

При этом изображение, содержащее ложно-выделенные пиксели, может быть представлено бинарным изображением B_2 , которое определяется как результат пересечения множеств единичных пикселей изображения B_0 и инверсии \bar{B}_1 изображения B_1 :

$$B_2 = B_0 \cap \bar{B}_1. \quad (13)$$

Оценка FN^* количества невыделенных при применении заданного метода пикселей объекта, учитывая соотношения (7) и (11), может быть получена на основании следующего соотношения:

$$FN^* = T_1 - TP^*. \quad (14)$$

Оценка TN^* количества правильно отмеченных при применении заданного метода пикселей, не принадлежащих объекту, учитывая соотношения (8) и (12), может быть получена на основании следующего соотношения:

$$TN^* = T_2 - FP^*. \quad (15)$$

Таким образом, для показателей *Accuracy*, *Precision*, *Recall* и *F1* работоспособности заданного метода распознавания при условии приближенной разметки тестовых данных, учитывая соотношения (7)-(9) и (11), могут быть использованы следующие оценки $Accuracy^*$, $Precision^*$, $Recall^*$ и $F1^*$ соответственно:

$$Accuracy^* = (TP^* + TN^*) / T_0, \quad (16)$$

$$Precision^* = TP^* / T_3, \quad (17)$$

$$Recall^* = TP^* / T_1. \quad (18)$$

$$F1^* = 2 \frac{Precision^* \cdot Recall^*}{Precision^* + Recall^*}. \quad (19)$$

Важными показателями работоспособности заданного метода являются вероятности ошибок 1 рода (вероятность «ложной тревоги») и 2 рода (вероятность «пропуска цели») отклонить или принять основную гипотезу [5]. При условии следующей формулировки основной гипотезы: анализируемый пиксель изображения не принадлежит объекту, оценки P_1^* и P_2^* вероятностей ошибок 1 и 2 рода в случае приближенной разметки тестовых данных, учитывая (7), (8), (12) и (14), могут быть получены на основании следующих соотношений:

$$P_1^* = FP^* / T_2, \quad (20)$$

$$P_2^* = FN^* / T_1. \quad (21)$$

НОРМИРОВАННОЕ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЕ РАССТОЯНИЕ

Следует отметить, что рассмотренные выше показатели работоспособности не отражают распределение на изображении ложно-выделенных (ложно-положительных) пикселей относительно расположения пикселей объекта.

В работах [9, 10] для оценивания максимального расстояния между двумя контурами объектов на изображении применяется расстояние Хаусдорфа [11]. Однако, получаемая оценка не отражает особенности распределения на изображении пикселей одного множества относительно пикселей другого множества.

В работе для оценивания получаемого при применении заданного метода распределения ложно-выделенных пикселей предлагается применять так называемое нормированное среднеквадратическое расстояние d^* между множеством ложно-выделенных пикселей и множеством пикселей объекта на тестовом изображении. Для вычисления нормированного среднеквадратического расстояния d^* разработана следующая процедура.

Обозначим $L = \{l_i\}$, $i = 1, 2, \dots, FP^*$, множество ложно-выделенных пикселей, содержащее FP^* пикселей. Отметим, что пиксели множества L соответствуют единичным пикселям изображения B_2 (13).

Обозначим, $G = \{g_k\}$, $k = 1, 2, \dots, T_1$, множество пикселей объектов на тестовом изображении с учетом возможности приближенной разметки тестовых данных. Отметим, что пиксели множества G соответствуют единичным пикселям бинарного изображения A_1 (6).

Для каждого ложно-выделенного пикселя l_i , $i = 1, 2, \dots, FP^*$, вычислим минимальное расстояние d_i между пикселем l_i множества L и пикселями множества G :

$$d_i = dist(l_i, G), \quad i = 1, 2, \dots, FP^*, \quad (22)$$

где $dist(l_i, G)$ – функция вычисления минимального расстояния на плоскости между заданной точкой (пиксель l_i) и множеством точек на плоскости (пиксели множества G) на основании алгоритма вычисления проекции точки на множество [12].

Рассмотрим множество $D = \{d_i\}$, $i = 1, 2, \dots, FP^*$, значений вычисленных минимальных расстояний (22).

Нормированным среднеквадратическим расстоянием d^* между множеством ложно-выделенных пикселей и множеством пикселей объекта на тестовом изображении, размерности $N_1 \times N_2$ пикселей, будем считать следующую величину:

$$d^* = \sqrt{\frac{1}{FP^*} \sum_{i=1}^{FP^*} d_i^2} \cdot \sqrt{\frac{N_1^2 + N_2^2}{N_1^2 + N_2^2}}. \quad (23)$$

Следует отметить, что нормированное среднеквадратическое расстояние (23) между множеством ложно-выделенных пикселей и множеством пикселей объекта может служить дополнительным показателем работоспособности заданного метода распознавания.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

В качестве примера использования предложенных показателей рассмотрим следующие вычислительные эксперименты на основе применения некоторых методов А и Б распознавания береговой линии на изображениях морской акватории.

На рисунке 1 приведены пример изображения морской акватории, размерности 494×740 пикселей, и пример приближенного выделения оператором пикселей береговой линии.

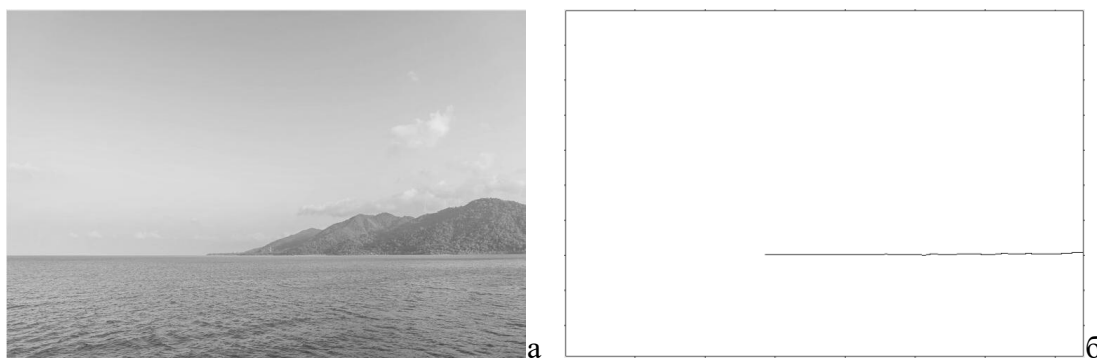


Рис. 1. Исходные данные: а – изображение морской акватории, б – пример приближенного выделения оператором пикселей береговой линии

Fig. 1. Initial data: a – a sea area image, b – example of approximate selection of coastline pixels by the operator

Для того чтобы учесть приближенное задание оператором пикселей береговой линии над изображением, приведенном на рисунке 1б, была выполнена морфологическая операция дилатации со структурообразующим элементом в виде прямоугольника, размерности 5×5 пикселей.

Пусть, применяя некоторые методы распознавания А и Б, выделены пиксели береговой линии изображения, приведенного на рисунке 1а.

На рисунке 2 приведены в виде бинарных изображений результаты применения метода А и метода Б распознавания береговой линии на изображении (на рисунках 2а и 2б черным цветом отмечены пиксели, выделенные с помощью соответствующего метода как принадлежащие береговой линии).

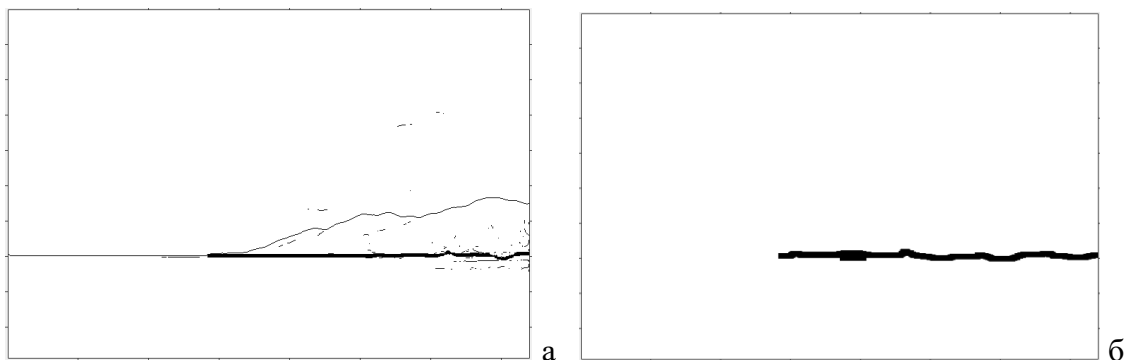


Рис. 2. Результаты применения методов распознавания береговой линии на изображениях:
а – метод А, б – метод Б

Fig. 2. Results of applying coastline recognition methods in images: a – method A, b – method B

На основании полученных результатов без учета возможной приближенной разметки тестовых данных были вычислены показатели *Accuracy*, *Precision*, *Recall* и *F1*-мера (1)-(4) работоспособности методов распознавания А и Б. Соответствующие значения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели работоспособности методов распознавания (без учета возможной приближенной разметки тестовых данных)

Table 2

Performance indicators of recognition methods (excluding possible approximate marking of test data)

Показатель	Метод А	Метод Б
<i>Accuracy</i>	0,9916	0,9893
<i>Precision</i>	0,123	0,1034
<i>Recall</i>	0,9199	0,9696
<i>F1</i> -мера	0,217	0,187

Интерпретация значений показателей работоспособности методов распознавания, приведенных в таблице 2, может указывать на то, что результаты обнаружения береговой линии с помощью метода А являются предпочтительнее, чем результаты, полученные с помощью метода Б. Однако, интерпретация изображений, приведенных на рисунке 2, с позиций визуального контроля может указывать на предпочтительность результатов, полученных с помощью метода Б.

С учетом приближенной разметки оператором тестовых данных на основании результатов, полученных с помощью методов А и Б, были вычислены оценки показателей *Accuracy*^{*}, *Precision*^{*}, *Recall*^{*} и *F1*^{*}-мера (16)-(19), а также оценки P_1^* и P_2^* вероятностей ошибок 1 и 2 рода (20)-(21). Соответствующие значения приведены в таблице 3.

Таблица 3

Показатели работоспособности методов распознавания с учетом приближенной разметки оператором тестовых данных

Table 3

Performance indicators of recognition methods taking into account the approximate marking of test data by the operator

Показатель	Метод А	Метод Б
<i>Accuracy</i> *	0,996	0.9924
<i>Precision</i> *	0,6289	0.4507
<i>Recall</i> *	0,9239	0.8295
<i>F1</i> *-мера	0,7484	0.584
Оценка P_1^*	0,0035	0.007
Оценка P_2^*	0,0761	0.17

Данные, приведенные в таблицах 2 и 3, демонстрируют увеличение значений показателей *Accuracy*, *Precision*, *Recall* и *F1*-мера работоспособности метода А при учете приближенной разметки оператором тестовых данных по сравнению с показателями, полученными без учета возможной приближенной разметки тестовых данных, что является важным при выборе различных методов распознавания. Для метода Б практически все приведенные показатели работоспособности также продемонстрировали соответствующее увеличение в таблице 3 по сравнению с таблицей 2.

Следует отметить, что при оценивании предпочтительности результатов применения методов А и Б интерпретация значений показателей работоспособности данных методов, приведенных в таблице 3, также как интерпретация значений, приведенных в таблице 2, противоречит интерпретации с позиций визуального контроля изображений, приведенных на рисунке 2.

Полученное противоречие интерпретации результатов применения методов А и Б может быть разрешено на основании анализа значений нормированного среднеквадратического расстояния d^* (23) между множеством ложно-выделенных пикселей и множеством пикселей объекта на тестовом изображении.

Значения нормированного среднеквадратического расстояния d^* (23) между множеством ложно-выделенных пикселей, полученных с помощью методов распознавания А и Б, и множеством пикселей объекта на тестовом изображении для случаев с учетом и без учета приближенной разметки оператором тестовых данных приведены в таблице 4.

Таблица 4

Нормированное среднеквадратическое расстояние между множеством ложно-выделенных пикселей и множеством пикселей объекта

Table 4

Normalized root-mean-square distance between the set of false-positive pixels and the set of object pixels

Показатель	Метод А	Метод Б
Нормированное среднеквадратическое расстояние без учета возможной приближенной разметки тестовых данных	0,0649	0,0049
Нормированное среднеквадратическое расстояние с учетом приближенной разметки оператором тестовых данных	0,0982	0,004

Интерпретация значений нормированного среднеквадратического расстояния (23) между множеством ложно-выделенных пикселей и множеством пикселей объекта, приведенных в таблице 4, может указывать на существенную предпочтительность применения метода Б по сравнению с методом А для решения задачи распознавания береговой линии, что соответствует

интерпретации с позиций визуального контроля изображений, приведенных на рисунке 2, содержащих результаты применения указанных методов распознавания.

ВЫВОДЫ

Таким образом, предложенные в работе показатели работоспособности методов распознавания объектов (бинарной классификации) с учетом приближенной разметки оператором тестовых данных в большинстве случаев имеют большие значения по сравнению с широко применяемыми показателями работоспособности, вычисленные без учета возможной приближенной разметки тестовых данных, что может повысить предпочтительность выбора анализируемого метода распознавания относительно других методов.

Следует отметить, что один из предложенных в работе показателей работоспособности методов распознавания объектов – нормированное среднеквадратическое расстояние между множеством ложно-выделенных пикселей и множеством пикселей объекта, в отличие от других показателей позволяет оценить распределение на изображении ложно-выделенных пикселей относительно пикселей объектов, что имеет важное значение при оценивании и сравнении эффективности различных методов распознавания.

Список литературы

1. Михайличенко А.А. Аналитический обзор методов оценки качества алгоритмов классификации в задачах машинного обучения // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2022. №4 (311). – С. 52-59.
2. Лимановская О.В., Алферьева Т.И. Основы машинного обучения: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 88 с.
3. Левчук С.А., Якименко А.А. Исследование характеристик алгоритмов распознавания лиц // Сборник научных трудов НГТУ. – 2018. – № 3–4 (93). – С. 40–58.
4. Лазарев Д.А., Фуников А.Д., Болгова Е.В., Черноморец А.А., Фефелов О.С. Об алгоритмах сегментации цифровых изображений автомобильных дорог // Экономика. Информатика. 2025. Т. 52. № 1. С. 215-226.
5. Прикладная математическая статистика: Учеб. Пособие. / Составитель А.А. Мицель. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2019. – 113 с.
6. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology. – 1982. – 610 p.
7. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology. Vol. 2: Theoretical Advances. – 1988. – 411 p.
8. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
9. Лебедев Л.И., Васин Ю.Г. Двухкритериальный алгоритм распознавания объектов графических изображений на базе КЭМ // Юбилейная 25-а Международная конференция (GraphiCon2015), Россия, Протвино (Парк Дракино), 22–25 сентября 2015 г. 25th Anniversary International Conference (GraphiCon2015), Russia, Protvino (Park Drakino), September 22–25, 2015. – С. 112-114.
10. Хмелев Р.В. Совместное использование структурного анализа и метрики Хаусдорфа при сравнении объекта и эталона // Компьютерная оптика, 2005, № 27 – С. 174-176.
11. Хаусдорф Ф. Теория множеств. – М.-Л.: Объединенное научно-техническое изд-во НКТП СССР, 1937. – 305 с.
12. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации: Учеб. пособие. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2011. – 384 с.

References

1. Mikhailichenko A.A. An Analytical Review of Methods for Assessing the Quality of Classification Algorithms in Machine Learning Problems. Bulletin of Adyghe State University. Series 4: Natural, Mathematical, and Technical Sciences. 2022. No. 4 (311). pp. 52–59.
2. Limanovskaya O.V., Alferyeva T.I. Fundamentals of Machine Learning: A Textbook. Yekaterinburg: Ural University Press, 2020. 88 p.

3. Levchuk S.A., Yakimenko A.A. A Study of the Characteristics of Face Recognition Algorithms. Collection of Scientific Papers of NSTU. 2018. No. 3–4 (93). pp. 40–58.
4. Lazarev D.A., Funikov A.D., Bolgova E.V., Chernomorets A.A., Fefelov O.S. 2025 On Algorithms for Segmentation of Digital Images of Motor Roads. Economics. Information technologies, 52(1): 215-226 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-215-226.
5. Applied Mathematical Statistics: A Textbook. Author: A.A. Mitsel. – Tomsk: Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, 2019. – 113 p.
6. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology. – 1982. – 610 p.
7. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology. Vol. 2: Theoretical Advances. – 1988. – 411 p.
8. Gonzalez R. Digital Image Processing. 3rd edition, revised and supplemented / R. Gonzalez, R. Woods. – Moscow: Tekhnosfera, 2012. – 1104 p.
9. Lebedev L.I., Vasin Yu.G. A two-criteria algorithm for recognizing objects in graphic images based on the KECM // 25th Anniversary International Conference (GraphiCon2015), Russia, Protvino (Park Drakino), September 22–25, 2015. – P. 112–114.
10. Khmelev R.V. Joint use of structural analysis and the Hausdorff metric in comparing an object and a standard // Computer Optics, 2005, No. 27 – P. 174–176.
11. Hausdorff F. Set Theory. – M.-L.: United Scientific and Technical Publishing House of the People's Commissariat of Industrial Trade of the USSR, 1937. – 305 p.
12. Sukharev A.G., Timokhov A.V., Fedorov V.V. Course of optimization methods: Textbook. – 2nd ed. – Moscow: Fizmatlit, 2011. – 384 p.

Болгова Евгения Витальевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Черноморец Андрей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Буханцов Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры автоматизированных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Фуников Андрей Дмитриевич, ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Bolgova Evgeniya Vitalievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Chernomorets Andrey Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Bukhantsov Andrey Dmitrievich, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Associate Professor of the Department of Automated Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Funikov Andrey Dmitrievich, Assistant Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ AUTOMATION AND CONTROL

УДК 004.4

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-2

Духовников В.А.
Абрамова О.Ф.

МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАСХОДОВ И ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», ул. Энгельса, 42а, г. Волжский, Волгоградская область, 404121, Россия

e-mail: robin.homenson@mail.ru, astra@post.volpi.ru

Аннотация

В современном мире мобильные технологии играют ключевую роль в повседневной жизни, значительно упрощая выполнение различных задач. В полной мере это касается и автомобилистов-любителей, для которых своевременная и точная информация может повысить безопасность, комфорт и эффективность вождения. В этой статье представлен процесс проектирования и разработки мобильного приложения, которое выделяется среди аналогичных программных продуктов благодаря внедрению персонализированных экспертных рекомендаций. В условиях растущей потребности в локализованных решениях для российского рынка данное приложение предлагает комплексный подход, который включает систему экспертных рекомендаций, основанных на методах машинного обучения, а также использование персонализированных данных о пользователях, их транспортных средствах и расходах на обслуживание автомобильного средства для создания рекомендаций, направленных на оптимизацию технического обслуживания и повышение точности прогнозов. Мобильное приложение состоит из нескольких функциональных модулей, таких как управление автомобилями, анализ расходов, уведомления и социальный раздел MA Live. Это создаёт единое пространство для эффективного управления эксплуатацией автомобиля, удовлетворяя потребности как обычных пользователей, так и тех, кто ориентирован на социальное взаимодействие в автомобильном сообществе. Разработанная система использует методы прогнозирования, основанные на данных о транспортных средствах, их эксплуатации и поведении владельцев, с применением модели машинного обучения «Random Forest».

Ключевые слова: мобильное приложение; проектирование; разработка программных продуктов; персонализация; прогнозирование

Для цитирования: Духовников В.А., Абрамова О.Ф. Мобильная платформа для контроля расходов и планирования технического обслуживания автомобилей с применением методов машинного обучения // Научный результат. Информационные технологии. – Т.10, №4, 2025. – С. 14-26. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-2

Duhovnikov V.A.
Abramova O.F.

MOBILE PLATFORM FOR EXPENSE CONTROL AND VEHICLE MAINTENANCE PLANNING USING MACHINE LEARNING METHODS

Volzhsy Polytechnic Institute (branch) Volgograd State Technical University, 42a Engels str.,
Volzhsky, Volgograd region, 404121, Russia

e-mail: robin.homenson@mail.ru, astra@post.volpi.ru

Abstract

In today's world, mobile technologies play a key role in everyday life, greatly simplifying the performance of various tasks. This fully applies to amateur motorists, for whom timely and accurate information can improve safety, comfort and efficiency of driving. This paper presents the design and development process of a mobile application that stands out among similar software products by implementing personalized expert recommendations. With the growing need for localized solutions for the Russian market, this application offers a comprehensive approach that includes a system of expert recommendations based on machine learning techniques, as well as the use of personalized data about users, their vehicles and vehicle maintenance costs to create recommendations aimed at optimizing maintenance and improving forecast accuracy. The mobile app consists of several functional modules such as vehicle management, expense analysis, notifications and the MA Live social section. This creates a single space for efficient management of vehicle operation, meeting the needs of both regular users and those focused on social interaction in the automotive community. The developed system uses prediction methods based on vehicle data, vehicle operation and owner behavior using a machine learning model.

Keywords: mobile application; design; software development; personalization; forecasting

For citation: Duhovnikov V.A., Abramova O.F. Mobile Platform for Expense Control and Vehicle Maintenance Planning Using Machine Learning Methods // Research result. Information technologies. – Т.10, №4, 2025. – P. 14-26. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-2

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие мобильных технологий и цифровых сервисов [1,2] оказывает существенное влияние на эксплуатацию частного автотранспорта, усиливая потребность в локализованных цифровых решениях для отечественного рынка в условиях сокращения доступности иностранных приложений [3]. Контроль расходов на содержание автомобиля, планирование технического обслуживания, получение своевременных уведомлений о регламентных работах и организация взаимодействия между автовладельцами становятся важнейшими задачами, от эффективного решения которых зависит надёжность эксплуатации транспортных средств и оптимизация расходов.

Несмотря на то, что существует множество приложений для автомобилистов, большинство из них предлагают стандартные функции, не учитывающие индивидуальные особенности пользователя и его стиль вождения. Анализ существующих решений выявил их фрагментарность, ограниченность персонализации [4,5] и недостаточную интеграцию сервисов [6], что определяет необходимость комплексного подхода к проектированию и разработке мобильного приложения для автовладельца. Особенностью предложенного решения является внедрение системы экспертных рекомендаций на основе методов машинного обучения, использующей данные пользователей, их транспортных средств и расходов для моделирования реальных сценариев эксплуатации и повышения точности прогнозов.

Научная новизна разработки заключается в комплексной интеграции модуля интеллектуальных рекомендаций в мобильную платформу учёта расходов и планирования технического обслуживания частного автотранспорта. Система сочетает в себе функции финансового анализа, прогнозирования технических работ и социального взаимодействия пользователей, создавая единое пространство для управления эксплуатацией автомобиля на основе персонализированных данных.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На данный момент владельцы автомобилей сталкиваются с рядом сложностей, таких как отсутствие интеграции данных и функционала в одном приложении, что ведет к раздробленности решений и усложняет процессы сбора, обработки и анализа данных [6]. Более того, многие приложения предоставляют только усреднённые данные о расходах и обслуживании автомобилей,

не учитывая уникальные условия эксплуатации каждого транспортного средства, что снижает точность прогнозов и делает планирование менее эффективным [4,5]. При этом банковские приложения, которые на данный момент активно внедряют функционал для автовладельцев, ограничиваются лишь фиксацией финансовых транзакций и не могут предложить аналитическую информацию о техническом состоянии автомобиля, что ограничивает возможность полноценного планирования обслуживания [7]. Важно отметить, что отсутствие персонализированных рекомендаций на основе данных об эксплуатации и состоянии автомобиля также снижает эффективность существующих решений, что подтверждается рядом исследований, подчеркивающих необходимость учета индивидуальных условий эксплуатации для повышения точности прогнозов [7,4]. Дополнительные трудности создает тот факт, что многие эффективные приложения для учета расходов и управления транспортом разработаны зарубежными компаниями, что создает риски для российских пользователей в условиях политической и экономической нестабильности. Отсутствие локализованных решений на российском рынке может привести к возникновению проблем с поддержкой, адаптацией функционала и доступом к данным в случае изменений в политической ситуации [3].

Для проектирования мобильного приложения для владельцев частного транспорта были тщательно исследованы потребности разных категорий пользователей [8], начиная от тех, кто не интересуется социальной составляющей автомобильного сообщества, но активно использует функции учёта расходов и рекомендации на основе опыта владельцев схожих автомобилей, и заканчивая пользователями, для которых важна интеграция социальных функций и возможность обмена информацией с другими автовладельцами. На основании анализа выявленных в процессе исследования проблем, были сформулированы функциональные требования к системе, учитывающие максимальное количество ожиданий потенциальных пользователей. Общая модель функциональных требований к системе представлена на рисунке 1.

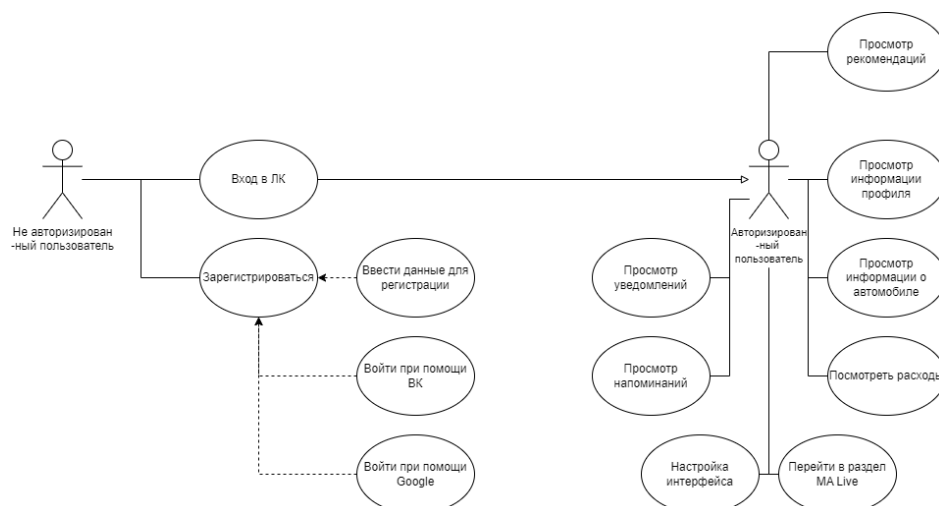


Рис. 1. Сокращённая UseCase диаграмма

Fig. 1. Abbreviated UseCase diagram

Авторизованные пользователи получают полный доступ к функциям системы, что позволяет им эффективно управлять своим личным профилем и получать актуальную информацию. Среди доступных функций — просмотр уведомлений, данных об автомобиле и учёт расходов, связанных с его эксплуатацией. Кроме того, пользователи могут настраивать интерфейс приложения под свои предпочтения, фильтровать публикации и сообщества по интересующим темам, а также активно взаимодействовать с другими участниками платформы. Все перечисленные функции направлены на создание комфортного и персонализированного опыта использования приложения, способствующего повышению вовлечённости и удовлетворённости пользователей.

Большое внимание в процессе проектирования было уделено выбору архитектурной модели и модульной декомпозиции. Система построена на клиент-серверной архитектуре [6], что позволяет чётко разделить ответственность между компонентами, повышая масштабируемость и упрощая сопровождение (рис.2). Клиентская часть представлена мобильным интерфейсом, который устанавливается на устройстве пользователя и включает функциональные модули, такие как «Профиль», «MA Live», «Расходы», «Уведомления» и «Автомобили». Эти компоненты отвечают за сбор пользовательских данных, отображение информации и навигацию.

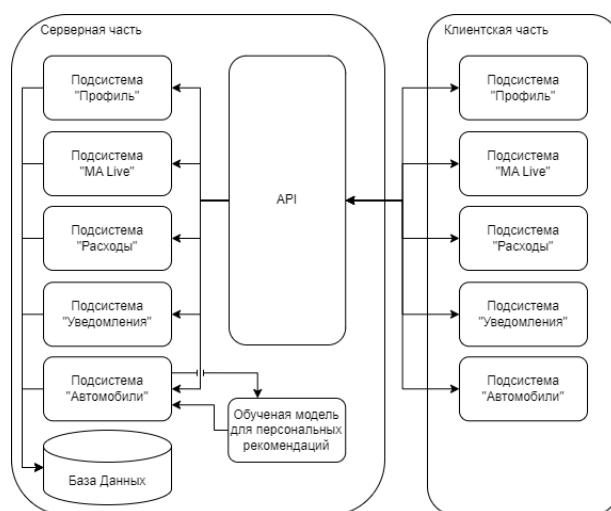


Рис. 2. Архитектура системы

Fig. 2. System architecture

В то время как вся бизнес-логика и обработка данных перенесены на сервер, обеспечивая лёгкость и удобство использования клиентской части. В состав серверной архитектуры приложения входит специализированный компонент, отвечающий за работу обученной модели персонализированных рекомендаций. Этот модуль интегрирован с базой данных и другими подсистемами, что позволяет формировать персонализированный контент и советы на основе анализа поведения пользователя и его истории взаимодействия с приложением. Обмен данными между клиентской частью и сервером происходит с помощью API. Клиентские модули отправляют запросы, которые сервер обрабатывает с учётом механизмов авторизации, выполняет необходимые вычисления и возвращает ответы в формате, оптимизированном для отображения на пользовательском устройстве. Такой подход обеспечивает гибкость и безопасность взаимодействия, позволяет минимизировать нагрузку на устройство пользователя и упростить обновление функциональности через сервер, а также высокую адаптивность рекомендаций к потребностям каждого пользователя.

В ходе анализа предметной области, охватывающей эксплуатацию частного транспорта и цифровое социальное взаимодействие между автовладельцами, была выделена совокупность ключевых сущностей, на которых базируется логическая структура информационной системы. К числу основных сущностей относятся:

- Пользователи системы – зарегистрированные участники, взаимодействующие с приложением;
- Автомобили и их характеристики – информация о марках, моделях, поколениях и технических характеристиках транспортных средств;
- Данные о расходах – категории и типы затрат, связанных с эксплуатацией автомобиля, что позволяет вести учет и анализировать финансовые аспекты;
- Пользовательский контент – публикации, комментарии, мультимедийные вложения и опросы, создаваемые участниками сообщества;

- Социальные взаимодействия – лайки, закладки, личные сообщения и связи между пользователями, обеспечивающие активное общение и обмен опытом;
- Группы и подписки – объединения по интересам, сообщества и механизмы подписки на контент, способствующие формированию тематических сообществ;
- Системные компоненты – токены доступа, попытки входа, версии контента, уведомления и отчёты, обеспечивающие безопасность и стабильность работы приложения.

Выделение и описание этих сущностей, а также их взаимосвязей послужили основой для построения физической модели базы данных разрабатываемой системы, которая обеспечивает эффективное управление информацией и поддержку персонализированных функций приложения.

Важной частью системы является модуль рекомендаций, который формирует персонализированные предложения для оптимизации технического обслуживания автомобилей, используя данные о транспортных средствах, расходах и поведении пользователей. Этот модуль интегрирует результаты работы модели прогнозирования [9], которая на основе данных о транспортных средствах и их эксплуатации предоставляет владельцам точные рекомендации, например, относительно оптимальных интервалов для замены масла, фильтров и других расходных материалов.

Для наглядного представления работы рекомендаций используется диаграмма последовательности, на которой представлены все ключевые этапы работы модели прогнозирования (рис. 3). Модель иллюстрирует процесс получения предсказания от обученной модели машинного обучения в рамках пользовательского взаимодействия с системой рекомендаций. Последовательность событий разворачивается в контексте вызова функции прогноза пользователем, после чего инициируется цепочка обмена данными между различными компонентами системы.

Реализованный на языке Python модуль выполняет роль интеллектуального компонента системы и отвечает за создание модели прогнозирования среднего пробега между техническими обслуживаниями. Для построения модели используется выборка данных, извлечённая из реляционной базы данных MySQL, и процесс работы с моделью охватывает весь цикл — от получения данных до генерации предсказаний и их сохранения.

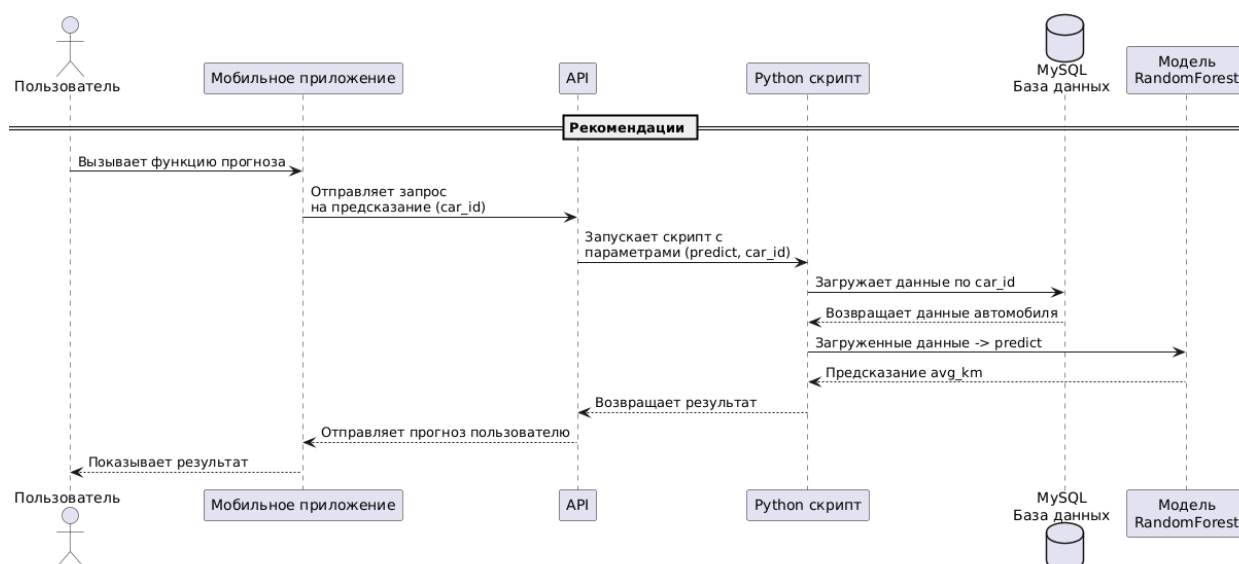


Рис. 3. Диаграмма последовательности системы рекомендаций
Fig. 3. Recommendation system sequence diagram

Для формирования выборки, использовавшейся при обучении модели прогнозирования, были собраны данные, отражающие как характеристики автомобилей, так и особенности поведения их

владельцев. В выборку включены следующие признаки, которые собираются и хранятся в базе данных:

- car_id – уникальный идентификатор автомобиля;
- user_id – идентификатор пользователя, владеющего автомобилем;
- car_age – возраст автомобиля, рассчитанный как разница между текущим годом и годом выпуска (при этом для автомобилей с будущей датой выпуска возраст принимается равным нулю);
- car_mileage – пробег автомобиля на текущий момент;
- mark – марка автомобиля;
- model – модель автомобиля;
- generation – поколение модели;
- feeding – тип питания двигателя (например, бензин, дизель);
- engine_type – тип двигателя (например, двигатель внутреннего сгорания, гибридный, электрический);
- drive – тип привода (передний, задний, полный);
- transmission – тип трансмиссии (автоматическая, механическая и др.);
- engine_volume – объем двигателя в литрах;
- color – цвет автомобиля (используется только при загрузке данных, но не участвует в построении модели);
- user_age_days – возраст пользователя на платформе в днях с момента регистрации;
- user_is_new – бинарный признак, отражающий, является ли пользователь новым (менее 30 дней на платформе);
- user_weight – взвешенная характеристика "значимости" пользователя, рассчитываемая как функция от времени пребывания на платформе;
- car_count – количество автомобилей, зарегистрированных у пользователя;
- maintenance_count – количество выполненных технических обслуживаний для данного автомобиля;
- avg_km_between_maintenance – среднее расстояние между техническими обслуживаниями, выраженное в километрах; данный показатель является целевой переменной (target) для обучения модели;
- last_maintenance_gap_days – количество дней, прошедших с момента последнего технического обслуживания;
- maintenance_per_month – среднее количество технических обслуживаний в месяц;
- user_type – тип пользователя, классифицированный на основе его активности.

Эти признаки были выбраны для максимально полного отражения эксплуатационных характеристик автомобилей и особенностей поведения владельцев, что критически важно для повышения точности прогнозирования среднего пробега между техническими обслуживаниями.

Для обучения модели используется метод случайного леса [9], известный своей высокой устойчивостью к переобучению и способностью выявлять нелинейные зависимости. Для оценки качества модели данные делятся на обучающую и тестовую выборки, что позволяет объективно оценить её обобщающую способность. После обучения вычисляются ключевые метрики, такие как средняя абсолютная ошибка, корень из средней квадратичной ошибки и коэффициент детерминации, также оценивается вклад каждого признака в итоговое предсказание. После завершения обучения модель и объект масштабирования сохраняются в файл, что даёт возможность повторного использования модели без необходимости её переобучения. Когда скрипт применяется к новым данным, выполняется загрузка параметров автомобилей, их преобразование в совместимый формат, и затем вычисление прогнозных значений. В системе предусмотрена возможность как массовой обработки данных, так и предсказания для конкретного автомобиля.

В рамках пользовательского взаимодействия с системой предусмотрены различные функциональные компоненты, реализованные через интерфейсные экраны мобильного приложения. Регистрация нового пользователя осуществляется на отдельной странице (рис. 5), где требуется ввести логин, адрес электронной почты и пароль, удовлетворяющий требованиям

безопасности (не менее восьми символов). По желанию могут быть указаны телефон и краткое описание. Получить доступ к своему аккаунту, пользователь, может посредством ввода логина и пароля на соответствующем экране (рис. 6). Допускается регистрация через Google, что актуально для снижения порога входа в систему.

Рис. 5. Страница регистрации
Fig. 5. Registration page

Рис. 6. Страница авторизации
Fig. 6. Authorization page

После успешной авторизации пользователь попадает на главную страницу (рис. 7), где представлена сводная информация по основным направлениям деятельности в приложении. Здесь же размещён интерактивный блок для новых пользователей, позволяющий ознакомиться с

функциональностью системы. Раздел, связанный с финансами, содержит сводку затрат за определённый период, а также визуализацию динамики расходов в виде графика. Новостная лента MALive предоставляет доступ к популярным публикациям сообщества, включая обзоры автомобилей и пользовательские мнения. Навигация между разделами осуществляется посредством нажатия на соответствующие иконки.

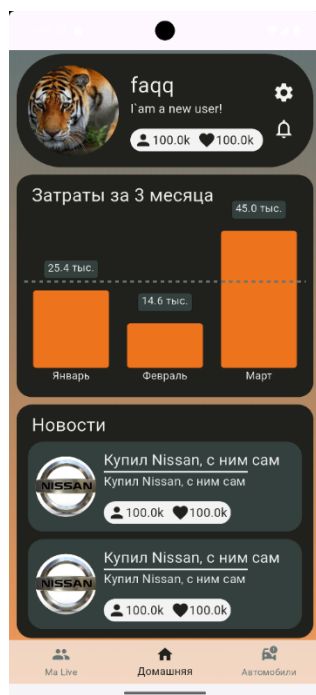


Рис. 7. Главная страница
Fig. 7. Main page

Раздел, посвящённый управлению автомобилями (рис. 8), предназначен для работы с данными транспортных средств.

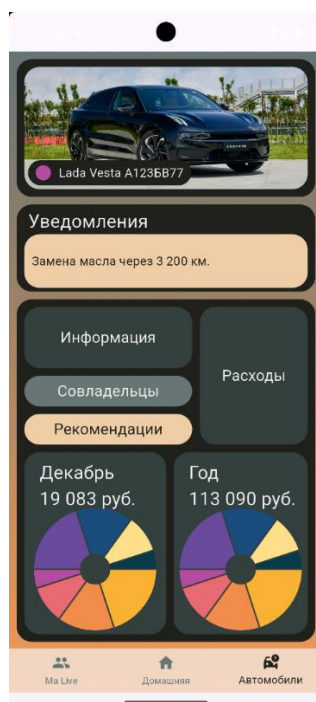


Рис. 8. Страница автомобилей
Fig. 8. Cars page

Пользователь получает доступ к актуальной информации о расходах, а также к уведомлениям и рекомендациям на тему прохождения технического обслуживания. Также имеется возможность добавления совладельцев, что упрощает совместное использование функционала. Добавление нового автомобиля инициируется вручную с указанием основных характеристик и, при необходимости, загрузкой изображения.

Интерфейс анализа расходов (рис. 9), предоставляет пользователю инструменты для отслеживания и сравнения затрат. Доступны фильтры по времени и категориям, визуализация в виде круговой диаграммы и сравнительный анализ с прошлыми периодами, а также список затрат. Добавление новых записей о расходах осуществляется через специальную кнопку.



Рис. 9. Страница расходов
Fig. 9. Expenses page

Социальный раздел MA Live (рис. 10) служит платформой для обмена опытом и обсуждений внутри сообщества. Здесь публикуются экспертные обзоры, комментарии и обсуждения, а также статистика лайков и комментариев. Поисковая строка позволяет находить публикации по ключевым словам. Создание поста реализуется через соответствующий интерфейс с возможностью прикрепления мультимедийного контента. После публикации пост становится доступным всем пользователям приложения.

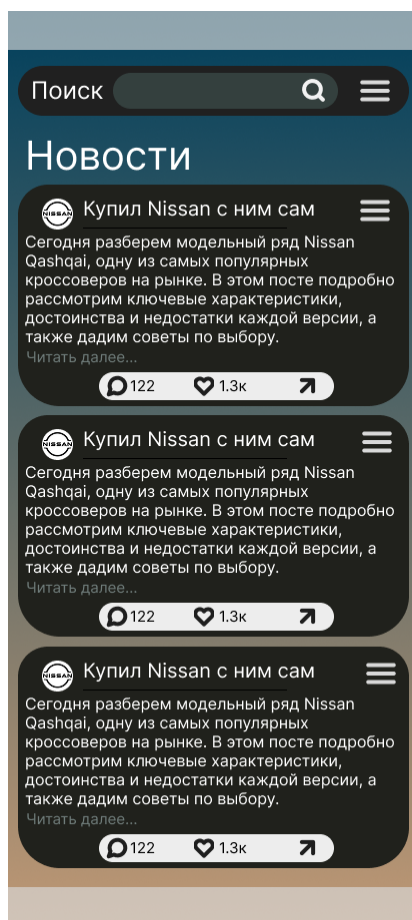


Рис. 10. Страница социального раздела «MALive»

Fig. 10. «MALive» social section page

В завершение, можно отметить, что разработанное мобильное приложение представляет собой комплексное решение, направленное на улучшение управления эксплуатацией частного автотранспорта. В процессе разработки мобильного приложения для владельцев частного транспорта были детально проанализированы потребности различных категорий пользователей, что позволило сформулировать функциональные требования, охватывающие как учёт расходов и получение рекомендаций, так и социальное взаимодействие. Система реализована на основе клиент-серверной архитектуры: мобильный интерфейс обеспечивает удобную работу с профилем, автомобилями, расходами, уведомлениями и публикациями, а серверная часть отвечает за обработку данных и формирование персонализированных рекомендаций с помощью обученной модели машинного обучения. Ключевые сущности – пользователи, автомобили, расходы, контент и социальные связи – легли в основу структуры базы данных, обеспечивая комплексное управление информацией. Модуль рекомендаций анализирует эксплуатационные параметры и поведение пользователей, предоставляя индивидуальные советы по техническому обслуживанию, а интерфейс приложения поддерживает регистрацию, авторизацию, анализ расходов и активное участие в сообществе, что делает сервис универсальным инструментом для современных автовладельцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы была описана разработанная система мобильного приложения для владельцев частного автотранспорта, которая интегрирует функции учёта расходов, планирования технического обслуживания и социального взаимодействия. Основной особенностью приложения является система экспертных рекомендаций, построенная на методах машинного обучения, что позволяет предоставлять персонализированные рекомендации с учётом данных о транспортных средствах и истории их эксплуатации.

Рассмотренная система имеет значительный потенциал для дальнейшего развития, включая улучшение алгоритмов прогнозирования, расширение функционала приложения и повышение точности рекомендаций. В перспективе планируется интеграция новых функций для более глубокой персонализации, а также улучшение возможностей для взаимодействия пользователей в рамках автомобильного сообщества.

Таким образом, разработанная система представляет собой эффективный инструмент для владельцев автомобилей, который способствует оптимизации процессов эксплуатации транспортных средств, улучшая опыт пользователей и расширяя возможности для локализованных мобильных решений на российском рынке.

Список литературы

1. Лунченкова Е.В. Тенденции и перспективы развития мирового рынка мобильных приложений / Е.В. Лунченкова, К.И. Халюк // Современные тренды развития регионов: управление, право, экономика, социум: Материалы XXI Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Челябинск, 26-27 апреля 2023 года. – Челябинск: Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, 2023. – С. 390-395. – EDN OFSPSY.
2. Mobile App Market Size, Share & Trends Analysis Report By Store Type (Google Play, Apple App Store), By Application Category (Gaming, Entertainment), By Region, And Segment Forecasts, 2021-2028. Отчет о рынке мобильных приложений // Grand View Research. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/mobile-application-market> (дата обращения 01.04.2025 г.).
3. Кондаурова А.В., Косякова И. В. Уход иностранных компаний из России // Вестник науки. – 2023. – №12(69). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uhod-inostrannyh-kompaniy-iz-rossii> (дата обращения: 14.12.2024).
4. Цыбульский А.Н. Оценка условий влияния эксплуатации на ресурс автомобиля / А.Н. Цыбульский, И.Ю. Новосельский, Е.В. Пакулина // Прогрессивные технологии в эксплуатации наземных транспортно-технологических комплексов и логистических транспортных систем: Сборник трудов международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 110-летию юбилею со дня рождения профессора Каракулева А.В., Санкт-Петербург, 26 Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волжский, Волгоградская область, Россия февраль 2024 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Бук", 2024. – С. 124-132.
5. Бакулов П.А. Разработка экспертной системы поддержки пользователей в сфере технического сервиса легкового автотранспорта: специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бакулов П.А. – 2021. – 111 с. – EDN GLWPLY.
6. Шумилов Д.Г. Разработка мобильных приложений для IOS и ANDROID / Д.Г. Шумилов, Е.В. Комракова // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: Материалы XXVI Республиканской научной конференции студентов и аспирантов. В 2 частях, Гомель, 20–22 марта 2023 года. Том Часть 1. – Гомель: Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, 2023. – С. 166-167. – EDN SJRUZT.
7. Анализ отказов автомобилей индивидуального пользования / Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков, В.А. Бузин и др. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 2. – С. 30-33. – EDN ZSFGYH.
8. Сапожникова О.О. Активность пользователей в социальных сетях / О.О. Сапожникова, О.Г. Васильева // Студенческая наука – первый шаг к цифровизации сельского хозяйства: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ, в 3 ч., Чебоксары, 15 октября 2021 года. Том Ч. 2. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2021. – С. 99-100. – EDN OKFFFL.
9. Подоппелова Е.С. Анализ методов многокритериального принятия решений на примере задачи ранжирования // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. – №3(233). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-mnogokriterialnogo-prinyatiya-resheniy-na-primere-zadachi-ranzhirovaniya> (дата обращения: 19.04.2025).
10. Малафеевский А.А. Динамика развития мобильных приложений / А.А. Малафеевский // Проблемы развития предприятий: теория и практика: сборник статей XI Международной научно-практической конференции, Пенза, 22–23 апреля 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 278-282. – EDN YQASEN.

11. Родионов Д.Г., Половян А.В., Пашинина П.А., Конников Е.А. Развитие методов машинного обучения и информационных технологий для решений задач экономических исследований: моделирование стоимости медиакомпаний // Вестник Института экономических исследований. 2023. – №3(31). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-metodov-mashinnogo-obucheniya-i-informatsionnyh-tehnologiy-dlya-resheniy-zadach-ekonomicheskikh-issledovaniy-modelirovanie> (дата обращения: 19.04.2025).

12. "The State of Mobile 2021" – отчет компании App Annie, который содержит исследование мирового рынка мобильных приложений. URL: <https://www.appannie.com/en/go/state-of-mobile-2021/> (дата обращения 01.04.2025 г.).

13. Востриков Е.И. Исследование и анализ проблем организации общения людей, имеющих схожие интересы / Е.И. Востриков, О.Ф. Абрамова // Студенческий вестник. – 2022. – № 8-4(200). – С. 36-37. URL: <https://www.internauka.org/journal/stud/herald/200>

14. Абрамова О.Ф. Проектирование актуального решения для планирования задач на базе операционной системы Андроид / О.Ф. Абрамова, И.Д. Семилетов // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия "Естественно-математические и технические науки". – 2022. – № 4 (311). – С. 72-81. – DOI: 10.53598/2410-3225-2022-4-311-71-80.

15. Абрамова О.Ф. Исследование проблем социальной коммуникации разновозрастных групп людей с использованием web-ориентированных решений / О.Ф. Абрамова, Е.И. Востриков // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. – 2022. – № 3(92). – С. 73-91.

References

1. Lunchenkova E.V. Trends and Prospects for the Development of the Global Mobile Application Market / E.V. Lunchenkova, K.I. Khalyuk // Modern Trends in Regional Development: Management, Law, Economics, Society: Proceedings of the XXI All-Russian Student Scientific and Practical Conference, Chelyabinsk, April 26-27, 2023. – Chelyabinsk: Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 2023. – Pp. 390–395. – EDN OFPSPY.

2. Mobile App Market Size, Share & Trends Analysis Report By Store Type (Google Play, Apple App Store), By Application Category (Gaming, Entertainment), By Region, And Segment Forecasts, 2021–2028. Mobile Application Market Report // Grand View Research: website. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/mobile-application-market> (date of access 01.04.2025).

3. Kondaurova A.V., Kosyakova I.V. Exit of foreign companies from Russia // Bulletin of science. 2023. – No. 12(69). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uhod-inostrannyh-kompaniy-iz-rossii> (date of access: 14.12.2024).

4. Tsybulsky A.N. Assessment of operating conditions impact on vehicle service life / A.N. Tsybulsky, I.Yu. Novoselsky, E.V. Pakulina // Progressive Technologies in the Operation of Ground-Based Transport and Technological Complexes and Logistics Transport Systems: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference of Students, Master's Degree Students, Postgraduates, and Young Scientists Dedicated to the 110th Anniversary of the Birth of Professor A.V. Karakulev, St. Petersburg, 26 Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Technical University", Volzhsky, Volgograd Region, Russia, February 2024. – Kazan: Buk Limited Liability Company, 2024. – pp. 124-132.

5. Bakulov P.A. Development of an expert user support system in the field of passenger car technical service: specialty 05.22.10 "Operation of motor transport": dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Bakulov P.A. – 2021. – 111 p. – EDN GLWPLY.

6. Shumilov D.G. Development of mobile applications for IOS and ANDROID / D.G. Shumilov, E.V. Komrakova // New mathematical methods and computer technologies in design, production and scientific research: Proceedings of the XXVI Republican scientific conference of students and postgraduates. In 2 parts, Gomel, March 20-22, 2023. – Vol. Part 1. – Gomel: Francisk Skorina Gomel State University, 2023. – Pp. 166-167. – EDN SJRUZT.

7. Analysis of failures of private vehicles / N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov, V.A. Buzin, et al. // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2022. – No. 2. – Pp. 30-33. – EDN ZSFGYH.

8. Sapozhnikova O.O. User activity in social networks / O.O. Sapozhnikova, O.G. Vasilyeva // Student science is the first step towards the digitalization of agriculture: Proceedings of the All-Russian student scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the Chuvash State Agricultural University, in 3 parts, Cheboksary, October 15, 2021. – Vol. Part 2. – Cheboksary: Chuvash State Agrarian University, 2021. – Pp. 99-100. – EDN OKFFFL.

9. Podoplelova E.S. Analysis of Multicriteria Decision-Making Methods Using a Ranking Problem as an Example // Bulletin of SFedU. Technical Sciences. 2023. No. 3(233). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-mnogokriterialnogo-prinyatiya-resheniy-na-primere-zadachi-ranzhirovaniya> (date of access: 19.04.2025).
10. Malafeevsky A.A. Dynamics of Mobile Application Development / A.A. Malafeevsky // Problems of Enterprise Development: Theory and Practice: Collection of Articles from the XI International Scientific and Practical Conference, Penza, April 22–23, 2024. – Penza: Penza State Agrarian University, 2024. – pp. 278–282. – EDN YQASEN.
11. Rodionov D.G., Polovyan A.V., Pashinina P.A., Konnikov E.A. Development of Machine Learning Methods and Information Technologies for Solving Economic Research Problems: Modeling the Value of a Media Company // Bulletin of the Institute of Economic Research. 2023. – No. 3(31). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-metodov-mashinnogo-obucheniya-i-informatsionnyh-tehnologiy-dlya-resheniy-zadach-ekonomicheskikh-issledovaniy-modelirovanie> (date of access: 19.04.2025).
12. "The State of Mobile 2021" – a report by App Annie, which contains a study of the global mobile application market. URL: <https://www.appannie.com/en/go/state-of-mobile-2021/> (date of access 01.04.2025).
13. Vostrikov E.I. Research and analysis of the problems of organizing communication between people with similar interests / E.I. Vostrikov, O.F. Abramova // Student Bulletin. – 2022. – No. 8-4(200). – P. 36-37. URL: <https://www.internauka.org/journal/stud/herald/200>
14. Abramova O.F. Designing an Up-to-Date Solution for Task Scheduling Based on the Android Operating System / O.F. Abramova, I.D. Semiletov // Bulletin of Adyghe State University. Series "Natural, Mathematical and Technical Sciences". – 2022. – No. 4(311). – P. 72-81. – DOI: 10.53598/2410-3225-2022-4-311-71-80.
15. Abramova O.F. Study of Social Communication Problems of Different-Age Groups of People Using Web-Based Solutions / O.F. Abramova, E.I. Vostrikov // Socio-Economic and Technical Systems: Research, Design, Optimization. – 2022. – No. 3(92). – P. 73-91.

Духовников Вадим Александрович, студент кафедры «Информатика и технология программирования», Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волжский, Волгоградская область, Россия

Абрамова Оксана Федоровна, доцент кафедры «Информатика и технология программирования», Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волжский, Волгоградская область, Россия

Duhovnikov Vadim Aleksandrovich, Student of the Department of Informatics and Programming Technology, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) Volgograd State Technical University, Volzhsky, Volgograd region, Russia

Abramova Oksana Fedorovna, Associate Professor of the Department of Informatics and Programming Technology, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) Volgograd State Technical University, Volzhsky, Volgograd region, Russia

УДК 004.4

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-3

Тихонова И.В.¹
Громов А.В.²

**ФОРМИРОВАНИЕ, УЧЕТ И РЕБАЛАНСИРОВКА
ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОРТФЕЛЯ НА ПЛАТФОРМЕ
«1С: ПРЕДПРИЯТИЕ»**

¹⁾ Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет», ул. Лермонтова, 126, г. Иркутск, 664033, Россия

²⁾ ООО «Лаборатория С», ул. Литвинова, 4, г. Иркутск, 664003, Россия

e-mail: irinat3873@gmail.com, avg.irk@mail.ru

Аннотация

В статье представлен анализ бизнес-процессов формирования, учета и ребалансировки инвестиционного портфеля. Цифровизация сопровождает все сферы бизнеса, в том числе и деятельность на фондовой бирже, где профессиональные участники отслеживают котировки, рассчитывают доходность активов инвестиционного портфеля, для чего требуется функциональное, эффективно работающее программное обеспечение. В статье рассматриваются вопросы формирования портфеля инвестора-частного лица, действующего на фондовом рынке через профессионального участника рынка ценных бумаг – управляющую компанию и, основывающего свою инвестиционную деятельность на стратегии, ориентированной на долгосрочную работу с активами инвестиционного портфеля (Asset Allocation). На примере реальной управляющей компании были рассмотрены и формализованы основные бизнес-процессы по формированию, учету и ребалансировке инвестиционного портфеля, что позволило сформулировать требования к функционалу информационной системы. Затем были рассмотрены важнейшие недостатки рыночных топовых программных продуктов учета и оценки при работе с инвестиционным портфелем. Используя метод моделирования «сущность-связь», представлена разработанная логическая модель предметной области и информационной базы. Были проанализированы следующие программные продукты: Invest Planner, Izi-Invest, Blackterminal, Snowball и Intelinvest, а также используемые Google и Excel таблицы. Показано, что выявленные недостатки накладывают серьезные ограничения на основную деятельность по работе с портфелем инвестора. Было выбрано наиболее целесообразное решение – это произвести собственную разработку информационной системы вместо внедрения и дальнейшей доработки уже существующих программных продуктов. В результате была разработана конфигурация на платформе «1С: Предприятие» для формирования, учета и ребалансировки инвестиционного портфеля. Результат тестирования разработанной программы представлен в статье в качестве контрольного примера. Основные преимущества представленного решения состоят в том, что оно позволяет устранить выявленные недостатки управления инвестиционным процессом, повысить эффективность деятельности, снизить трудоемкость процесса.

Ключевые слова: инвестиционный портфель; стратегия Asset Allocation; конфигурация на платформе «1С: Предприятие»

Для цитирования: Тихонова И.В., Громов А.В. Формирование, учет и ребалансировка инвестиционного портфеля на платформе «1С: Предприятие» // Научный результат. Информационные технологии. – Т.10, №4, 2025. – С. 27-46. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-3

**Tikhonova I.V.¹
Gromov A.V.²**

INFORMATION SYSTEM TO MAKE, ACCOUNTING AND REBALANCING INVESTMENT PORTFOLIO ON THE 1C: ENTERPRISE PLATFORM

¹⁾ Irkutsk State University, 126 Lermontova st., Irkutsk, 664082, Russia

²⁾ Laboratory C, 4 Litvinova st., Irkutsk, 664003, Russia

e-mail: irinat3873@gmail.com, avg.irk@mail.ru

Abstract

The article presents an analysis of the business processes of forming, accounting and rebalancing an investment portfolio. Digitalization accompanies all areas of business, including activities on the stock exchange, where professional participants require functional, efficient software. The article discusses the issues of forming a portfolio of an private individual investor operating in the stock exchange through a professional participant - a management company and adhering to an investment strategy focused on long-term work with the assets of the investment portfolio (Asset Allocation). The main business processes to form, account and rebalance of the investment portfolio of the real management company was analyzed and formalized. That allowed us to formulate requirements for the functionality of the information system. Then the most important disadvantages of the market's top accounting and valuation software products when working with an investment portfolio were considered. Using the "entity-relationship" modeling method was developed logical model of the subject area and information base is presented. The following software products were analyzed: Invest Planner, Izi-Invest, Blackterminal, Snowball, and Intelinvest, as well as the Google tables used. The identified shortcomings impose serious restrictions on the investment portfolio management. The most appropriate solution was chosen to develop own information system instead of implementing and further refining existing software products. A configuration was developed on the 1C: Enterprise platform for the formation, accounting and rebalancing of the investment portfolio. The test result of the developed program is presented in the article. The main advantages of the presented solution are that it allows you to eliminate the identified disadvantages of managing the investment process, increase business efficiency, and reduce the complexity of the process.

Keywords: investment portfolio; Asset Allocation strategy; configuration on the 1C: Enterprise platform

For citation: Tikhonova I.V., Gromov A.V. Information System to Make, Accounting and Rebalancing Investment Portfolio on the 1C: Enterprise Platform // Research result. Information technologies. – Т.10, №4, 2025. – P. 27-46. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-3

ВВЕДЕНИЕ

Основой современной рыночной экономики любого государства служит развитая финансовая система и фондовый рынок. В эпоху цифровизации успешность деятельности во многом определяется применением современных информационных технологий. Деятельность клиента – частного лица на фондовом рынке осуществляется управляющей компании формированием инвестиционного портфеля, который требует наблюдения, оценки и проведения своевременной ребалансировки. Для оценки инвестиционного портфеля и принятия управленческих решений целесообразно использовать соответствующее программное обеспечение. Несмотря на разнообразие существующих программных продуктов в этой сфере, подобрать подходящий продукт, эффективно функционирующий, с удобным и простым интерфейсом, представляется непростой задачей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Формирование инвестиционного портфеля начинается с обращения клиента в управляющую компанию и заключения договора доверительного управления.

Нами рассматривается деятельность частного инвестора на фондовом рынке через управляющую компанию.

Фондовый рынок, как часть финансового рынка представляет собой совокупность экономических отношений по поводу выпуска и обращения акций, облигаций, паев фондов и проч. финансовых инструментов между его участниками. Биржевая инфраструктура формируется из профессиональных участников финансового рынка – лицензированных организаций и лиц, которые имеют право на выполнение специальных финансовых операций, таких как покупка и продажа ценных бумаг, хранение активов и прочие, и лицензируются Центральным банком России. Благодаря этой структуре процессы на бирже контролируются и проходят безопасно [13].

Деятельность по доверительному управлению закреплена в главе 53 Гражданского кодекса Российской Федерации «Доверительное управление имуществом». Согласно закону, организация, оказывающая услуги доверительного управления деньгами, должна получить лицензию банка России.

Деятельность по управлению активами подлежит контролю со стороны специализированного депозитария и аудитора. Банк России осуществляет государственный контроль за деятельностью участников рынка коллективных инвестиций. Регулирование рынка проявляется в жестких требованиях к собственному капиталу управляющих компаний и необходимости предоставления периодической отчетности в регулирующий орган. [4, 5, 6, 27]

Алгоритм действий для формирования портфеля инвестора включает:

- формирование и оценку инвестиционного портфеля;
- услуги управления личными финансами.

Формирование инвестиционного портфеля выполняется, исходя из стратегии распределения активов Asset Allocation. Это стратегия формирования инвестиционного портфеля, позволяющая распределять средства по различным классам активов и рассчитанная на долгосрочного инвестора. Формирование портфеля происходит из активов с различными доходностями и различными рисками. При этом подбираются, по возможности, разные активы, которые ведут себя достаточно независимо друг от друга, то есть активы с низкой корреляцией. В этом случае получаемый портфель, как правило, по сочетанию параметров прибыль-риск оказывается лучше отдельно взятых активов. В некоторых случаях удается получить портфель с риском ниже, чем у отдельных составляющих его активов, и с прибылью выше, чем у отдельных составляющих его активов. Этот эффект открыл американский экономист Гарри Марковиц, получивший за это в 1990-ом году Нобелевскую премию по экономике [8, 11, 23, 28, 30].

Между управляющей компанией и клиентом заключают договор доверительного управления. Также стороны подписывают инвестиционную декларацию — документ, который определяет состав инвестиционного портфеля и соотношение активов.

Оценка инвестиционного портфеля включает в себя анализ текущих активов, предложение способов оптимизации состава портфеля и подбор оптимальной стратегии инвестирования, исходя из возможностей клиента и его задач. Если инвестиционный портфель формируется впервые, то его формирование.

Рассмотрим основные бизнес-процессы, осуществляемые управляющей компанией по формированию, ведению учета и ребалансировке инвестиционного портфеля клиента – физического лица.

При обращении физического лица заключается договор доверительного управления. Далее для формирования инвестиционного профиля клиента сертифицированный финансовый консультант управляющей компании проводит специальный тест, в ходе которого определяются цели инвестирования, отношение к риску, сумма и горизонт инвестирования (период времени, за который определяются ожидаемая доходность и допустимый риск), финансовая оценка цели в денежном выражении на текущий момент времени и на момент реализации цели. В результате управляющая компания определяет инвестиционный профиль клиента, который характеризует тип поведения клиента на финансовых рынках. Инвестиционная стратегия закрепляется документально в инвестиционной декларации [1, 3, 4]. Далее инвестиционный стратег разрабатывает индивидуальный инвестиционный план с оптимальным соотношением ценных бумаг и формирует портфель (или несколько портфелей с учетом заявленных целей) инвестиционных активов. Главная

цель индивидуального финансового плана – оптимизировать доходы и расходы клиента для достижения конкретной поставленной цели путем формирования инвестиционного портфеля. В процессе принимают участие клиент, сертифицированный финансовый консультант, инвестиционный стратег.

Следующим этапом инвестиционный стратег, специализированный депозитарий и контролер осуществляют управление инвестиционным портфелем, используя информацию о котировках с Московской биржи (МБ) и, составляя аналитические отчеты для оценивания инвестиционного портфеля, а, в случае необходимости, проводится ребалансировка инвестпортфеля. На выходе формируется отчетность в регулирующий орган, отчетность клиенту о сделках и состоянии инвестиционного портфеля, актуальные данные портфеля после ребалансировки.

В течение всего срока предоставления услуг доверительного управления активами управляющая компания присылает клиенту ежемесячные отчеты о сделках и состоянии инвестиционного портфеля в электронном виде на адрес электронной почты клиента или размещает в Личном кабинете клиента. Согласно Стандартам профессиональной деятельности на рынке ценных бумаг, вне зависимости от выбранной стратегии инвестирования и оказываемых услуг, отчетность должна предоставляться клиенту в ясной и доступной форме и содержать достаточную информацию о виде и стоимости оказанных услуг, совершенных сделках и операциях, открытых позициях и обязательствах клиента. [3]

Отчет, предоставляемый клиенту, должен содержать следующую информацию:

- сведения о динамике ежемесячной доходности инвестиционного портфеля клиента за весь период доверительного управления;
- сведения о стоимости инвестиционного портфеля клиента, определенной на конец каждого месяца, за весь период доверительного управления;
- в случае, если в соответствии с договором доверительного управления доходность инвестиционного портфеля клиента поставлена в зависимость от изменения индекса или иного целевого показателя, отчет должен содержать динамику ежедневного изменения стоимости инвестиционного портфеля в сопоставлении с динамикой изменения указанного индекса или иного целевого показателя;
- информацию по видам всех расходов, понесенных управляющим в связи с осуществлением доверительного управления, а также информацию о вознаграждении, выплаченном (подлежащим выплате) управляющему за отчетный период, с приведением расчета его размера.

Таким образом, функционал информационной системы формирования, учета и ребалансировки инвестиционного портфеля частного инвестора управляющей компании должен включать:

- загрузку котировок МБ;
- покупку и продажу активов;
- формирование отчетности инвестору.

Перейдем к рассмотрению бизнес-процессов по формированию, оценке и ребалансировке инвестиционного портфеля. Управляющая компания ООО «УК» создана в 1996 году. В управлении компании находится более 6 млрд. рублей, уставный капитал составляет 40 млн. рублей, юридический адрес и фактическое местонахождение – город Москва.

ООО «УК» является членом Национальной ассоциации участников фондового рынка (НАУФОР), согласно законодательству Российской Федерации [1] обладает лицензиями профессионального участника рынка ценных бумаг на осуществление деятельности по управлению ценными бумагами и на осуществление деятельности по управлению инвестиционными фондами, паевыми инвестиционными фондами и негосударственными пенсионными фондами.

ООО «УК» использует самостоятельно настроенные таблицы Microsoft Excel и Google Таблиц, бухгалтерский и налоговый учет ведется в 1С:Бухгалтерия предприятия 3.0, для доступа к биржевым торгам через интернет, совершения сделок и ведения оперативного учета операций используется программный комплекс QUIK.

В ООО «УК» программный комплекс строится на основе модульного подхода, что позволяет создавать конфигурации, предназначенные для решения определенного круга задач:

- модуль формирования отчетов;
- TrustManager (терминальный модуль доверительного управляющего, предназначенный для осуществления одинаковых торговых операций по нескольким счетам клиентов и для наблюдения за их позициями);
- CoLibri (терминальный модуль риск-менеджера);
- BasketTrading (модуль, предназначенный для торговли «корзинами» ценных бумаг, который предоставляет возможность ввода заявок по данной «корзине» как по отдельному инструменту);
- Google Таблицы предназначены для учета движения ценных бумаг и денежных средств на брокерских счетах. Таблицы разработаны и настроены максимально удобно сотрудниками ООО «УК» для нужд учета активов клиентов-инвесторов. В электронных таблицах сотрудники ООО «УК» ведут учет активов для решения вопроса, какие ценные бумаги и в каком объеме надо докупить в инвестиционный портфель. Актуализацию данных требуется совершать каждый раз, когда совершаются сделки на бирже.

Сотрудники получают следующие актуальные данные в виде таблицы с МБ через API (рис. 1):

- названия акций и облигаций;
- цены акций и облигаций;
- даты и значения купона для облигаций;
- даты и значения дивиденда для акций;
- даты оферты облигаций.
-

Получение названий акций и облигаций		
Тикер/ISIN/SECID	boardID	Название
SBER	TQBR	Сбербанк России ПАО ао
EQMX	TQTF	БПИФ Индекс МосБиржи УК ВИМ
RU000A107746	TQCB	ТБанк TCS-perp2
SU29006RMFS2	TQOB	ОФЗ-ПК 29006 29/01/25
Получение цен акций и облигаций		
Тикер/ISIN/SECID	boardID	Цена
SBER	TQBR	257.09 Р
EQMX	TQTF	130.65 Р
RU000A107746	TQCB	62.00 Р
SU29006RMFS2	TQOB	99.45 Р
Получение даты купона и значения для облигаций		
SECID	Дата	Купон
RU000A107746	2024-12-20	15.00 Р
SU29006RMFS2	2025-01-29	84.72 Р
Получение даты и значения дивиденда для акций		
Тикер	Дата	Дивиденд
SBER	2024-07-11	33.30 Р
EQMX	нет	нет
Получение даты оферты		
SECID	boardID	Дата оферты
RU000A0JW0S4	TQCB	нет
SU29006RMFS2	TQOB	нет

Рис. 1. Выгрузка информации с МБ
Fig. 1. Downloading information from the MOEX.com

Составляется инвестиционный портфель в соответствии со стратегией инвестирования клиента, на основании которого заполняются доли классов активов (акции, облигации/денежный рынок, драгоценные металлы). В колонку «Активы» заносится наименование инструмента, в колонку «Тикер» – уникальное краткое обозначение актива на бирже, в колонку «Доля в портфеле» – долю каждого инструмента (так, чтобы в сумме получилось 100%), а в колонку «Цена 1 ЦБ» текущие котировки загружаются через API. Рассчитывается «Реальное количество ЦБ в портфеле» и количество ценных бумаг к покупке (рис. 2).

A	B	C	D	E	F	G	H
	Оценка моего портфеля	-	рублей				
	Сумма доведения	100,000	рублей				
	Итоговый размер портфеля	100,000	рублей				
№ п/п	Активы	Тикер	Доля в портфеле	Цена 1 ЦБ	Реальное количество ЦБ в портфеле	Сумма в портфеле, руб	Реальная доля, %
1	Фонд на рынок российских акций	EQMX	75.00%	129.80 Р	578	75,024.40 Р	75.02%
2	Фонд на рынок российских облигаций	OBLG	10.00%	142.46 Р	70	9,972.20 Р	9.97%
3	Фонд денежного рынка	LQDT	5.00%	1.5205 Р	3288	4,999.40 Р	5.00%
4	Фонд на золото	GOLD	10.00%	2.05 Р	4878	9,999.90 Р	10.00%
	Остаток нераспределенных средств					4	0.00%
Итого			100.0%			99,995.90 Р	100.00%

Рис. 2. Расчет инвестиций (простой шаблон)

Fig. 2. Investment calculation (simple template)

Из преимуществ можно выделить, что Google таблица сортирует позиции по весу в индексе, а исключенные из индекса акции находятся в самом конце списка.

В ходе анализа системы учета инвестиционных портфелей, используемых ООО «УК», были выявлены следующие недостатки:

- данная таблица не рассчитывает прибыльность сделок и не содержит сведения о динамике ежемесячной доходности инвестиционного портфеля клиента, соответственно отчет инвестору не формируется автоматически;

- периодически в ячейках с формулами появляется значение «#N/A» (нет данных для импорта) или «Loading...». Первая причина состоит в том, что вся информация в Google таблицах подгружается из открытых источников, и поэтому могут быть перебои. Также рекомендуется пользоваться Таблицей в рабочее время биржи. Вторая причина состоит в том, что из-за большого количества запросов загрузка данных может занять некоторое время. В этом случае Google рекомендует сократить число функций IMPORTHTML, IMPORTDATA, IMPORTFEED и IMPORTXML в созданных таблицах, но подобное решение проблемы нам не подходит.

В связи с неудобствами, вызванными указанными недостатками была поставлена задача перейти на новую систему учета, анализа и управления инвестиционным портфелем инвестора-физического лица, либо внедрив имеющиеся на рынке сервисы, либо, разработав свою конфигурацию.

Были проанализированы следующие топовые программные продукты: Invest Planner, Izi-Invest, Blackterminal, Snowball и Intelinvest. Данные сервисы являются хорошим вариантом учета инвестиций и аналитики, но обладают рядом серьезных недостатков:

- не хватает градации биржевых инвестиционных фондов (ETF фондов), по структуре активов, например, золото, акции, облигации;

- существует проблема отображения цен по ряду инструментов (замещающие облигации, ETF фонды, инструмент МБ на покупку или продажу золота в лотах (GLDRUB_TOM), по которым номинал в валюте, а цена лота в рублях), в связи с чем, статистика в портфеле неверная;

- отсутствует возможность добавления в портфель инструментов срочного рынка (деривативов) и внебиржевых инструментов (для Invest Planner);
- периодически в текущую цену попадает значение «null», что не позволяет рассчитать условия ребалансировки;
- отсутствует импорт сделок по API (с использованием API-токена), а только через загрузку файлов отчетов и через добавление сделок вручную;
- существует проблема безопасности передачи и хранения данных;
- неточности брокерских отчетов при импорте данных;
- существуют недостатки, которые нельзя исправить самостоятельно, а только за дополнительную плату. В частности, если в портфеле имеется иная прибыль/убыток помимо начислений и комиссий брокера, то их нужно внести вручную через добавление сделки в разделе «Деньги» / «Доход/Расход» (Intelinvest);
- высокая стоимость приобретения сервиса с учетом текущих и будущих клиентов. Например, ООО «УК» подойдет тариф «Премиум» с «Вечной подпиской» без ограничений, с доступом ко всем будущим обновлениям сервиса учета за 17990 рублей. Данный доступ потребуется приобретать для каждого клиента. Уже при наличии 200 клиентов требуемая сумма составит $17\,990 \cdot 200 = 3\,598\,000$ рублей (сервис Intelinvest).
- отсутствует возможность балансировки портфеля (Blackterminal);
- отсутствует возможность добавления в портфель внебиржевых инструментов (криптовалюты, недвижимость, банковские депозиты) и валют (доллары, евро) (Blackterminal).

Поскольку рассмотренные топовые программные продукты обладают серьезными недостатками, было принято решение о разработке собственной информационной системы. Учитывая, что автоматизация основной деятельности ООО «УК» реализована на платформе «1С: Предприятие», было решено на ней вести разработку собственной конфигурации. Используя метод «сущность – связь», была проанализирована и разработана модель предметной области (рис. 3) и инфологическая модель базы данных (рис. 4).

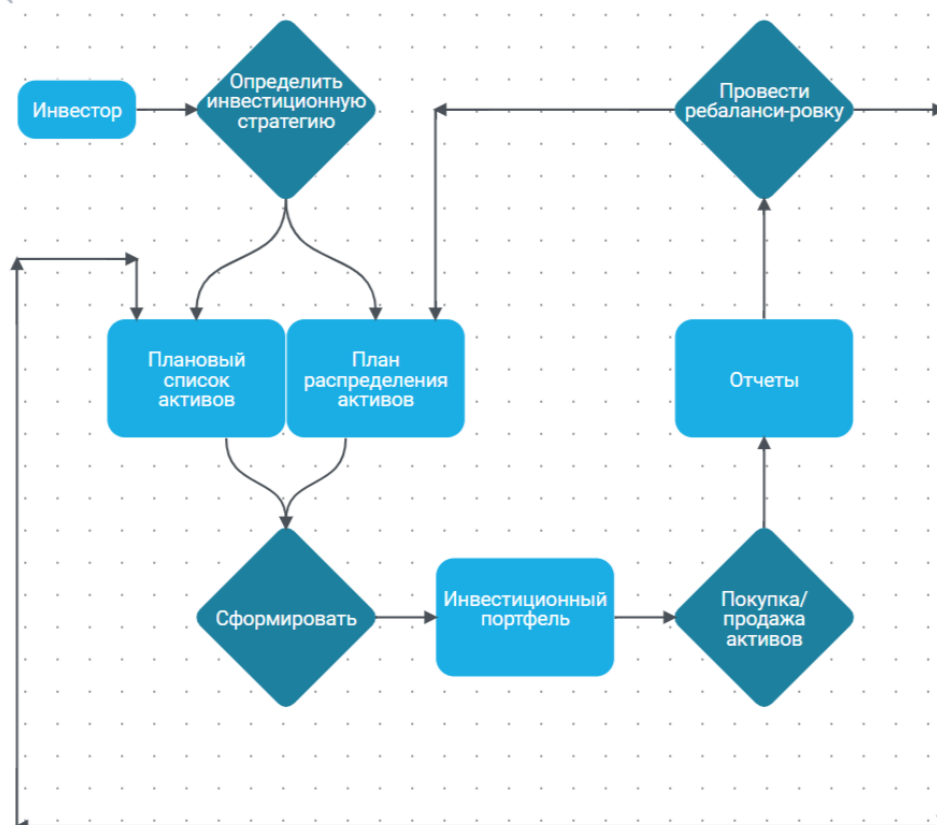


Рис. 3. Модель «сущность – связь»

Fig. 3. ER – model

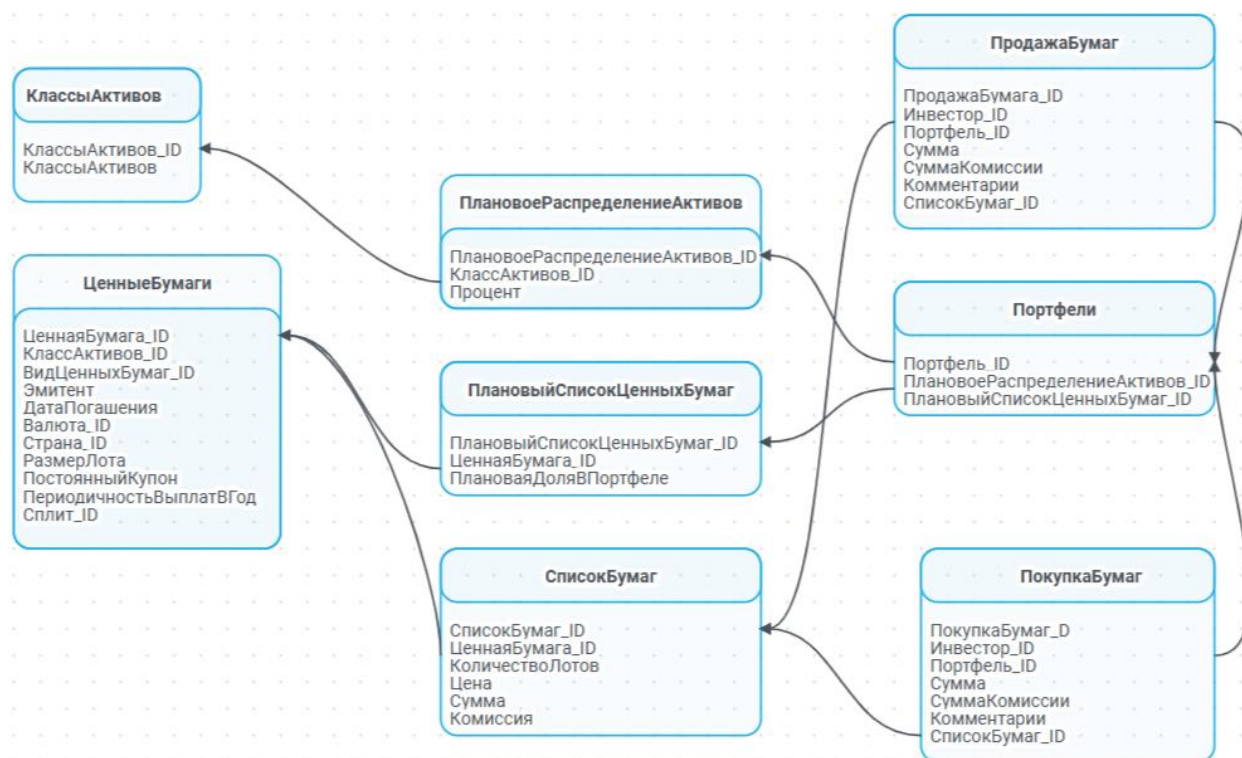


Рис. 4. Инфологическая модель базы данных

Fig. 4. Infological database model

Разработанная конфигурация имеет следующую структуру дерева метаданных (рис. 5).

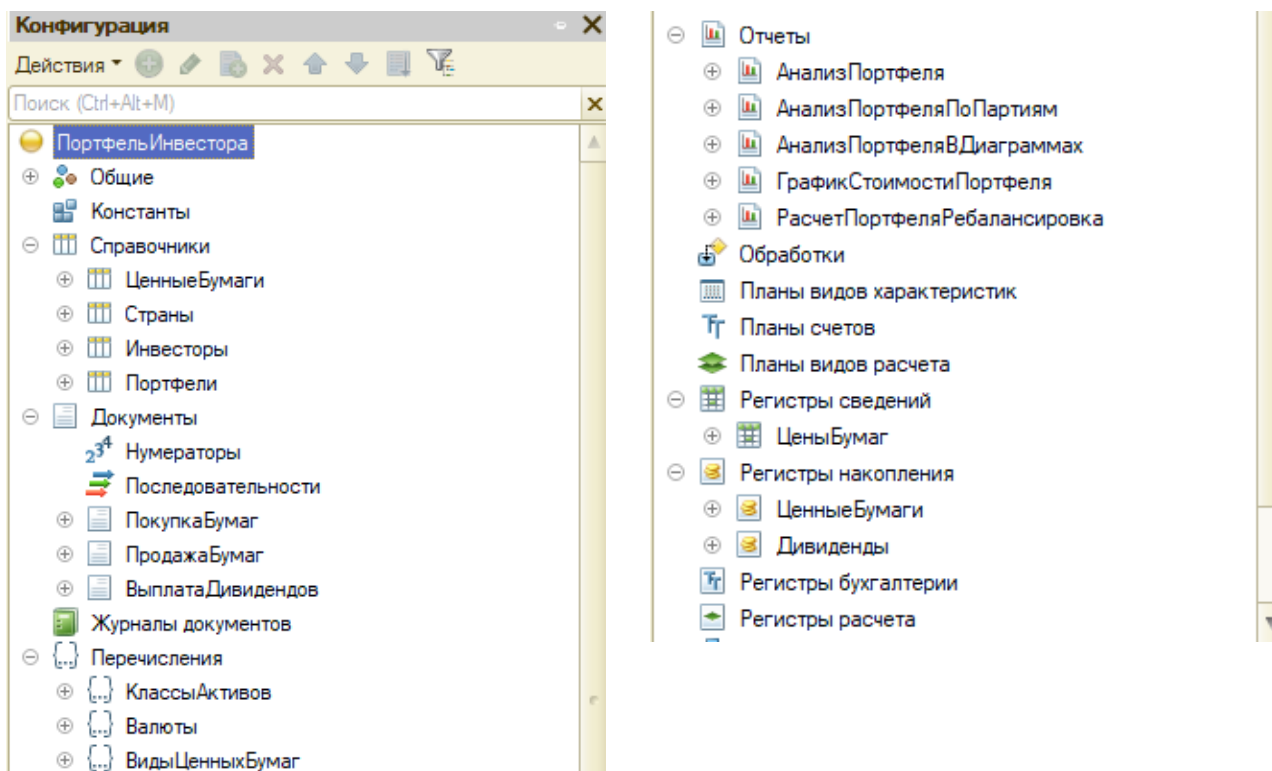


Рис. 5. Дерево метаданных информационной базы

Fig. 5. The metadata tree of the information base

Пользователь запускает конфигурацию «Портфель инвестора» в режиме 1С:Предприятие и открывается следующий командный интерфейс информационной системы. Система содержит четыре основных раздела: настройка, операции, отчеты, администрирование (рис. 6).

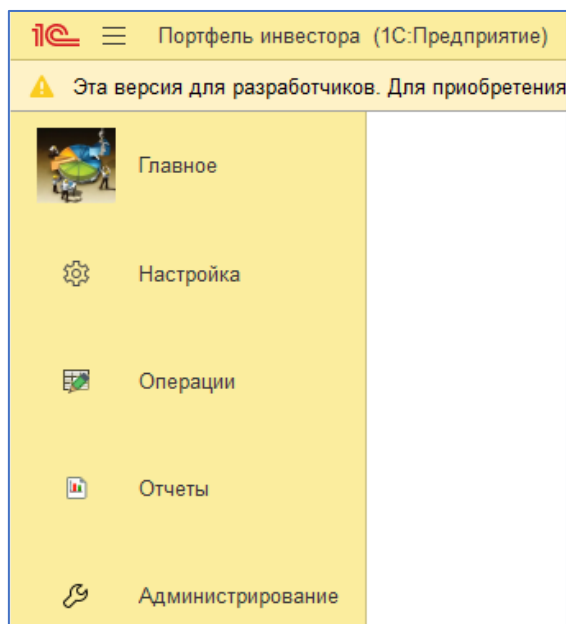


Рис. 6. Командный интерфейс приложения
Fig. 6. The application's command interface

В подсистеме «Настройки» задаются настройки ведения учета для создания и редактирования данных об инвесторах, их инвестиционных портфелях, странах активов и торгов, а также о ценных бумагах (рис. 7).

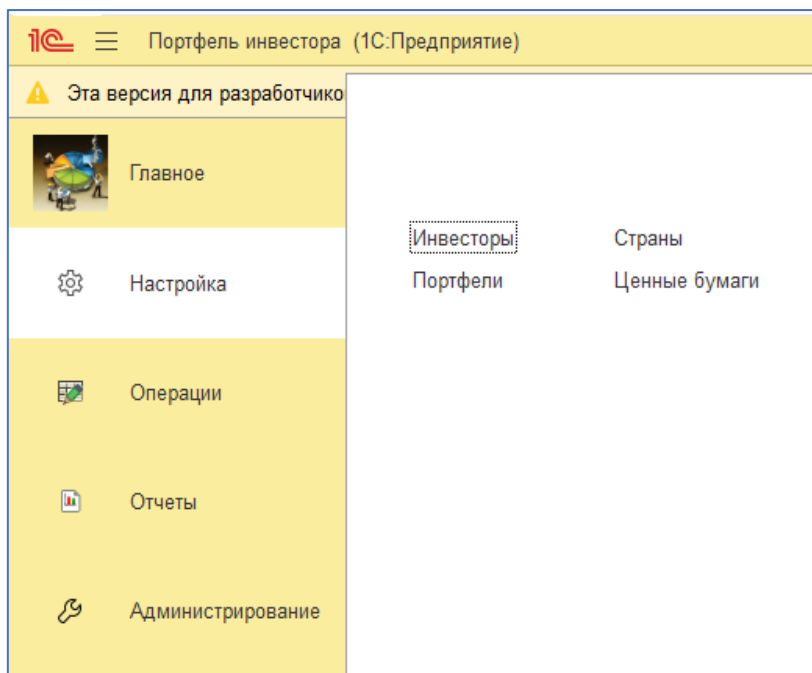


Рис. 7. Навигация раздела «Настроек»
Fig. 7. Navigation of the "Settings" section

Создаются страны, инвесторы, ценные бумаги и инвестиционные портфели, в которых указываются владельцы – инвесторы, причем у одного инвестора может быть несколько

инвестиционных портфелей. В табличной части «Основного портфеля» на вкладке «Плановое распределение активов» выбираются классы активов из предлагаемого перечня (Акции / Облигации и денежный рынок / Товары и сырье) и плановый процент (доля) выбранного актива в инвестиционном портфеле, согласно ранее полученному риск-профилю инвестора и финансовому плану. Портфель отражает структуру активов по классам в процентах (рис. 8) и конкретные виды приобретенных активов (рис. 9).

The screenshot displays a software interface for managing investment portfolios. The main window, titled 'Инвестиционные портфели' (Investment Portfolios), contains a table listing several portfolios. The 'Основной портфель' (Main Portfolio) is selected, and a detailed window for it is open. This window shows the 'Плановое распределение активов' (Planned distribution of assets) tab, which contains a table detailing the asset class allocation.

Наименование	Код	Владелец
Основной портфель	000000001	Андрей Громов
Портфель ИИС	000000003	Андрей Громов
Портфель лежебоки	000000004	Сергей Спирин
Портфель Уоррена Баффетта	000000002	Уоррен Баффетт

Основной портфель (Инвестиционный портфель)		
Код	Наименование	Владелец
000000001	Основной портфель	Андрей Громов

N	Класс активов	Процент
1	Акции	70,00
2	Облигации и денежный рынок	25,00
3	Товары и сырье	5,00
Итого:		100,00

Рис. 8. Структура инвестиционного портфеля по классам активов
Fig. 8. The structure of the investment portfolio by asset class

☆ Основной портфель (Инвестиционный ...)

Записать и закрыть Записать Еще ▾

Код: 000000001

Наименование: Основной портфель

Владелец: Андрей Громов ▾

Плановое распределение активов Плановый список ценных бумаг

Добавить ↑ ↓ Поиск (Ctrl+F) × Еще ▾

N	Ценная бумага	Плановая доля в портфеле
1	EQMX (ВТБ - БПИФ Индекс Мос...	70,00
2	LQDT (ВТБ - БПИФ Ликвидность)	25,00
3	GOLD (ВТБ - БПИФ Золото)	5,00
Итого:		100,00

Рис. 9. Структура инвестиционного портфеля по видам ценных бумаг
Fig. 9. The structure of the investment portfolio by types of securities

Создается и заполняется перечень ценных бумаг с указанием класса, вида, эмитента (10).

☆ Перечень ценных бумаг

Создать Создать группу Поиск (Ctrl+F) × Q ▾ Еще ▾

Тикер	Код	Класс активов	Вид ценных бу...	Эмитент
Ценные бумаги				
ETF и БПИФы	000000009			
Фонды денежного рынка	000000012			
LQDT	000000002	Облигации и д...	Акция	ВТБ - БПИФ Ликвидность
Фонды на акции	000000010			
EQMX	000000001	Акции	Акция	ВТБ - БПИФ Индекс МосБи.
Фонды на облигации	000000011			
Фонды товарно-сырьевого рынка	000000013			
Золото	000000018			
GOLD	000000003	Товары и сырье	Акция	ВТБ - БПИФ Золото
Серебро	000000019			
Акции	000000004			
Зарубежные акции	000000015			
Российские акции	000000014			
Сбербанк ао	000000020	Акции	Акция	ПАО Сбербанк
Облигации	000000005			
Зарубежные облигации	000000017			
Российские облигации	000000016			
Корпоративные	000000008			

Рис.10. Перечень ценных бумаг
Fig. 10. List of securities

Документ «Покупка бумаг» используется для хранения данных об операции покупки ценных бумаг в инвестиционный портфель (рис. 11).

N	Ценная бумага	Количество лотов	Цена	Сумма	НК
1	EQMX (ВТБ - БПИФ ...)	700,000	117,0000	81 900,00	
2	LQDT (ВТБ - БПИФ Л...)	15 000,000	1,5200	22 800,00	
3	GOLD (ВТБ - БПИФ ...)	5 000,000	2,1000	10 500,00	

Рис.11. Документ покупки ценных бумаг

Fig. 11. The securities purchase document

Документ «Продажа бумаг» используется для отражения данных об операциях продажи ценных бумаг из инвестиционного портфеля (рис. 12).

N	Ценная бумага	Количество лотов	Цена	Сумма	Комисс
1	EQMX (ВТБ - БПИФ ...)	100,000	117,6000	11 760,00	
2	LQDT (ВТБ - БПИФ Л...)	1 000,000	1,5400	1 540,00	
3	GOLD (ВТБ - БПИФ ...)	500,000	2,2100	1 105,00	

Рис.12. Документ продажи ценных бумаг

Fig. 12. The document of sale of securities

В конфигурации формируется пять отчетов.

Отчет «Анализ портфеля» — отражает информацию по выбранному инвестиционному портфелю, а именно текущий состав портфеля с рыночными ценами на бирже и фактическими долями активов в портфеле. Отчет отражает текущий плавающий доход как суммарный, так и в разрезе групп ценных бумаг (рис. 13).

← → ☆ Анализ портфеля

Сформировать Выбрать вариант... Настройки...

Портфель: ☒ Основной портфель

Параметры: Портфель: Основной портфель

Ценная бумага	Дата погашения	Размер лота	Лотов куплено	Цена бумаги на бирже	Цена лота на бирже	Сумма покупки	Сумма комиссии	Текущая стоимость бумаг
ETF и БПИФы						217 130,00		220 136,6
Фонды денежного рынка						44 230,00		44 860,1
LQDT (ВТБ - БПИФ Ликвидность)		1	29 000,000	1,5469	1,5469	44 230,00		44 860,1
Фонды на акции						152 450,00		154 310
EQMX (ВТБ - БПИФ Индекс МосБиржи)		1	1 300,000	118,7000	118,7	152 450,00		154 310
Фонды товарно-сырьевого рынка						20 450,00		20 966,5
Золото						20 450,00		20 966,5
GOLD (ВТБ - БПИФ Золото)		1	9 500,000	2,2070	2,207	20 450,00		20 966,5
Итого						217 130,00		220 136,6

а

Ценная бумага	Дата погашения	Размер лота	Лотов куплено	Цена бумаги на бирже	Текущий НКД	Дивиденды	Плановая доля в портфеле	Доля в портфеле факт	Доход
ETF и БПИФы							100,00	100,00	3 0
Фонды денежного рынка							25,00	20,38	6
LQDT (ВТБ - БПИФ Ликвидность)		1	29 000,000				25,00	20,38	
Фонды на акции							70,00	70,10	1
EQMX (ВТБ - БПИФ Индекс МосБиржи)		1	1 300,000				70,00	70,10	
Фонды товарно-сырьевого рынка							5,00	9,52	5
Золото							5,00	9,52	5
GOLD (ВТБ - БПИФ Золото)		1	9 500,000				5,00	9,52	
Итого							100,00	100,00	3 0

б

Рис.13. Отчет «Анализ Портфеля»: а – начало; б – окончание
Fig. 13. The «Portfolio Analysis» report: a – beginning; b – ending

Отчет «Анализ портфеля по партиям» — отражает информацию по партии покупок ценных бумаг выбранного инвестиционного портфеля, данные требуются для учета при продажах по принципу FIFO и отсчета дат для получения налоговой льготы долгосрочного владения, регламентируемой ст. 219.1 и 221.1 НК РФ (рис. 14).

← → ☆ Анализ портфеля по партиям

Сформировать Выбрать вариант... Настройки... Еще

Портфель: ☒ Основной портфель

Параметры: Портфель: Основной портфель

Ценная бумага	Количество лотов	Сумма покупки	Сумма комиссии	Текущая сумма бумаг	Текущий НКД	Дивиденды	Доход
Партия.Дата	Цена покупки	Цена на бирже					
ETF и БПИФы	39 800	217 130		220 136,6			3 006,6
Фонды денежного рынка	29 000	44 230		44 860,1			630,1
LQDT (ВТБ - БПИФ Ликвидность)	29 000	44 230		44 860,1			630,1
10.12.2024 19:04:32	1,52	1,5469	14 000	21 656,6			376,6
13.12.2024 18:00:00	1,53	1,5469	15 000	23 203,5			253,5
Фонды на акции	1 300	152 450		154 310			1 860
EQMX (ВТБ - БПИФ Индекс МосБиржи)	1 300	152 450		154 310			1 860
10.12.2024 19:04:32	117	118,7	600	71 220			1 020
13.12.2024 18:00:00	117,5	118,7	700	83 090			840
Фонды товарно-сырьевого рынка	9 500	20 450		20 966,5			516,5
Золото	9 500	20 450		20 966,5			516,5
GOLD (ВТБ - БПИФ Золото)	9 500	20 450		20 966,5			516,5
10.12.2024 19:04:32	2,1	2,207	4 500	9 931,5			481,5
13.12.2024 18:00:00	2,2	2,207	5 000	11 035			35
Итого	39 800	217 130		220 136,6			3 006,6

Рис. 14. Отчет «Анализ портфеля по партиям»

Fig. 14. The «Portfolio analysis by party» report

Текущий НКД (накопленный купонный доход) отражает сумму процентов по облигации, которая накопилась с момента последней выплаты купона до текущей даты. При покупке облигации между датами купонных выплат покупатель платит продавцу не только рыночную цену бумаги, но и эту накопленную часть купонного дохода. Это нужно для того, чтобы при следующей выплате купона новый владелец получил полный купон, а предыдущий - не потерял доход за время владения облигацией до продажи.

Отчет «Анализ портфеля в диаграммах» – отражает информацию по выбранному инвестиционному портфелю в виде круговых диаграмм и столбчатых графиков, а именно распределение активов по классам, группам ценных бумаг, видам ценных бумаг, валютам активов, валютам торгов, странам активов и странам торгов (рис. 15).

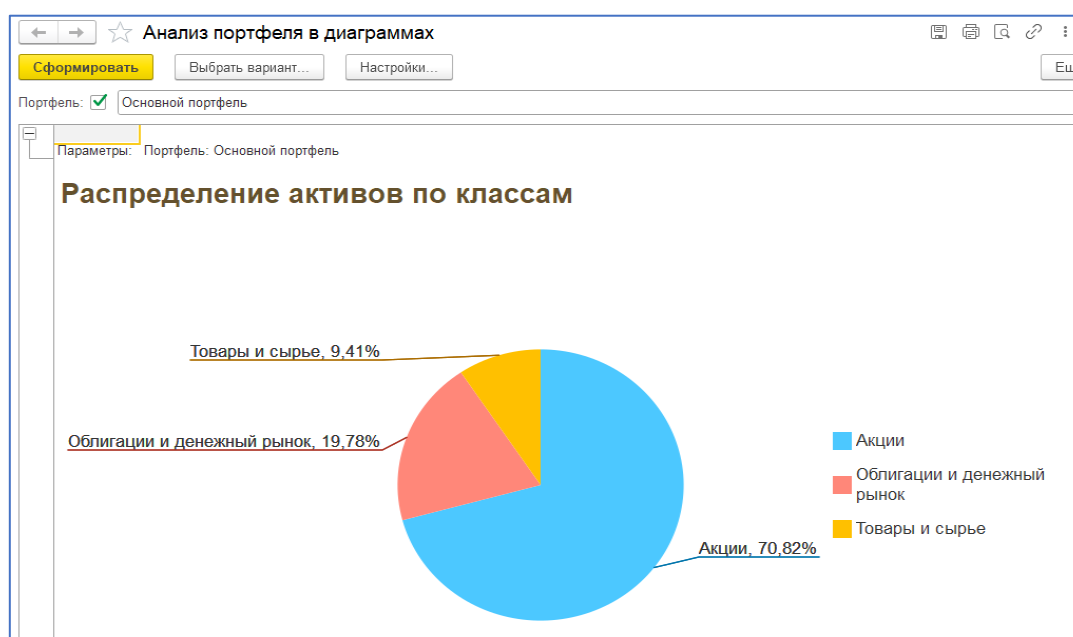


Рис. 15. Отчет «Анализ портфеля в диаграммах» (начало)

Fig. 15. The report «Portfolio analysis by diagrams» (beginning)

Отчет «График стоимости портфеля» – отражает информацию по динамике изменения стоимости выбранного инвестиционного портфеля за все время его существования (рис. 16).

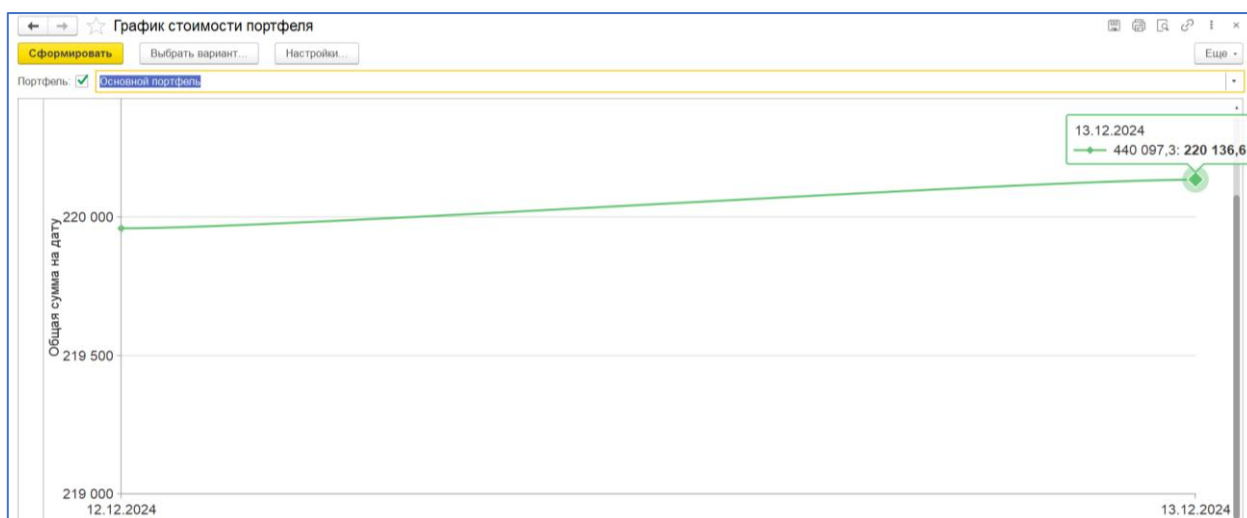


Рис. 16. График стоимости портфеля
Fig. 16. Portfolio cost chart

Отчет «Расчет портфеля и Ребалансировка» отражает информацию о фактических долях финансовых инструментов в инвестиционном портфеле и плановых показателях. Отчет позволяет рассчитать необходимые объемы сделок по акциям и облигациям, исходя из планируемой суммы пополнения (рис. 17), а также отражает актуальное состояние инвестиционного портфеля после ребалансировки (рис. 18).

Основной портфель планируется пополнить на 100 тыс. р., из них планируется докупить ценных бумаг EQMX на 65,641 тыс. р. или 553 лота, исходя из последних актуальных цен, LQDT – на сумму 33,674 тыс. р. или 21769 лотам. GOLD закупать не планируется, т.к. доля актива в портфеле превышает плановое значение ($9,52 - 5 = + 4,52$ процентов) (рис. 17).

←

→

☆

Расчет инвестиционного портфеля и ребалансировка

Сформировать

3

Сформировать с учетом ручной корректировки

📄

🔍

🖨

Расчет и ребалансировка

Ручная корректировка

Портфель:

Основной портфель

1

▼

📄

Сумма пополнения:

2

100 000,00

📄

Количество операций:

Расчет инвестиционного портфеля. Планируемая сумма пополнения 100 000

Бумага	Лот					Сумма портфеля на бирже (без НКД)
	Кол-во бумаг в лоте	Кол-во в портфеле	Цена одного лота	НКД	Цена в валюте	
ETF и БПИФы						199 170,1
Фонды денежного рынка						44 860,1
LQDT (ВТБ - БПИФ Ликвидность)	1	29 000	1,5469	-	-	44 86
Фонды на акции						154 310,0
EQMX (ВТБ - БПИФ Индекс МосБиржи)	1	1 300	118,7000	-	-	154 31
Фонды товарно-сырьевого рынка						20 966,5
Золото						20 966,5
GOLD (ВТБ - БПИФ Золото)	1	9 500	2,2070	-	-	20 96
						220 13

Бумага	Доля в портфеле						
	План	Факт	Лотов расчетная	Лотов округленная	На сумму	На сумму + НКД	В том числе валюта
ETF и БПИФы	95	90,48			99 315,57	99 315,57	-
Фонды денежного рынка	25	20,38			33 674,47	33 674,47	-
LQDT (ВТБ - БПИФ Ликвидность)	25	20,38	21 768,73	21 769	33 674,47	33 674,47	-
Фонды на акции	70	70,10			65 641,10	65 641,10	-
EQMX (ВТБ - БПИФ Индекс МосБиржи)	70	70,10	552,53	553	65 641,10	65 641,10	-
Фонды товарно-сырьевого рынка	5	9,52			-	-	-
Золото	5	9,52			-	-	-
GOLD (ВТБ - БПИФ Золото)	5	9,52	-	-	-	-	-
					99 315,57	99 315,57	

б

Рис. 17. Отчет «Расчет портфеля ребалансировки» (вкладка «Расчет и ребалансировка»):
а – начало; б – окончание

Fig. 17. Rebalancing Portfolio Calculation Report (tab «Calculation and rebalancing»):
а – beginning; б – ending

Актуальное состояние инвестиционного портфеля после ребалансировки отражается в таблице (рис. 18). Биржевые цены изменяются очень активно, поэтому доля актива в портфеле не будет точно совпадать с плановым значением, но все-таки должна быть близка к нему.

Инвестиционный портфель после ребалансировки								
Бумага	Лот					Сумма портфеля на бирже (без НКД)	Доля в портфеле	
	Кол-во бумаг в лоте	Кол-во в портфеле	Цена одного лота	НКД	Цена в валюте		План	Факт
ETF и БПИФы						298 485,67	95	93,43
Фонды денежного рынка						78 534,57	25	24,58
LQDT (ВТБ - БПИФ Ликвидность)	1	50 769	1,5469	-	-	78 535	25	24,58
Фонды на акции						219 951,10	70	68,85
EQMX (ВТБ - БПИФ Индекс МосБиржи)	1	1 853	118,7000	-	-	219 951	70	68,85
Фонды товарно-сырьевого рынка						20 966,50	5	6,56
Золото						20 966,50	5	6,56
GOLD (ВТБ - БПИФ Золото)	1	9 500	2,2070	-	-	20 967	5	6,56
						319 452		

а

Бумага	Сумма портфеля на бирже (без НКД)	Доля в портфеле	
		План	Факт
ETF и БПИФы	298 485,67	95	93,43
Фонды денежного рынка	78 534,57	25	24,58
LQDT (ВТБ - БПИФ Ликвидность)	78 535	25	24,58
Фонды на акции	219 951,10	70	68,85
EQMX (ВТБ - БПИФ Индекс МосБиржи)	219 951	70	68,85
Фонды товарно-сырьевого рынка	20 966,50	5	6,56
Золото	20 966,50	5	6,56
GOLD (ВТБ - БПИФ Золото)	20 967	5	6,56
	319 452		

б

Рис. 18. Отчет «Инвестиционный портфель после ребалансировки»: а – начало; б – окончание

Fig. 18. Rebalancing Portfolio: а – beginning; б – ending

В программе также реализована возможность ручной корректировки приобретаемых/продаваемых активов. На странице «Ручная корректировка» можно внести

изменения в количество лотов к покупке и сформировать актуальный портфель с учетом ручной корректировки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для формирования, оценки и ребалансировки инвестиционного портфеля частного лица–клиента управляющей компании были проанализированы соответствующие бизнес-процессы управляющей компании ООО «УК», что позволило сформулировать требования к функционалу информационной системы. Они должны включать: корректную загрузку данных через API, добавление любых активов в портфель и выбор требуемой градации, автоматический расчет доходности и формирование отчетности. Для ведения основной деятельности ООО «УК» использовало самостоятельно настроенные таблицы Microsoft Excel и Google, бухгалтерский и налоговый учет ведется в 1С:Бухгалтерия предприятия 3.0, для доступа к биржевым торгам через интернет, совершения сделок и ведения оперативного учета операций используется программный комплекс QUIK. В ООО «УК» программный комплекс строится на основе модульного подхода.

Проведенный анализ системы учета инвестиционных портфелей клиентов-частных лиц, используемой ООО «УК», позволил выявить следующие недостатки: в таблицах Excel и Google не автоматизирован расчет прибыльности сделок, нет сведений о динамике ежемесячной доходности инвестиционного портфеля клиента, соответственно отчет инвестору не формируется автоматически; также бывает некорректная загрузка данных в таблицы Microsoft Excel и Google из МБ.

Анализ рыночных топовых программных продуктов (Invest Planner, Izi-Invest, Blackterminal, Snowball и Intelinvest), также выявил ряд существенных недостатков: нехватка градации биржевых инвестиционных фондов (ETF фондов) по структуре активов; отсутствие возможности добавления в портфель инструментов срочного рынка (деривативов) и внебиржевых инструментов; периодическое попадание значения «null» в текущую цену, что ведет к искажению данных и не позволяет рассчитывать показатели ребалансировки портфеля; в ряде программ отсутствует импорт сделок по API (с использованием API-токена), а только через загрузку файлов отчетов и через добавление сделок вручную; там, где имеется возможность импорта данных, часто возникают неточности брокерских отчетов; существует проблема безопасности передачи и хранения данных; высокая стоимость приобретения, в ряде случаев требуется внести исправления в код программы, которые нельзя исправить самостоятельно, а только за дополнительную плату через разработчика.

Таким образом, используемая система учета, а также внедрение топовых рыночных программных продуктов, имеют существенные недостатки, поэтому была разработана собственная конфигурация на платформе «1С: Предприятие». Разработанная конфигурация позволяет формировать инвестиционный портфель согласно выбранной стратегии, вести его учет и производить ребалансировку, автоматически корректно обновлять котировки финансовых активов, производить операции покупки и продажи активов инвестиционного портфеля, вести расчет доходности активов в динамике, добавлять любые виды активов без ограничения, формировать отчетность и выполнять все эти действия в рамках одной программы. Разработанная конфигурация позволила устранить недостатки существующей системы ведения учета, искажавшие результаты и снижавшие эффективность инвестиционной деятельности, вести весь комплекс бизнес-процессов в единой информационной системе, сделав его прозрачным и менее трудоемким.

Список литературы

1. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от 30.11.1994 № 51-ФЗ (ред. от 08.08.2024) – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Налоговый кодекс Российской Федерации — часть первая от 31 июля 1998 г. N 146-ФЗ и часть вторая от 5 августа 2000 г. N 117-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Стандарты профессиональной деятельности на рынке ценных бумаг (с изменениями на 20 апреля 2018 года). URL: <http://naufor.ru/tree.asp?n=18305>

4. Федеральный закон «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» от 25.02.1999 № 39-ФЗ (с изменениями на 25 декабря 2023 года) – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

5. Федеральный закон «О рынке ценных бумаг» от 22.04.96 № 39-ФЗ (с изменениями на 8 августа 2024 года) (редакция, действующая с 20 сентября 2024 года) – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

6. Федеральный закон «О саморегулируемых организациях в сфере финансового рынка» от 13 июля 2015 г. N 223-ФЗ (с изменениями на 10 июля 2023 года) – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

7. Азрилиян А.Н. Большой экономический словарь: 24800 терминов / [Авт. и сост.: А.Н. Азрилиян и др.]; Под ред. А.Н. Азрилияна. – 5. изд., перераб. и доп. – Москва: Ин-т новой экономики, 2002. – 1280 с.

8. Бернштейн П. Фундаментальные идеи финансового мира / П. Бернштейн. – М.: Альпина Паблишерз, 2009. – 247 с.

9. Блэк Дж. Экономика: Толковый словарь (Англо-русский) / Дж. Блэк; пер.: А.В. Щедрин, А.М. Волков, О.Е. Трофимова и др.; общ. ред. И.М. Осадчая. – Москва: ИД "ИНФРА-М": Весь Мир, 2000. – 830 с.

10. Богомолова М.А. Основы конфигурирования в системе 1С: Предприятие 8.3: учебное пособие / М.А. Богомолова. – Самара: ПГУТИ, 2019. – 204 с.

11. Боди З., Мертон, Р. Финансы / З. Боди, Р. Мертон. – М.: Вильямс, 2007. – 592с.

12. Буренин А.Н. Рынок ценных бумаг и производных финансовых инструментов / А.Н. Буренин. – М.: Научно-техническое общество имени академика С.И. Вавилова, 2009. – 418 с.

13. Громов А. 8 профессиональных участников рынка ценных бумаг. Кто есть кто на фондовой бирж // Т-Ж. URL: <https://t-j.ru/market-faq/> (дата обращения 22.03.2025).

14. Грэхем Б. Разумный инвестор. Полное руководство по стоимостному инвестированию. М.: Альпина Паблишер, 2020. – 568 с.

15. Даева С.Г. Основы разработки корпоративных информационных систем на платформе 1С: Предприятие 8.3: учебно-методическое пособие / С.Г. Даева. – Москва: РТУ МИРЭА, 2020. – 74 с.

16. Ибботсон Р.Г., Харрингтон Д. Акции, облигации, векселя и инфляция: Сводное издание 2021 г. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3893876 (дата обращения 15.03.2025).

17. Кейнс Дж.М. Общая теория занятости, процента и денег. М.: Гелиос АРВ, 2002. – 352 с.

18. Ковалев В.В. Финансовый менеджмент – Учеб. пособие по Программе подготовки и аттестации профессиональных бухгалтеров / В.В. Ковалев – М.: Издательский дом БИНФА, 2007. – 232 с.

19. Лауреат Нобелевской премии Юджин Фама объясняет, почему у вас нет шансов обыграть рынок. – Ю. Фама, Нобелевская премия по экономике 2013 года // Business Insider. URL: <https://www.businessinsider.com/2013-nobel-prize-in-economics-2013-10?type=social> (дата обращения: 10.03.2025).

20. Лукасевич И.Я. Анализ финансовых операций. Методы, модели, методика вычислений. – М.: Финансы, ЮРИТИ, 1998. – 400 с.

21. Макконел К.Р., Брю С.Л., Флинн Ш.М. Экономикс: принципы, проблемы и политика: пер. с англ. 18-го изд. – М.: ИНФРА-М, 2011. – XXX, 1010 с.

22. Маршалл А. Принципы экономической науки. Пер. с англ. Т. 2 / А. Маршалл; авт. вступ. ст.: Дж.М. Кейнс. – Москва: Прогресс, 1993. – 1087 с.

23. Модель портфеля ценных бумаг Гарри Марковица // Answr. URL: <https://answr.pro/articles/425-model-portfelya-tsenniyh-bumag-garri-markovitsa-sut-i-printsipyi-postroeniya/?ysclid=macmactu3686236094> (дата обращения: 12.03.2025).

24. Далио Р. Всепогодное портфолио // Portfolioslab. URL: <https://portfolioslab.com/portfolio/ray-dalio-all-weather> (дата обращения: 05.04.2023).

25. Репин С.С. Экономическая таблица Франсуа Кенэ // Молодой ученый. – 2016. – №6. – С. 529-531.

26. Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов – Москва: Эксмо, 2016. – 1056 с.

27. Тимофеева А.А. К вопросу об управляющей компании как участнике рынка ценных бумаг / А.А. Тимофеева. – DOI: 10.17150/2411-6262.2020.11(1).8 // Baikal Research Journal. – 2020. – Т. 11, № 1.

28. Фабоцци Ф. Управление инвестициями: Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 2000. – XXVIII, 932 с. – (Серия «Университетский учебник»).

29. Фишер С., Дорнбуш Р., Шмалензи Р. Экономика: Пер. с англ. со 2-го изд. – М.: «Дело ЛТД», 2002. – 864 с.

30. Шарп У., Александер Г., Бэйли Дж. Инвестиции: Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 2001. – с. 1028.

References

1. The Civil Code of the Russian Federation (Part one) by 30.11.1994 № 51-ФЗ (ed. 08.08.2024) – Access from the help.-legal system «ConsultantPlus».
2. The Tax Code of the Russian Federation – Part one, by 31.07.1998 N 146-ФЗ and second part by 05.08.2000 N 117-ФЗ. – Access from the help.-legal system «ConsultantPlus».
3. Standards of professional activity in the securities market. (ed. 20.04.2018). URL: <http://naufor.ru/tree.asp?n=18305>
4. Federal Law «On Investment Activities in the Russian Federation Carried out in the Form of Capital Investments» by 25.02.1999 № 39-ФЗ. (ed. 25.12.2023) – Access from the help.-legal system «ConsultantPlus».
5. Federal Law "On the Securities Market" by 22.04.96 № 39-ФЗ. (ed. 08.08.2024) – Access from the help.-legal system «ConsultantPlus».
6. Federal Law «On Self-Regulatory Organizations in the Financial Market» by 13.07.2015 N 223-ФЗ. (ed. 10.07.2023) – Access from the help.-legal system «ConsultantPlus».
7. Azriliyan A.N. Big economic dictionary: 24,800 terms / [Author. and comp.: A.N. Azriliyan et al.]; Edited by A.N. Azriliyan. – 5th ed., reprint. and add. – Moscow: New Economy Institute, 2002. – 1280 p.
8. Bernstein P. Fundamental ideas of the financial world / P. Bernstein, Moscow: Alpina Publishers, 2009. – 247 p.
9. Black J. Economics: An Explanatory Dictionary (English-Russian) / J. Black; translated by A.V. Shchedrin, A.M. Volkov, O.E. Trofimova et al.; general editorship by I. M. Osadchaya. Moscow: INFRA-M Publishing House: The Whole World, 2000. – 830 p.
10. Bogomolova M.A. Fundamentals of configuration in the 1C: Enterprise 8.3 system: a textbook / M.A. Bogomolova. – Samara: PGUTI, 2019. – 204 p.
11. Bodi Z., Merton R. Finance / Z. Bodi, R. Merton. – M.: Williams, 2007. – 592 p.
12. Burenin A.N. Securities market and derivative financial instruments / A.N. Burenin. – M.: Scientific and Technical Society named after academician S.I. Vavilov, 2009. – 418 p.
13. Gromov A. 8 professional participants of the securities market. Who's who on the stock exchange // T-J. URL: <https://t-j.ru/market-faq/> (date of access: 22.03.2025).
14. Graham B. The Intelligent Investor. A Complete Guide to Value Investing. M.: Alpina Publisher, 2020. – 568 p.
15. Daeva S.G. Fundamentals of Developing Corporate Information Systems on the 1C: Enterprise 8.3 Platform: Study and Methodological Guide / S.G. Daeva. – Moscow: RTU MIREA. 2020. – 74 p.
16. Ibbotson R.G., Harrington J. Stocks, Bonds, Bills and Inflation: 2021 Synthesis Edition. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3893876 (date of access: 15.03.2025).
17. Keynes J.M. The General Theory of Employment, Interest and Money. Moscow: Helios ARV, 2002. – 352 p.
18. Kovalev V.V. Financial Management – A textbook for the training and certification of professional accountants / V.V. Kovalev. – Moscow: BINFA Publishing House, 2007. – 232 p.
19. Nobel laureate Eugene Fama explains why you have no chance of beating the market. - Eugene Fama, Nobel Prize in Economics 2013 // Business Insider. URL: <https://www.businessinsider.com/2013-nobel-prize-in-economics-2013-10?type=social> (date of access: 10.03.2025).
20. Lucasiewicz I.Y. Analysis of Financial Transactions. Methods, Models, Calculation Techniques. – Moscow: Finance, YURITI, 1998. – 400 p.
21. McConnell C.R., Brue S.L., Flynn S.M. Economics: Principles, Problems, and Policies: translated from English, 18th ed. – Moscow: INFRA – 2011. – XXX, 1010 p.
22. Marshall A. Principles of Economic Science. Translated from English. Vol. 2 / A. Marshall; author of the introductory article: J.M. Keynes. – Moscow: Progress, 1993. – 1087 p.
23. The portfolio model of securities by Harry Markowitz // Answr. URL: <https://answr.pro/articles/425-model-portfelya-tsennyih-bumag-garri-markovitsa-sut-i-printsipyi-postroeniya/?ysclid=macmactu3686236094> (date of access: 12.03.2025).
24. Dalio R. All Weather Portfolio // Portfolioslab. URL: <https://portfolioslab.com/portfolio/ray-dalio-all-weather> (date of access: 05.04.2023).
25. Repin S.S. Economic table of François Quesnay // Young Scientist. – 2016. – №6. – p. 529-531.
26. Smith A. An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations. – Moscow: Eksmo, 2016. – 1056 p.

27. Timofeeva A.A. On the issue of the management company as a participant in the securities market / A.A. Timofeeva. – DOI: 10.17150/2411-6262.2020.11(1).8 // Baikal Research Journal. – 2020. – Т. 11, № 1.
28. Fabozzi F. Investment Management: Translated from English. – Moscow: INFRA. – 2000. – XXVIII, – 932 p. – (University Textbook Series).
29. Fischer S., Dornbusch R., Schmalensee R. Economy: Translated from English, 2nd edition. – Moscow: «Delo LTD», 2002. – 864 p.
30. Sharp W., Alexander G., Bailey J. Investments: Translated from English. – Moscow: INFRA. – 2001. – 1028 p.

Тихонова Ирина Васильевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Прикладной информатики и документооборота», Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет», г. Иркутск, Россия

Громов Андрей Викторович, программист 1С, отдел внедрения, ООО «Лаборатория С», г. Иркутск, Россия

Tikhonova Irina Vasilievna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Documentation, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Gromov Andrey Viktorovich, Programist 1C, Implementation Department, Limited Liability Company «Laboratory C», Irkutsk, Russia

УДК 004.432:004.056.55

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-4

**Рыбанов А.А.
Дроздов С.Д.**

КОМПАРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ FIREBASE TEST LAB ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет», ул. Энгельса, 42а, г. Волжский, Волгоградская область, 404121, Россия

e-mail: rybanoff@yandex.ru, sddrozdov000@gmail.com

Аннотация

В статье проводится компаративный анализ эффективности облачной платформы Firebase Test Lab для тестирования мобильных приложений в контексте фрагментированной экосистемы Android. Исследование фокусируется на оценке производительности, точности выявления дефектов и экономической эффективности платформы в сравнении с традиционными методами тестирования. Методология включает автоматизированное тестирование (Espresso, XCTest) для регрессионных проверок UI, интерактивное исследовательское тестирование с записью пользовательских действий, а также мониторинг ресурсопотребления (CPU, RAM, GPU) для выявления сложнодиагностируемых дефектов. Результаты демонстрируют 30-40% сокращение времени тестирования благодаря параллельному выполнению тестов, расширенную аналитику (тепловые карты, видеозаписи сессий) и высокую точность обнаружения эргономических проблем интерфейса. Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по оптимизации процессов тестирования и обоснованному выбору инструментов обеспечения качества мобильных приложений.

Ключевые слова: Firebase Test Lab; мобильное тестирование; автоматизация тестирования; компаративный анализ; производительность приложений; Espresso; XCTest; Robo-тестирование

Для цитирования: Рыбанов А.А., Дроздов С.Д. Компаративный анализ эффективности использования Firebase Test Lab для тестирования мобильных приложений // Научный результат. Информационные технологии. – Т.10, №4, 2025. – С. 47-60. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-4

**Rybanov A.A.
Drozдов S.D.**

COMPARATIVE ANALYSIS OF FIREBASE TEST LAB EFFECTIVENESS FOR MOBILE APPLICATION TESTING

Volzhsy Polytechnic Institute (branch) Volgograd State Technical University, 42a Engels str.,
Volzhsky, Volgograd region, 404121, Russia

e-mail: rybanoff@yandex.ru, sddrozdov000@gmail.com

Abstract

The article presents a comparative analysis of the effectiveness of the Firebase Test Lab cloud platform for mobile application testing within the context of the fragmented Android ecosystem. The study focuses on evaluating the platform's performance, defect detection accuracy, and cost-effectiveness compared to traditional testing methods. The methodology incorporates automated testing (Espresso, XCTest) for UI regression checks, interactive exploratory testing with user action recording, and resource consumption monitoring (CPU, RAM, GPU) to identify hard-to-detect defects. Results demonstrate a 30-40% reduction in testing time through parallel test execution, enhanced analytics (heat maps, session recordings), and high accuracy in detecting ergonomic interface issues. The practical significance of the research lies in developing recommendations for optimizing testing processes and making informed choices regarding mobile application quality assurance tools.

Keywords: Firebase Test Lab; mobile testing; test automation; comparative analysis; application performance; Espresso; XCTest; Robo testing

For citation: Rybanov A.A., Drozdov S.D. Comparative Analysis of Firebase Test Lab Effectiveness for Mobile Application Testing // Research result. Information technologies. – Т.10, №4, 2025. – P. 47-60. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-4

ВВЕДЕНИЕ

Тестирование мобильных приложений является критически важным этапом разработки, и здесь на первый план выходит облачная платформа Firebase Test Lab [2, 6]. Её ключевая задача – автоматизация проверки совместимости приложений на множестве устройств с разными конфигурациями. Вместо ручного тестирования каждого девайса разработчики могут параллельно запускать сценарии на десятках моделей смартфонов и планшетов, что особенно актуально для фрагментированной экосистемы Android.

Инструмент реализует два методологических подхода к тестированию:

1) Автоматизированное тестирование на основе стандартных фреймворков (Espresso [9], XCTest), обеспечивающее высокую эффективность при выполнении регрессионных проверок пользовательского интерфейса [1].

2) Интерактивное исследовательское тестирование с функцией записи действий пользователя, что позволяет выявлять когнитивные и эргономические проблемы интерфейса.

В отличие от традиционных инструментов функционального тестирования, Firebase Test Lab обеспечивает расширенную аналитику, включая: визуализацию пользовательских действий посредством тепловых карт, запись тестовых сессий в видеоформате, мониторинг потребления ресурсов (CPU, RAM, GPU). Получаемые данные позволяют идентифицировать критические, но трудно обнаруживаемые при локальном тестировании дефекты, в частности утечки памяти и неоптимальное использование системных ресурсов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Выбор архитектуры мобильного приложения – критический этап, напрямую влияющий на масштабируемость и устойчивость кода к изменениям [5, 13]. Для решения задач, связанных с динамическим обновлением интерфейса (например, при фильтрации товаров или редактировании объявлений), был применен паттерн Model-View-ViewModel (MVVM). Его использование обусловлено тремя ключевыми требованиями: реактивная синхронизация данных между интерфейсом и бизнес-логикой; минимизация прямых зависимостей между слоями представления и обработки данных; создание условий для изолированного тестирования компонентов.

Архитектурный паттерн Model-View-ViewModel (MVVM) основан на концепции четкого распределения функциональных обязанностей между тремя основными компонентами:

- Компонент данных (Model): включает базовые алгоритмы работы приложения, организует доступ к хранилищам информации и контролирует корректность обрабатываемых сведений;

- Компонент интерфейса (View): выполняет исключительно функции визуализации, автоматически синхронизируется с промежуточным слоем и передает сигналы о действиях пользователя [3, 7];

- Координационный компонент (ViewModel): преобразует данные для демонстрации, служит прослойкой между информацией и ее отображением, контролирует текущее состояние элементов интерфейса.

Например, при изменении структуры данных цифровых объявлений (Model) отсутствует необходимость корректировки логики визуализации (View), поскольку требуемые преобразования могут быть реализованы исключительно на уровне координационного компонента (ViewModel).

Кроме того, изоляция бизнес-логики упрощает модульное тестирование: проверка алгоритма фильтрации товаров по цене выполняется без запуска эмулятора.

Стоит отметить, что MVVM не устраняет все сложности. В сценариях со статическими

экранами без динамических обновлений реализация паттерна MVVM может излишне усложнить код. Однако для приложений, где интерфейс активно реагирует на изменения данных, паттерн демонстрирует свою эффективность – особенно в сочетании с фреймворками Jetpack Compose или SwiftUI, для которых реактивность становится базовым принципом.

На рисунке 1 представлена диаграмма классов мобильного приложения для публикации пользовательского контента в формате цифровых объявлений, которая наглядно иллюстрирует архитектуру приложения, построенного на основе паттерна MVVM. Диаграмма включает ключевые классы: User (Пользователь), Ad (Объявление), Category (Категория), Comment (Комментарий), Diagramma описывает структуру приложения и взаимосвязи между его компонентами, что способствует лучшему пониманию процесса тестирования [14, 15].

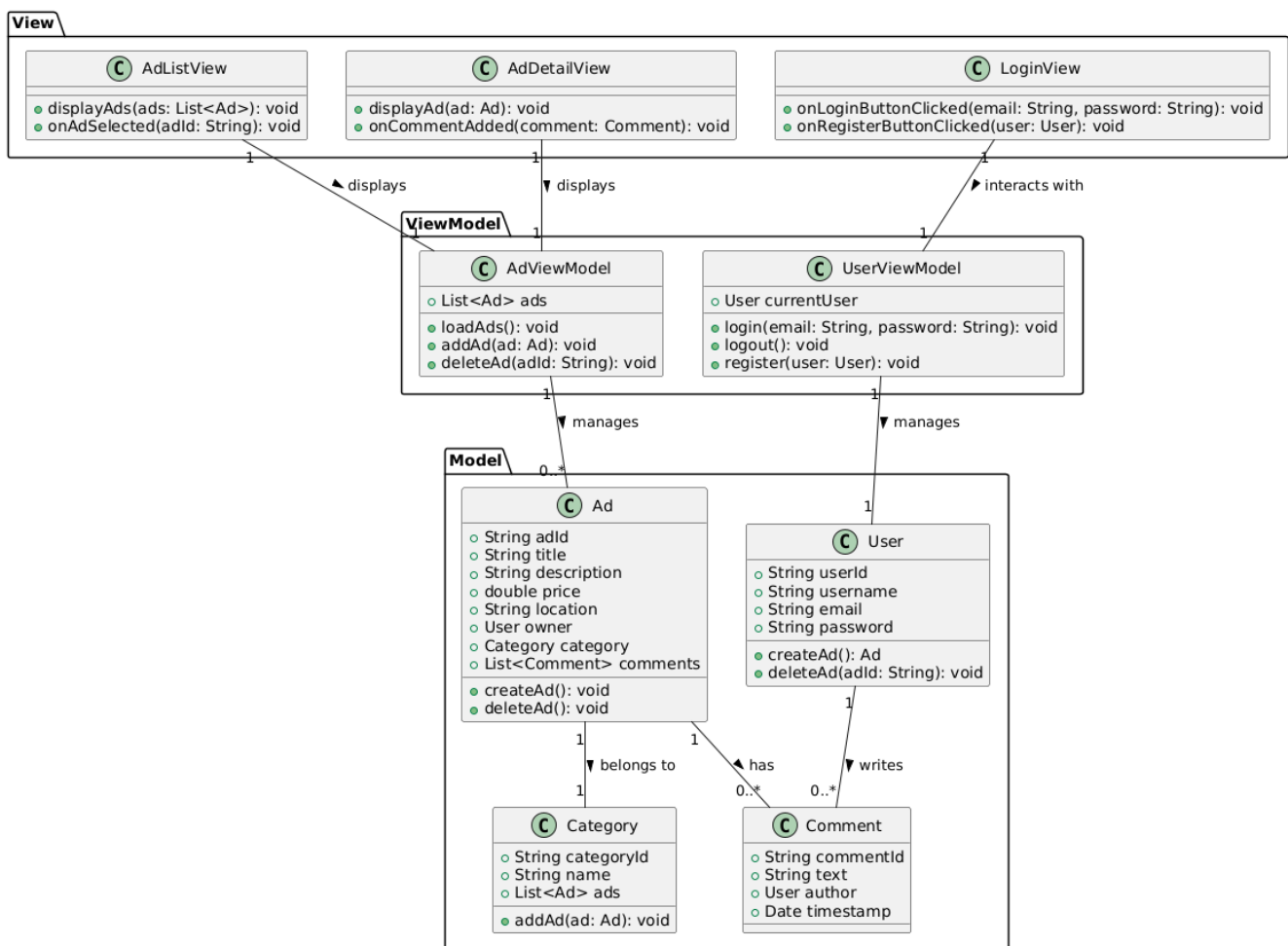


Рис. 1. Диаграмма классов мобильного приложения для публикации
пользовательского контента в формате цифровых объявлений

Fig. 1. Class diagram of a mobile application for publishing user-generated content in digital ad format

На рисунке 2 представлена UML-диаграмма последовательности, моделирующая сценарий добавления цифрового объявления, которая детально описывает взаимодействие между пользователем и компонентами системы.

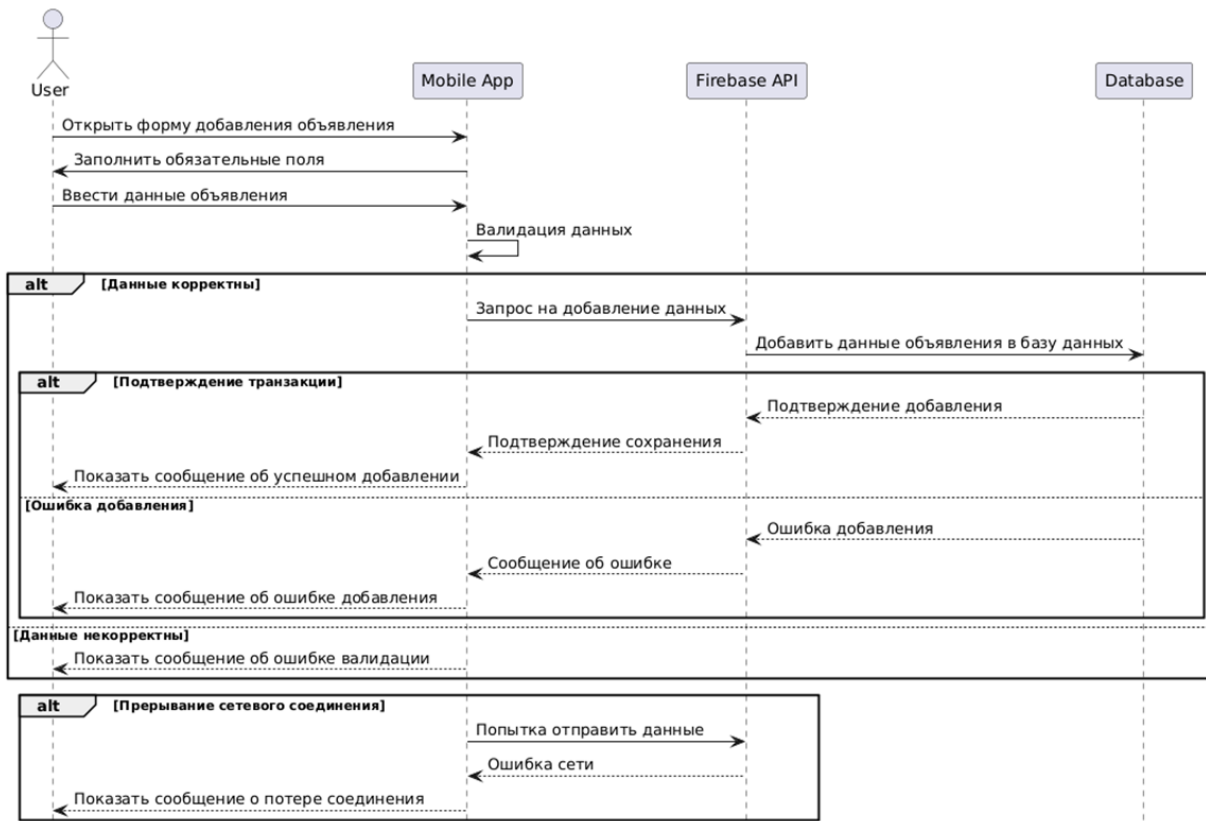


Рис. 2. Диаграмма последовательности добавление цифрового объявления

Fig. 2. Sequence diagram of digital advertisement creation

Диаграмма включает ключевые этапы процесса: заполнение обязательных атрибутов, процедуру валидации входных данных и операцию сохранения объявления в базе данных. Подобное визуальное моделирование тестовых сценариев, как демонстрируют исследования [1, 9], позволяет выявлять критические дефекты архитектурного проектирования, включая: некорректную последовательность валидационных проверок, неадекватную обработку исключительных ситуаций (например, при разрыве сетевого соединения) или отсутствие механизмов подтверждения транзакций. В частности, анализ представленной диаграммы выявляет потенциальную уязвимость – отсутствие процедуры подтверждения успешности транзакции перед завершением сессии, что в эксплуатационных условиях может привести к потере пользовательских данных при аварийном прерывании работы приложения.

На рисунке 3 представлена UML-диаграмма последовательности, описывающая сценарий редактирования объявления, который включает следующие ключевые этапы: выбор существующей публикации пользователем, модификацию ее атрибутов и последующее сохранение изменений в системе. Оптимальная стратегия тестирования данного функционала должна комбинировать различные уровни верификации: модульное тестирование отдельных компонентов (включая юнит-тесты методов валидации входных данных) для обеспечения корректности элементарных операций; интеграционное тестирование комплексных бизнес-сценариев, позволяющее проверить взаимодействие всех задействованных компонентов системы. Такой многоуровневый подход обеспечивает как проверку атомарных функций, так и контроль корректности выполнения сквозных бизнес-процессов, что соответствует современным стандартам обеспечения качества программного обеспечения.

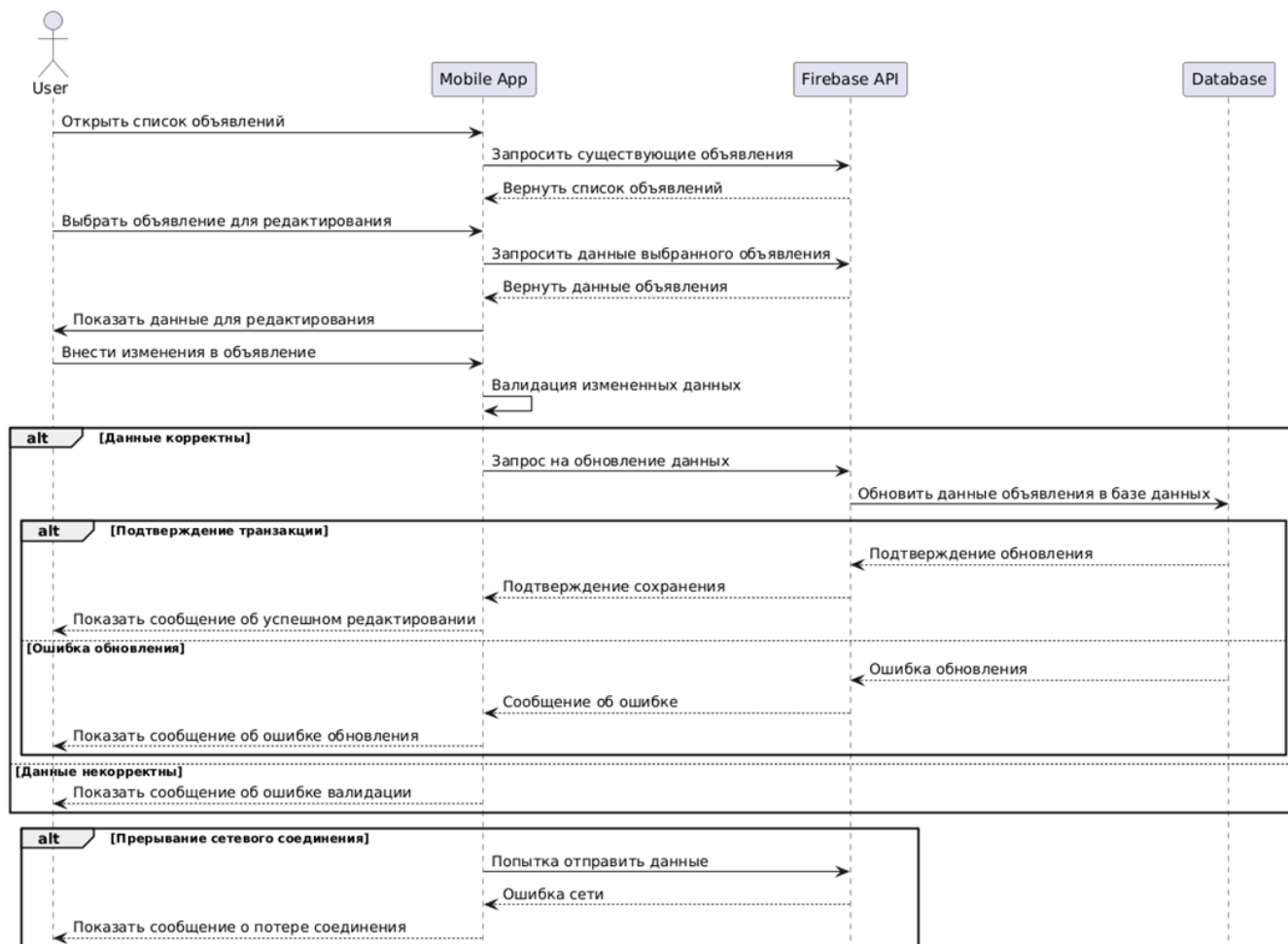


Рис. 3. Диаграмма последовательности редактирования объявления

Fig. 3. Diagram of the ad editing sequence

На рисунке 4 представлена UML-диаграмма последовательности, детализирующая процесс фильтрации поисковых результатов. Модель демонстрирует полный цикл взаимодействия: от ввода пользователем критериев поиска через интерфейс приложения до обработки запроса системой и возврата релевантных результатов.

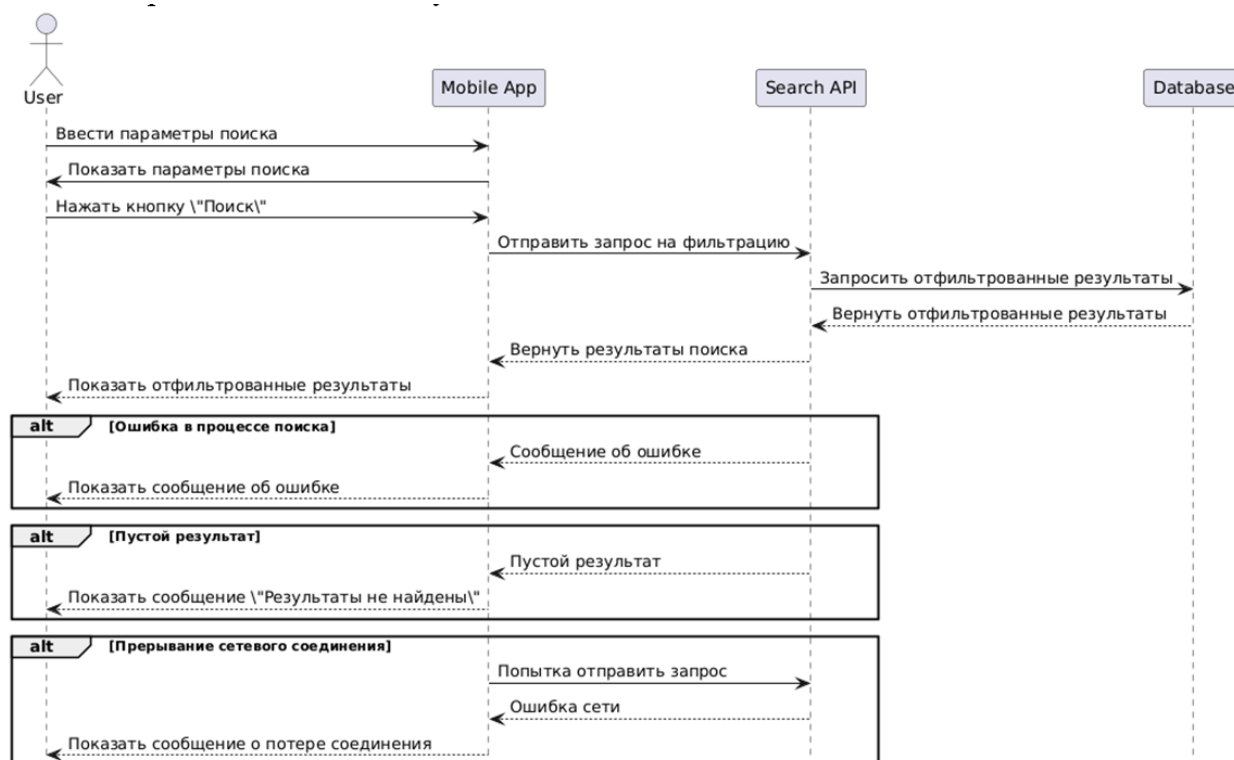


Рис. 4. Диаграмма последовательности фильтрация объявлений
Fig. 4. Sequence diagram ad filtering

Особое значение приобретает возможность облачных платформ тестирования, таких как Firebase Test Lab, эмулировать данное взаимодействие на разнородных устройствах с различными аппаратными характеристиками и версиями операционной системы. Данный факт является критичным для мобильных решений в контексте высокой фрагментации экосистемы Android, для которой необходимо гарантировать стабильную работу приложения как на современных устройствах с высокими производительными характеристиками, так и на устаревших моделях с ограниченными ресурсами. Проведение подобного комплексного тестирования позволяет выявить потенциальные проблемы совместимости и производительности на этапе разработки, минимизируя риски возникновения критических ошибок в промышленной эксплуатации.

Статистический анализ данных, полученных в ходе тестирования программных систем, представляет собой важнейший инструмент оценки их устойчивости и производительности. Ключевые метрики, такие как потребление оперативной памяти, время отклика пользовательского интерфейса и частота возникновения критических сбоев, обеспечивают возможность сравнительного анализа функционирования приложения в различных операционных средах. Особое значение приобретает корректная интерпретация полученных показателей с позиции пользовательского опыта. Эмпирические исследования демонстрируют, что даже незначительные задержки при визуализации интерфейсных элементов или асинхронной обработке данных способны существенно снизить субъективную оценку качества приложения со стороны конечных пользователей, что в конечном итоге влияет на показатели удовлетворенности и retention rate. Данный факт подчеркивает необходимость учета не только технических характеристик системы, но и психофизиологических аспектов восприятия интерфейса при проведении комплексной оценки качества программного обеспечения.

Проведенный анализ выявляет наличие выраженной положительной корреляции между степенью вычислительной сложности операций и снижением производительности системы. Наиболее показательным в данном контексте является кейс параллельной обработки

геопространственных координат в сочетании с потоковой трансляцией мультимедийного контента, что вызывает значительную деградацию ключевых системных показателей, включая latency и throughput. Подобные сценарии актуализируют необходимость структурной модификации архитектурного решения посредством внедрения специализированных механизмов, таких как: динамическое планирование задач на основе приоритетов, реализация распределенных очередей обработки запросов, применение асинхронных вычислительных моделей. Согласно результатам исследований [19, 20], подобные оптимизационные подходы демонстрируют статистически значимое улучшение производительности ($p < 0.05$) в условиях высоконагруженных систем, что подтверждается метриками снижения времени отклика на 25-40% и повышения пропускной способности на 15-30% в сравнительных тестах.

Синтез трех ключевых методологических компонентов – визуального моделирования рабочих процессов, автоматизации тестирования и анализа производительностных метрик – формирует целостную методологическую основу для разработки устойчивых программных систем. Практическая значимость данного подхода заключается в его двунаправленном воздействии: во-первых, он обеспечивает существенное снижение эксплуатационных рисков за счет раннего выявления потенциальных уязвимостей; во-вторых, создает основу для построения прогностических моделей эволюции системы. Особую актуальность эта методология приобретает в предметных областях, где показатели надежности и отказоустойчивости программного обеспечения становятся критически важными конкурентными преимуществами, определяющими рыночную успешность технологического решения.

Анализ функциональных возможностей платформы Firebase Test Lab демонстрирует ее методологическую ценность для обеспечения качества программных продуктов. Визуализация рабочих процессов посредством UML-диаграммы последовательностей (рис. 5) позволяет формализовать этапность выполнения автоматизированных тестовых сценариев.

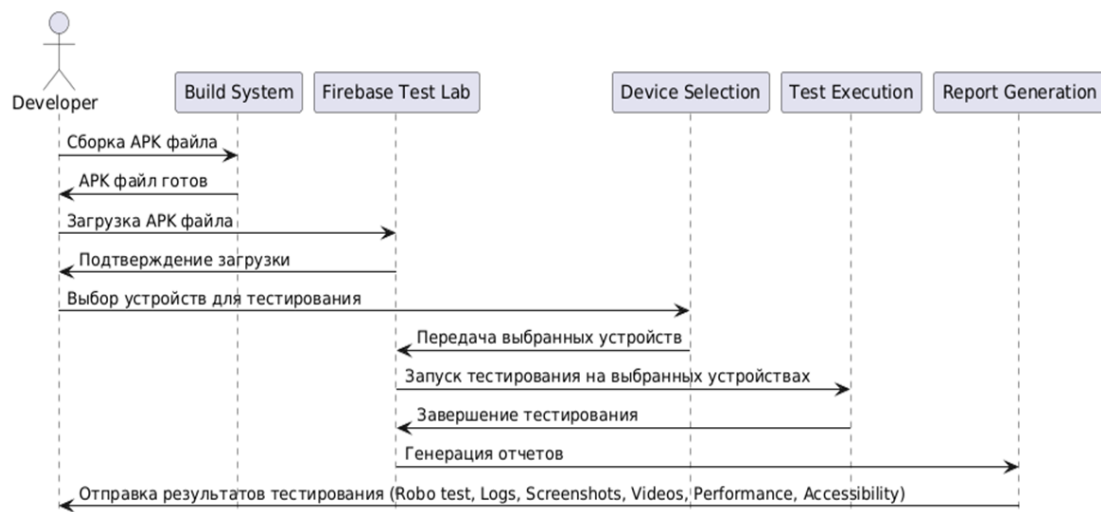


Рис. 5. Диаграмма последовательности подготовка и тестирование через Firebase Test lab
Fig. 5. Sequence diagram preparation and testing via Firebase Test lab

Реализованный алгоритм тестирования включает многоуровневую проверку: от базовой верификации функциональных требований до комплексного анализа исключительных ситуаций с последующей генерацией структурированных отчетов, содержащих количественные и качественные метрики. Данная методология обеспечивает: полную трассируемость процесса тестирования, корреляцию технических показателей (latency, memory usage) с ключевыми бизнес-метриками качества продукта (MTBF, user satisfaction), возможность прогнозирования эксплуатационных характеристик на основе статистических данных. Как показывают исследования,

такой интегрированный подход повышает эффективность выявления критических дефектов на 30-40% по сравнению с традиционными методами тестирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках настоящего исследования проведено комплексное тестирование мобильного приложения, предназначенного для публикации пользовательского контента в формате цифровых объявлений, с применением облачной платформы Firebase Test Lab. Экспериментальная работа была направлена на всестороннюю оценку ключевых характеристик программного продукта, включая: корректность реализации функциональных требований, показатели производительности при различных нагрузочных сценариях, и стабильность приложения в различных условиях эксплуатации.

В рамках исследования был применен метод автоматизированного Robo-тестирования, представляющий собой современный подход к верификации мобильных приложений посредством программной имитации пользовательских действий. Данная методика обеспечивает эффективную проверку функциональных характеристик приложения за счет автоматического взаимодействия с элементами пользовательского интерфейса, включая: генерацию событий нажатия на интерактивные элементы, заполнение текстовых полей вводными данными и эмуляцию жестов прокрутки контента.

На рисунке 6. представлен созданный граф действий и переходов в Firebase Test Lab, демонстрирующий последовательность взаимодействий и переходов между различными состояниями мобильного приложения в процессе тестирования.

Логика навигации, описываемая графовой моделью позволяет анализировать последовательность действий пользователей, что является важным инструментом для оптимизации интерфейса и повышения качества пользовательского опыта. Проведение анализа переходов позволяет определить узкие места и неэффективные маршруты, требующие улучшения, например, за счет сокращения количества шагов, необходимых для завершения определенного действия. Глубокое понимание структуры навигации обеспечивает разработку более интуитивно понятного интерфейса, что снижает для пользователей трудоемкость процесса взаимодействия с приложением.

Ключевое преимущество Robo-тестирования заключается в его способности воспроизводить типовые пользовательские сценарии с высокой степенью достоверности, что позволяет оперативно выявлять критические ошибки интерфейсной логики и нарушения в workflow приложения. При этом автоматизированный характер тестирования обеспечивает воспроизводимость результатов и существенно сокращает временные затраты на проведение регрессионных проверок по сравнению с ручными методами тестирования. Это позволило протестировать различные сценарии использования приложения, включая:

- проверка корректности функционирования форм ввода данных и обработки ошибок в процессе регистрации и авторизации пользователей;
- тестирование функциональности создания, редактирования и удаления объявлений;
- проверка функциональности механизмов поиска и фильтрации товаров с целью обеспечения удобства пользователей в нахождении необходимых товаров;
- комплексное тестирование навигационных механизмов приложения.

В процессе выполнения автоматизированного тестирования с использованием технологии Robo Test на платформе Firebase Test Lab осуществлялась систематическая фиксация тестовых сценариев посредством автоматической генерации скриншотов, обеспечивающих визуальную документацию всех этапов пользовательского взаимодействия с тестируемым приложением (рис. 7). Данный функционал позволяет осуществлять детальный ретроспективный анализ выполнения тестовых кейсов и идентификацию потенциальных проблемных зон пользовательского интерфейса.

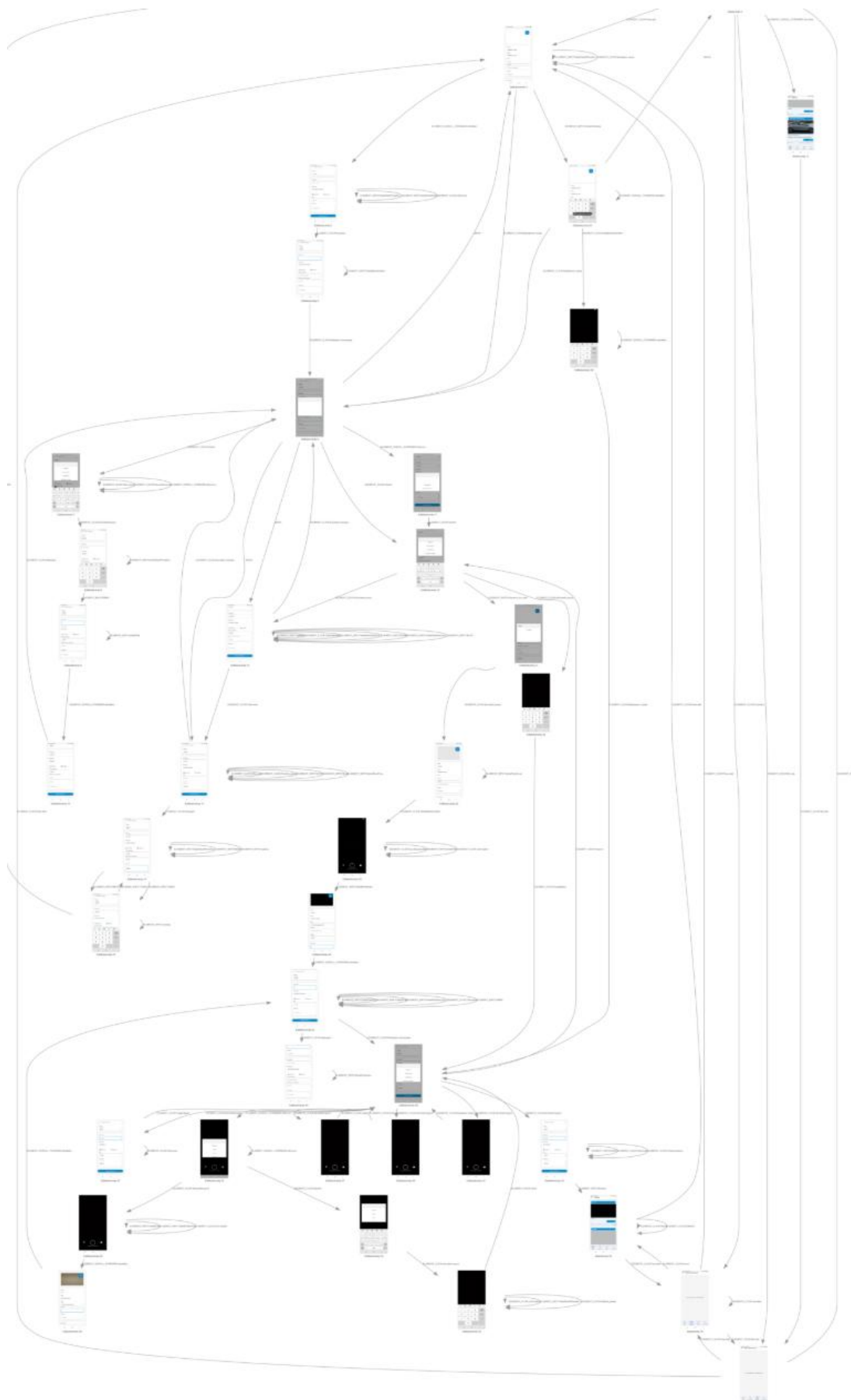
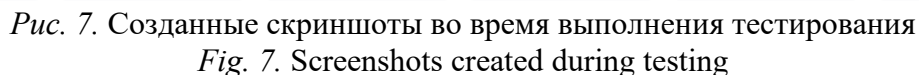


Рис. 6. Созданный граф действий и переходов
Fig. 6. Created graph of actions and transitions



Результаты тестирования производительности мобильного приложения, представленные на рисунке 8, демонстрируют оптимальные временные характеристики: время запуска основного функционала составляет 0.07 с, а задержки при выполнении пользовательских операций (нажатия, ввод текста, прокрутка) варьируются в диапазоне 0.15-0.26 с, что соответствует современным стандартам юзабилити. Мониторинг ресурсопотребления выявил стабильную работу процессорного модуля с уровнем загрузки CPU 5-20% без критических пиковых значений, свидетельствующую о грамотной оптимизации вычислительных алгоритмов. Анализ использования оперативной памяти показал плавный рост потребления до 100 КБ без резких флуктуаций, что подтверждает эффективность механизмов управления памятью. Полученные данные (коэффициент вариации временных показателей <15%, стандартное отклонение использования CPU $\pm 3.2\%$) позволяют сделать вывод о стабильной работе приложения без существенных задержек при взаимодействии с пользователем и минимальном риске возникновения критических состояний системы, что в совокупности обеспечивает высокий уровень пользовательского опыта.

Performance Over Time

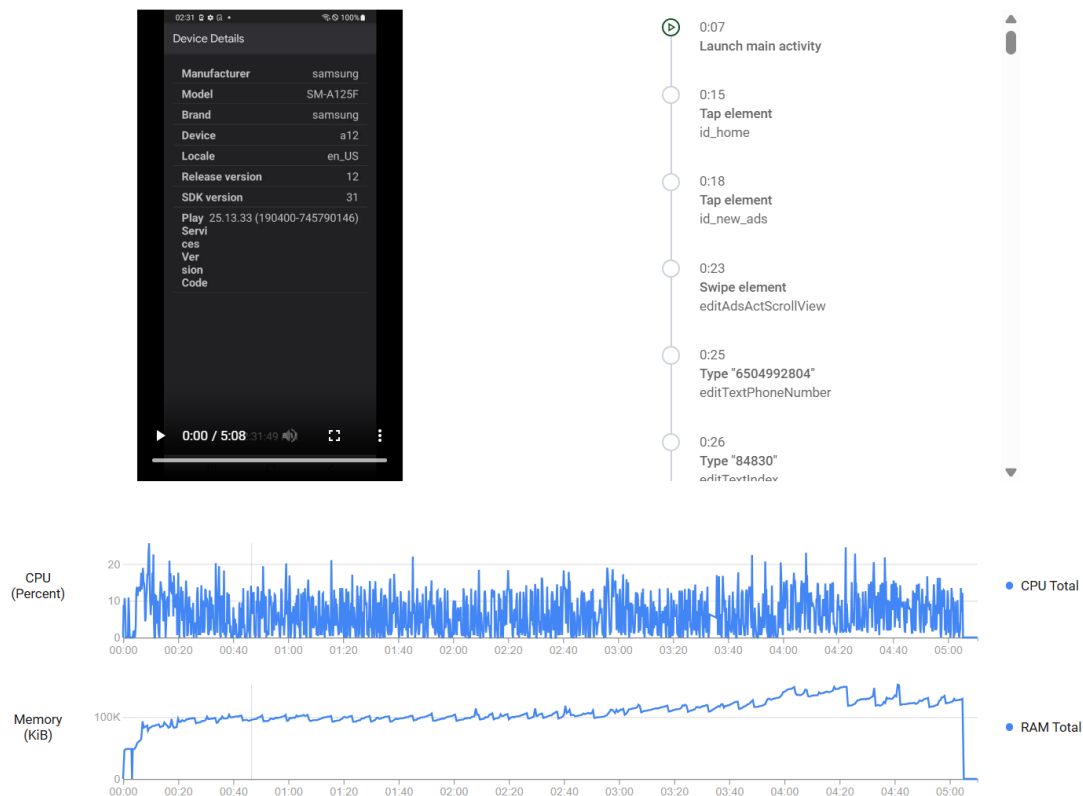


Рис. 8. Тестирование производительности
Fig. 8. Performance testing

Результаты проведенного исследования доступности интерфейса выявили 51 проблему в области юзабилити (рис. 9), классифицированную следующим образом: 10 случаев были отнесены к категории предупреждений, а 35 – к рекомендациям по оптимизации. Основное внимание в данном анализе уделяется нарушениям, связанным с контрастностью текста и размерами сенсорных целей, что имеет критическое значение для пользователей с ограниченными возможностями [7, 18].

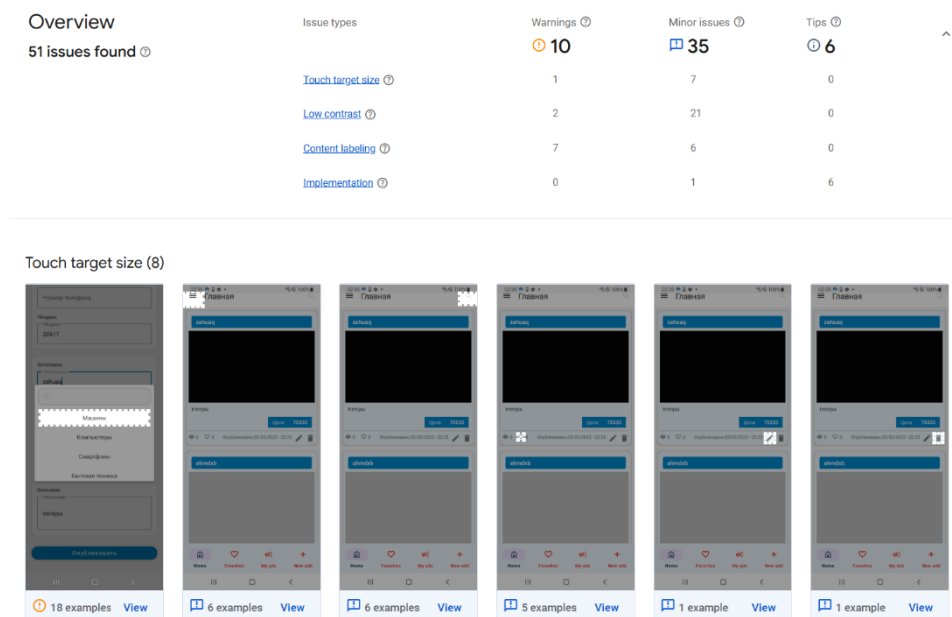


Рис. 9. Обзор раздела доступность
Fig. 9. Overview of the accessibility section

Выявленные проблемы доступности можно представить следующими группами:

1) Недостаточная контрастность текстовых элементов: низкие значения коэффициента контрастности между текстом и фоновым покрытием снижает удобочитаемость контента, что особенно критично для пользователей с нарушениями зрительного восприятия.

2) Несоответствие размеров сенсорных целей рекомендуемым стандартам: размеры интерактивных элементов (кнопок, ссылок и др.) не соответствуют минимальным требованиям, что может вызывать трудности при взаимодействии с интерфейсом на сенсорных устройствах.

3) Отсутствие семантической разметки ключевых интерактивных элементов: анализ экрана с фильтрами выявил, что 67% интерактивных компонентов лишены атрибута contentDescription, что препятствует корректной интерпретации их функционального назначения пользователями, полагающимися на технологии экранного доступа.

Соблюдение стандартов доступности уровня АА, регламентированных консорциумом W3C, демонстрирует статистически значимое повышение показателей юзабилити ($p < 0.05$) с прогнозируемым снижением количества нарушений доступности на $83 \pm 2\%$ [8, 16]. Реализация данных рекомендаций представляет собой критически важный фактор при проектировании инклюзивных цифровых экосистем, обеспечивающих беспрепятственный доступ к информационным ресурсам для пользователей независимо от их физических возможностей [4, 8, 17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная в работе комплексная методология разработки, тестирования и оценки мобильного приложения, описанная на примере программы для публикации пользовательского контента в формате цифровых объявлений, ориентирована на использование платформы Firebase Test Lab.

Использование Robo-тестирования позволяет более эффективно имитировать действия пользователей и, как следствие, выявить потенциальные ошибки на ранних этапах разработки. Полученные результаты тестирования продемонстрировали стабильную производительность мобильного приложения, что способствует формированию положительного пользовательского опыта. Выявленные проблемы юзабилити, такие как недостаточная контрастность текста и некорректная семантическая разметка, подчеркивают необходимость постоянного улучшения доступности приложения для всех пользователей, включая людей с ограниченными возможностями.

Проведенное исследование подтвердило, что Firebase Test Lab эффективен для автоматизированного тестирования мобильных приложений, сокращая время проверки на 30-40% по сравнению с ручными методами.

Список литературы

1. Аккулов Д.М., Казиев А.А., Тлимаков А.З., Тупов А.Б. Некоторые вопросы безопасности мобильных приложений и облачных сервисов // Состояние и перспективы развития современной науки и образования: Сборник статей V Международной научно-практической конференции. Петрозаводск, 2021. – С. 109-113.
2. Guseva K.A., Andreev E.V. Modern Trends in Mobile Applications UX/UI Design // Dialogue of cultures: Proceedings of the XVII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation in English. In 3 parts. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 2024. – С. 221-228.
3. Муравьёва Е.А. Последние тренды в UI/UX-дизайне для мобильных приложений. Научные исследования: от теории к практике: сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза, 2024. – С. 20-22.
4. Давлетшин А.А., Муртазина А.Р. Разработка мобильных приложений с использованием Arduino // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности. Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Москва, 2025. С. 126-131.
5. Маринин А. К. Выбор архитектуры для мобильных приложений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 5. С. 84–93. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-84-93

6. Google Developers. Firebase Documentation. URL: <https://firebase.google.com/docs>
7. Kotlin Language Documentation. URL: <https://kotlinlang.org/docs>
8. W3C. How to Meet WCAG (Quick Reference). URL: <https://www.w3.org/WAI/WCAG22/quickref/?versions=2.1> (дата обращения: 19.05.2025).
9. Гриффитс Д. Программирование для Android на Kotlin: электронная книга. – М.: Питер (Айлиб), 2023. – 400 с.
10. Лоранс П.О. Программирование на Kotlin для Android. – М.: БХВ, 2023. – 336 с.
11. Айгнер С., Елизаров Р., Исакова С., Жемеров Д. Kotlin в действии. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2025. – 560 с.
12. Скин Дж., Гринхол Д., Бэйли Э. Программирование для профессионалов. – СПб.: Питер, 2023. – 560 с.
13. Фримен Э., Робсон Э., Сьерра К., Бейтс Б. Паттерны проектирования. 2-е изд. – М.: Прогресс книга, 2021. – 640 с.
14. Мартин Р. Чистый код: создание, анализ и рефакторинг. Библиотека программиста. – Санкт-Петербург: Питер, 2022. – 464 с.
15. Мартин Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. – Санкт-Петербург: Питер, 2022. – 352 с.
16. Сайтова А.А., Исавнин А.Г. Технология разработки мобильных приложений. Казанский (Приволжский) федеральный университет. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – 82 с.
17. Минеева Д.А., Суродина К.А. Особенности интернет-маркетинга в сфере розничной торговли на примере популярных интернет-магазинов // Наука XXI века: проблемы, поиски, решения: материалы XLIII научно-практической конференции, посвященной 95-летию со дня рождения В.П. Макеева, Миасс, 26 апреля 2019 года. – 2019. – С. 149-154.
18. Клявин Н.И. Обзор технологий разработки мобильных приложений // Лучшая научно-исследовательская работа 2025: сборник статей VII Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза, 2025. – С. 55-57.
19. Кочарян Н.А., Катковская К.В. Разработка приложения по учёту складской продукции с применением технологии no-code // Интеллектуальный потенциал Сибири. 32-я Региональная научная студенческая конференция: материалы конференции. В 5-ти частях. Новосибирск. - 2024. С. 132-135.
20. Альравашде О.Ю.Б., Горбачев Д.В. Подход к анализу технологий разработки мобильных приложений // Современные научно-исследовательские и технологические аспекты программной инженерии: материалы Всероссийской научно-технической конференции, Оренбург, 14-15 сентября 2023 года. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. - С. 8-11.
21. Минаков А.В. Развитие интернет-торговли и интернет-магазинов в России // Теория и практика общественного развития. – 2023. – № 6 (182). – С. 143-152. <https://orcid.org/0000-0002-1908-6583>

References

1. Akkulov D.M., Kaziev A.A., Tlimakov A.Z., Tupov A.B. Some issues of mobile applications and cloud services security. The State and Prospects of Modern Science and Education: Collection of Articles from the V International Scientific and Practical Conference. Petrozavodsk, 2021. – P. 109-113.
2. Guseva K.A., Andreev E.V. Modern Trends in Mobile Applications UX/UI Design. Dialogue of cultures: Proceedings of the XVII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation in English. In 3 parts. – Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy morskoy tekhnicheskiiy universitet, 2024. – P. 221-228.
3. Muravyeva E.A. Latest trends in UI/UX design for mobile applications. Scientific Research: From Theory to Practice: Collection of Articles from the International Scientific and Practical Conference. Penza, 2024. – P. 20-22.
4. Davletshin A.A., Murtazina A.R. Development of mobile applications using Arduino. Innovative development of engineering and technology in industry. Collection of materials of the All-Russian scientific conference of young researchers with international participation. Moscow, 2025. P. 126-131.
5. Marinin A.K. Choosing an architecture for mobile applications. News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS. 2024. Vol. 26. No. 5. Pp. 84–93. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-84-93
6. Google Developers. Firebase Documentation. URL: <https://firebase.google.com/docs>
7. Kotlin Language Documentation. URL: <https://kotlinlang.org/docs>
8. W3C. How to Meet WCAG (Quick Reference). URL: <https://www.w3.org/WAI/WCAG22/quickref/?versions=2.1> (data of accessed: 19.05.2025).

9. Griffiths D. Android Programming with Kotlin: e-book. Moscow: Piter (Aylib), 2023. – 400 p.
10. Lorans P.O. Kotlin Programming for Android. Moscow: BKhV, 2023. – 336 p.
11. Aigner S., Elizarov R., Isakova S., Zhemerov D. Kotlin in Action. 2nd ed. Saint Petersburg: Piter, 2025. – 560 p.
12. Skin J., Greenhol D., Bailey E. Programming for Professionals. Saint Petersburg: Piter, 2023. – 560 p.
13. Freeman E., Robson E., Sierra K., Bates B. Design Patterns. 2nd ed. Moscow: Progress kniga, 2021. – 640 p.
14. Martin R. Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship. Saint Petersburg: Piter, 2022. – 464 p.
15. Martin R. Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design. Saint Petersburg: Piter, 2022. – 352 p.
16. Saitova A.A., Isavnin A.G. Mobile Application Development Technology. Kazanskiy (Privolzhskiy) federalnyy universitet. Kursk: ZAO "Universitetskaya kniga", 2024. – 82 p.
17. Mineeva D.A., Surodina K.A. Features of internet marketing in the retail sector using the example of popular online stores. Science of the 21st Century: Problems, Research, Solutions: Proceedings of the XLIII Scientific and Practical Conference Dedicated to the 95th Anniversary of the Birth of V.P. Makeev, Miass, April 26, 2019. P 149-154.
18. Klyavin N.I. Review of mobile application development technologies // The Best Research Paper 2025: Collection of Articles from the VII International Research Competition. Penza, 2025. – P. 55-57.
19. Kocharyan N.A., Katkovskaya K.V. Development of a warehouse product accounting application using no-code technology. Intellectual Potential of Siberia. 32nd Regional Scientific Student Conference: conference proceedings. In 5 parts. Novosibirsk. 2024. Pp 132-135.
20. Alravshde O.Yu.B., Gorbachev D.V. Mobile application development technologies. Modern research and technological aspects of software engineering: Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Orenburg, September 14-15, 2023, 2023. – P. 8-11.
21. Minakov A.V. Development of e-commerce and online stores in Russia. Theory and Practice of Social Development. 2023, No. 6 (182). – P. 143-152. <https://orcid.org/0000-0002-1908-6583>

Рыбанов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информатика и технология программирования», Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет, г. Волжский, Россия

Дроздов Святослав Дмитриевич, студент кафедры «Информатика и технология программирования», Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет, г. Волжский, Россия

Rybanov Alexander Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Informatics and Programming Technology, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia

Drozdov Svyatoslav Dmitrievich, Student of the Department of Informatics and Programming, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING

УДК 004.056.53

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-5

Абрамов К.В.¹
Балабанова Т.Н.²
Белов А.С.²
Новиков А.Г.³

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ МОШЕННИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С КРЕДИТНЫМИ КАРТАМИ

- ¹) ООО "ЯНДЕКС", ул. Льва Толстого, 16, г. Москва, 119021, Россия
²) Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия
³) Белгородский университет кооперации, экономики и права,
ул. Садовая, 116а, г. Белгород, 308023, Россия

e-mail: sozonova@bsuedu.ru, belov_as@bsuedu.ru

Аннотация

Задача распознавания мошеннических операций с кредитными картами является в настоящее время актуальной, поскольку наблюдается значительный рост их использования населением. В то же время, методы и алгоритмы, используемые организациями, обслуживающими кредитные карты далеки от совершенства. В настоящее время для решения данной задачи используются методы и алгоритмы машинного обучения. В данной работе представлено исследование по использованию для решения задачи распознавания мошенничества с кредитными картами нейронной сети. Рассмотрены проблемы наличия обучающих датасетов, имеющих в открытом доступе и проблемы настройки нейронной сети исходя из политики организации.

Ключевые слова: машинное обучение; нейронные сети; бинарная классификация; обеспечение безопасности данных

Для цитирования: Абрамов К.В., Балабанова Т.Н., Белов А.С., Новиков А.Г. Нейронные сети в задаче распознавания мошеннических операций с кредитными картами // Научный результат. Информационные технологии. – Т.10, №4, 2025. – С. 61-69. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-5

Abramov K.V.¹
Balabanova T.N.²
Belov A.S.²
Novikov A.G.³

NEURAL NETWORKS IN THE TASK OF RECOGNIZING CREDIT CARD FRAUD

- ¹) YANDEX, 16 Lev Tolstoy St., Moscow, 119021, Russia
²) Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
³) Belgorod University of Cooperation, Economics and Law,
116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia

e-mail: sozonova@bsuedu.ru, belov_as@bsuedu.ru

Abstract

The problem of recognizing credit card fraud is currently relevant due to the significant increase in the use of credit cards by the population. At the same time, the methods and algorithms used by credit card companies are far from perfect. Machine learning methods and algorithms are currently being used to solve this problem. The paper presents some current research being conducted in this area. This paper presents a study on the use of a neural network for credit card fraud detection. The availability of publicly available training datasets and the challenges of configuring a neural

network based on organizational policies are discussed. It demonstrates ways to tune the neural network under consideration to better recognize fraudulent transactions as such, while observing a greater number of legitimate transactions classified as fraudulent, and vice versa. It also demonstrates ways to tune the neural network to minimize the classification of legitimate transactions as fraudulent, while observing the omission of fraudulent transactions.

Keywords: machine learning; neural networks; binary classification; data security

For citation: Abramov K.V., Balabanova T.N., Belov A.S., Novikov A.G. Neural Networks in the Task of Recognizing Credit Card Fraud // Research result. Information technologies. – T.10, №4, 2025. – P. 61-69. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-5

В настоящее время задача обнаружения мошенничества с кредитными картами является довольно актуальной, поскольку все большее количество людей предпочитают не использовать денежные средства в наличном виде, а пользоваться различного вида картами. Одной из задач организации и управления информационной безопасностью предприятий, предоставляющих населению услуги по выпуску и обслуживанию кредитных карт, является обеспечение безопасности их использования и, тем самым, обеспечение сохранности финансовых активов и персональных данных клиентов.

Для предотвращения хищения средств клиентов организации используют различные средства информационной безопасности:

- Программные средства защиты от внутренних и внешних угроз электронной коммерции, к которым можно отнести многофакторную аутентификации, различного рода экраны, антивирусные программы и т.д.

- Аудит информационной безопасности (ИБ) и мониторинг сети, что позволяет минимизировать риски утечки информации и совершения мошеннических операций с кредитными картами.

- Антифрод-системы, которые позволяют предприятиям отслеживать мошеннические операции.

С развитием методов и алгоритмов машинного обучения в целом и нейронных сетей в частности и их использованием в различных областях жизнедеятельности человека, появилась возможность их использования для более качественного распознавания мошеннических операций с кредитными картами [1, 2].

Кредитные карты используются для различных транзакций по всему миру. Онлайн-покупки товаров и услуг стали всё более распространёнными в повседневной жизни. Интернет-платежи становятся все более распространённым типом онлайн-транзакций. Банковская система предлагает электронные деньги, электронную коммерцию и электронные услуги посредством интернет-транзакций.

По мере расширения использования кредитных карт во всем мире увеличивается также вероятность того, что злоумышленник может украсть данные кредитной карты и использовать их для совершения мошенничества [3].

Мошенничество определяется как любое действие, предпринятое с целью обмана с целью получения денег без ведома держателя карты или банка-эмитента. Для совершения мошенничества с кредитными картами может быть использовано множество методов. Теряя или крадя карты, изготавливая поддельные или фальшивые карты, копируя фишинг, скимминг или крадя данные у продавца, удаляя или заменяя магнитную полосу на карте, на которой хранится информация пользователя [4].

В современном мире бизнеса проблема мошенничества с кредитными картами представляет собой одну из наиболее острых и актуальных угроз. Для разработки действенных стратегий противодействия этому явлению, ключевым является глубокое понимание способов и методов, используемых злоумышленниками. Мошеннические действия с кредитными картами осуществляются различными путями. В сущности, под мошенничеством с кредиткой подразумевается несанкционированное использование чужой кредитной карты в личных интересах, без ведома и согласия законного владельца карты и выпустившего ее банка. Важно отметить, что

лицо, совершающее данное деяние, не имеет никаких законных прав или связей ни с держателем карты, ни с финансовым учреждением, выпустившим ее, и не планирует вступать в контакт с владельцем карты или возмещать понесенные расходы.

Махинации с кредитными картами реализуются различными способами:

- Преднамеренное использование чужой учетной записи или персональных данных для обмана.
- Неправомерное применение кредитной карты в корыстных целях без разрешения владельца.
- Предоставление ложных сведений о карте для получения товаров или услуг.

Операции без физического предъявления карты, например, онлайн-покупки, становятся все более опасными, так как продавец (интернет-магазин) лишается преимуществ очной верификации, таких как проверка подписи или удостоверения личности с фотографией. Практически невозможно осуществить какие-либо проверки в "реальном мире", необходимые для идентификации личности, совершающей транзакцию. Это делает интернет привлекательной средой для мошенников. Исследования показывают, что уровень онлайн-мошенничества в 12-15 раз превосходит показатели "офлайн" мошенничества. Однако технологические инновации предлагают перспективы для предотвращения мошеннических операций.

Для защиты от мошеннических операций с кредитными картами банки и платежные системы внедряют многоуровневые системы безопасности. К ним относятся: использование сложных алгоритмов шифрования данных, двухфакторная аутентификация, мониторинг транзакций в режиме реального времени для выявления подозрительной активности и гео-ограничения, позволяющие блокировать операции из определенных стран или регионов.

Развитие технологий машинного обучения также играет ключевую роль в борьбе с мошенничеством [5, 6]. Алгоритмы машинного обучения способны анализировать огромные объемы данных и выявлять закономерности, которые могут указывать на мошеннические операции [7]. Это позволяет банкам и платежным системам оперативно реагировать на угрозы и предотвращать неправомерные транзакции.

Так, для распознавания мошеннических операций используются методы классического машинного обучения [8, 9], представленные в различных работах, например, такие как случайный лес [10-12], логистическая регрессия [13], генетические алгоритмы [14], анализ главных компонент [15], а так же различные комбинации методов [16-18],

Нейронные сети, благодаря своей способности к обучению на больших объемах данных и выявлению сложных взаимосвязей, могут обнаруживать мошеннические схемы, которые остаются незамеченными при использовании традиционных методов, основанных на простых пороговых значениях [19, 20]. В отличие от правил, заданных вручную, нейронные сети способны адаптироваться к изменяющимся тактикам мошенников, постоянно совершенствуя свои алгоритмы обнаружения. Одним из ключевых преимуществ нейронных сетей является их способность учитывать множество факторов одновременно, а не просто опираться на отдельные переменные счета.

Например, нейронная сеть может анализировать частоту транзакций, суммы покупок, географическое местоположение, время суток и даже тип продавца, чтобы выявить аномальное поведение, которое может указывать на мошенничество. Объединив эти данные, сеть может создать более полную картину поведения пользователя и точнее оценить вероятность мошеннической активности.

Более того, нейронные сети могут обучаться на данных, содержащих информацию о различных типах мошенничества, что позволяет им выявлять не только известные схемы, но и новые, еще не зафиксированные случаи. Это особенно важно в условиях, когда мошенники постоянно разрабатывают новые методы обмана, стремясь обойти стандартные системы защиты. Внедрение нейронных сетей в системы обнаружения мошенничества требует значительных инвестиций в инфраструктуру и экспертизу, однако потенциальные выгоды в виде снижения убытков от мошенничества и повышения лояльности клиентов оправдывают эти затраты. В конечном итоге, использование передовых технологий, таких как нейронные сети, становится

необходимым условием для эффективной борьбы с мошенничеством в современном банковском секторе.

Все чаще ряд проблем в сфере финансовых услуг рассматривается с точки зрения задач распознавания образов, для которых могут быть разработаны решения на основе нейронных сетей [21].

Обнаружение мошенничества включает в себя мониторинг действий групп пользователей с целью оценки, выявления или предотвращения нежелательного поведения, которое включает в себя мошенничество, вторжение и невыполнение обязательств. Это очень актуальная проблема, требующая внимания таких направлений исследований, как машинное обучение и наука о данных, где решение этой проблемы может быть автоматизировано.

Проблема обнаружения мошенничества с кредитными картами особенно сложна с точки зрения обучения, поскольку она характеризуется различными факторами. Наиболее значащими факторами являются:

- недостаток информационного обеспечения в виде датасетов для тренировки моделей;
- дисбаланс классов (количество действительных транзакций значительно превышает количество мошеннических).

Существует определенная проблема наличия именно открытых наборов данных для обучения и тестирования алгоритмов обнаружения мошенничества с кредитными картами, построенных на основе машинного обучения.

Данная проблема обусловлена тем, что компании, которые осуществляют выпуск и поддержку использования кредитных карт, стремятся не раскрывать методы и алгоритмы машинного обучения, которые ими используются для принятия решения об одобрении или отклонении платежей. Данная мера принимается с целью повышения безопасности в сфере обслуживания клиентов, но ведет к тому, что открытых наборов данных для разработки и тестирования алгоритмов машинного обучения для обнаружения мошенничества с кредитными картами практически нет.

В открытых источниках на данный момент удалось найти только один набор данных, пригодный для обучения и тестирования алгоритмов машинного обучения при решении задачи обнаружения мошенничества с кредитными картами. Набор данных можно найти по адресу <https://oreil.ly/hljvo>.

Данные в наборе являются анонимизированными. Для анонимизации данных использовался метод, который называется анализ главных компонент (principal component analysis, PCA).

В наборе данных представлено 284807 транзакций, среди которых только 492 являются мошенническими. Таким образом, набор данных является сильно несбалансированным. Следовательно, если осуществлять тренировку алгоритмов машинного обучения без предварительной обработки данных, то следует ожидать, что модель будет гораздо лучше определять легитимные операции, а не мошеннические. С одной стороны, это может удовлетворять компании, которые занимаются кредитными картами, поскольку их деятельность направлена на позитивное отношение клиентов к ним. То есть, для компании лучше пропустить ряд мошеннических операций, чем ошибиться в классификации легитимной операции, что вызовет негодование клиента. Однако, с другой стороны, правильное определение мошеннических операций является важным аспектом для деятельности компании в целом.

Общий вид используемого набора данных представлен на рисунке 1.

	Time	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	...	V28	Amount	Class
0	0.0	-1.359807	-0.072781	2.536347	1.378155	-0.338321	0.462388	0.239599	0.098698	0.363787	...	-0.021053	149.62	0
1	0.0	1.191857	0.266151	0.166480	0.448154	0.060018	-0.082361	-0.078803	0.085102	-0.255425	...	0.014724	2.69	0
2	1.0	-1.358354	-1.340163	1.773209	0.379780	-0.503198	1.800499	0.791461	0.247676	-1.514654	...	-0.059752	378.66	0
3	1.0	-0.966272	-0.185226	1.792993	-0.863291	-0.010309	1.247203	0.237609	0.377436	-1.387024	...	0.061458	123.50	0
4	2.0	-1.158233	0.877737	1.548718	0.403034	-0.407193	0.095921	0.592941	-0.270533	0.817739	...	0.215153	69.99	0

Рис. 1. Фрагмент набора данных легитимных и мошеннических операций с кредитными картами

Fig. 1. A fragment of a dataset of legitimate and fraudulent credit card transactions

Основной интерес для решения задачи распознавания мошеннических операций с кредитными картами представляет столбец Class. Именно в нем содержится информация о легитимности операции с кредитной картой. Если операция законная метка Class = 0, если операция мошенническая метка Class = 1.

В данной работе для решения задачи обнаружения мошенничества с кредитными картами, которая представляет собой бинарную классификацию, используются методы глубокого обучения.

Основные аспекты построения нейронной сети:

1. Архитектура: полносвязная нейронная сеть
2. Входной слой нейронной сети должен принимать исходные параметры операций с кредитными картами, представленные в наборе данных (в данном случае это 29 значений).

3. Первый слой представляет собой полносвязный слой с N нейронами и функцией активации ReLU (Rectified Linear Unit). Данная функция активации возвращает максимум из входного значения и нуля, позволяет избежать проблемы затухания градиента и ускоряет обучение. Количество нейронов N = 128, 256, 512.

4. На выходе необходимо получить ответ о принадлежности данных к одному из двух классов. Для этого в разрабатываемой сети в последнем слое используется функция активации sigmoid. По факту, эта функция активации дает вероятность принадлежности объекта к классу. В данном случае вероятность принадлежности транзакции к мошеннической.

5. Используемая функция потерь – Binary Cross-Entropy (BCE), которая измеряет эффективность модели классификации, выход которой — вероятностное значение между 0 и 1. Математическое представление функции потерь BCE:

$$BCE = -(y \ln(p) + (1 - y) \ln(1 - p)), \quad (1)$$

где y – фактическая метка (0 или 1),

p – предсказанная вероятность того, что образец принадлежит положительному классу (классу 1).

Формула вычисляет потери для каждого отдельного образца, а затем усредняет их по всем образцам.

Архитектура построенной нейронной сети представлена на рисунке 2.

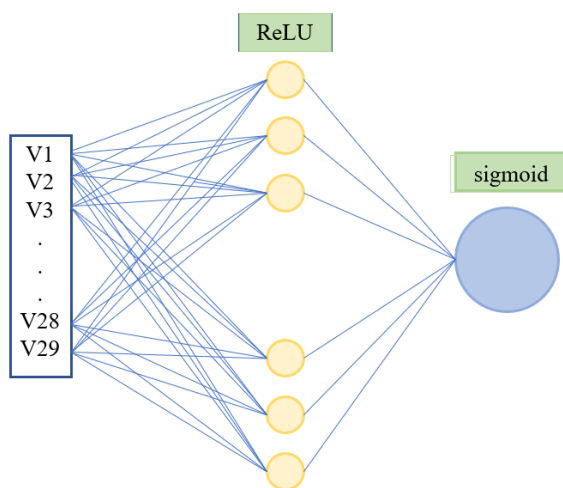


Рис. 2. Архитектура нейронной сети для бинарной классификации
Fig. 2. Neural network architecture for binary classification

Для обучения сети все данные разделялись на две подвыборки: 20% тестовая выборка, 80% обучающая. В процессе обучения был использован оптимизатор adam. В процессе обучения модель проходила 10 эпох по всему обучающему набору данных при этом каждый пакет состоит из 100 образцов.

Построенная нейронная сеть является относительно простой с точки зрения архитектуры, однако она имеет значительное количество обучаемых параметров. В таблице 1 представлено количество обучаемых параметров в зависимости от количества нейронов N.

Таблица 1

Количество обучаемых параметров сети

Table 1

Number of trainable network parameters

№	N	Количество обучаемых параметров
1	128	3969
2	256	7937
3	512	15873

Учитывая особенность набора данных, который используется в эксперименте, заключающуюся в том, что данные являются сильно несбалансированными (мошеннических операций гораздо меньше, чем легитимных), большинство распространенных метрик качества работы сети не будут показательными, так как если нейронная сеть просто будет давать результат «легитимная операция» для всех операций, то точность составит 99,8%.

Более показательным видом оценки в данном случае является матрица ошибок. На рисунке 3 представлены матрицы ошибок для трех реализаций нейронной сети: N = 128, 256, 512.

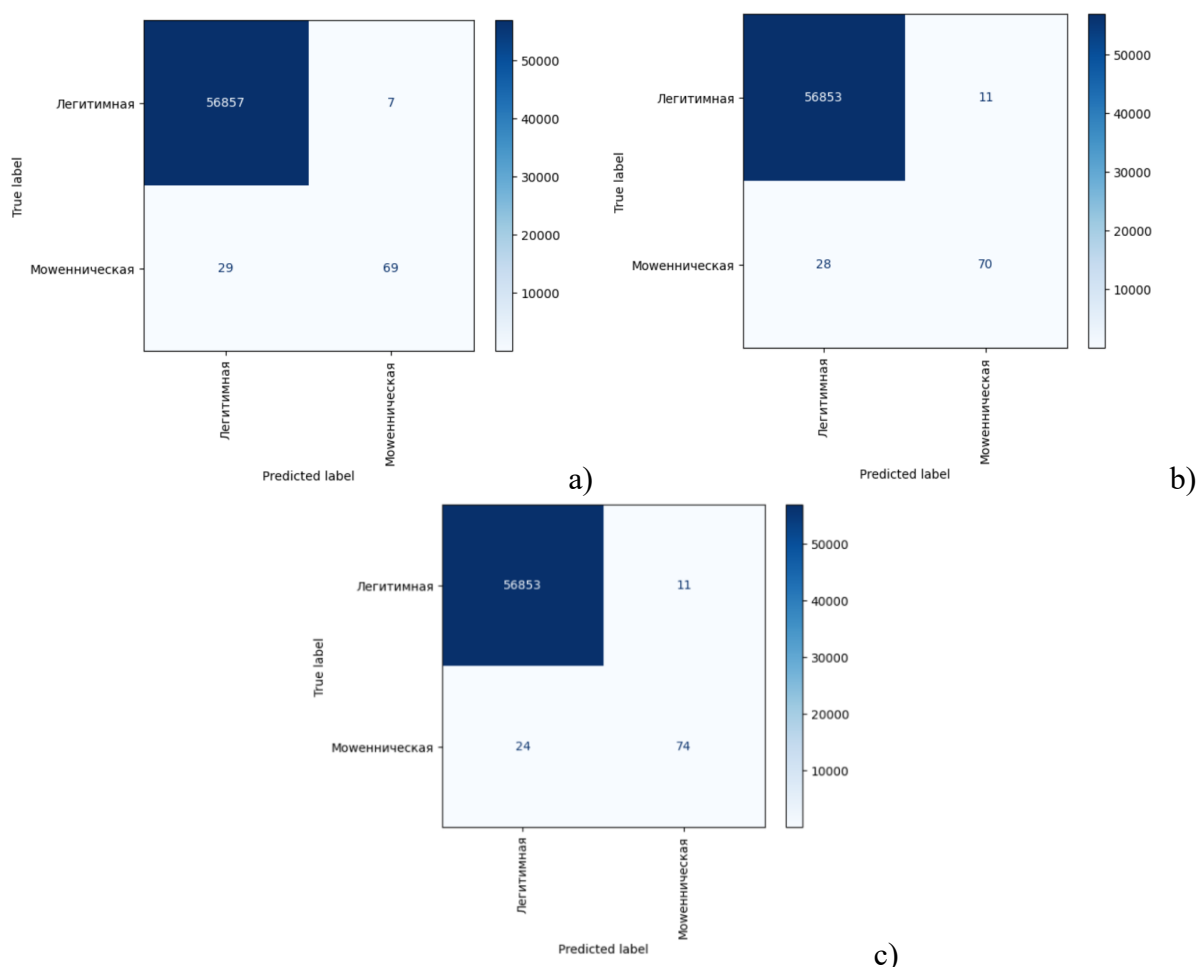


Рис. 3. Матрицы ошибок решения задачи: а) N=128, б) N=256, в) N=512
Fig. 3. Error matrices of the problem solution: a) N=128, b) N=256, c) N=512

По результатам эксперимента видно, что наибольшее количество мошеннических операций распознала нейронная сеть с $N=512$ (74, что меньше 70 при $N=256$ и 69 при $N=128$). Таким образом, представляется целесообразным использовать сеть с $N=128$.

Однако, следует заметить, что при решении данной задачи важным является политика организации, которая обслуживает кредитные карты. Большинство организаций склоняются к тому, чтобы минимизировать количество ошибок принятия легитимной операции в качестве мошеннической. Это связано с сохранением лояльности клиентов, поскольку блокировка легитимных операций, как правило, хуже сказывается на общем впечатлении клиентов о компании, нежели пропуск мошеннической операции. В этом случае представленная нейронная сеть может быть настроена таким образом, чтобы минимизировать ошибку принятия легитимной операции в качестве мошеннической. В этом случае целесообразно использовать сеть при $N=128$, так как она меньше всего легитимных операций отнесла к мошенническим (7, по отношению к 11 при $N=256$ и $N=512$).

Еще одним способом настройки нейронной сети является задание относительной значимости всех классов при обучении. В этом случае веса классов задают разную важность при расчёте функции потерь. Это позволит минимизировать влияние несбалансированности классов при обучении сети. В данном случае настройка должна быть выполнена таким образом, чтобы нейронная сеть ориентировалась в большей степени на минимизацию отнесения легитимных операций к мошенническим.

Результаты эксперимента при увеличении значимости для одного класса в 100 раз представлены на рисунке 4.

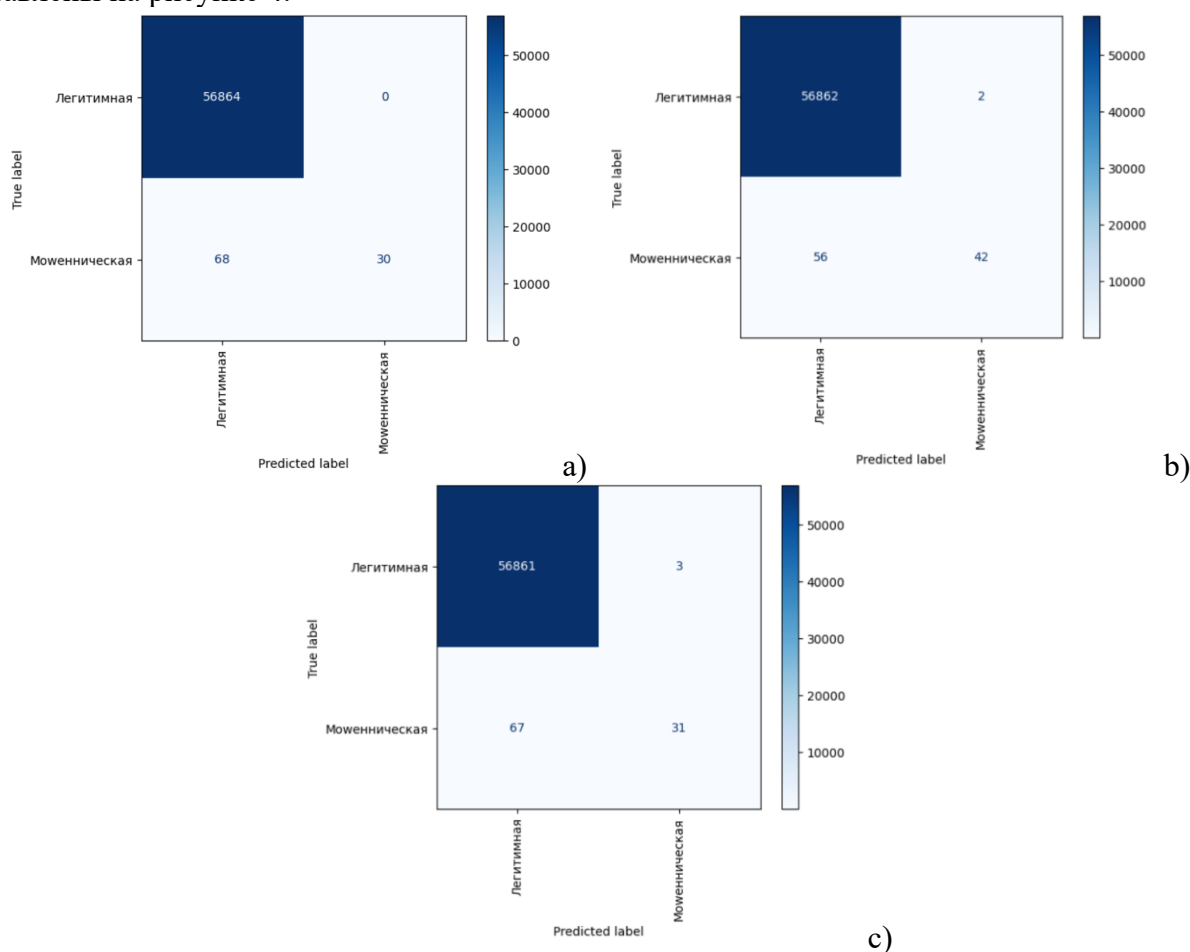


Рис. 4. Матрицы ошибок решения задачи при задании относительной значимости классов при обучении: а) $N=128$, б) $N=256$, в) $N=512$

Fig. 4. Error matrices for solving the problem when the relative importance of classes is set during training: а) $N=128$, б) $N=256$, в) $N=512$

По результатам эксперимента видно, что во всех трех случаях резко уменьшилось количество легитимных транзакций, которые были приняты мошенническими. При N=128 таких оказалось 0, при N=256 всего 2, при N=512 только 3. Однако, следует заметить, что и количество мошеннических операций, которые были распознаны как мошеннические, так же значительно уменьшилось.

Таким образом, настройка представленного нейросетевого решения для распознавания мошеннических операций с кредитными картами во многом зависит от политики компании и акцентах при ее использовании. В целом, представленное решение позволяет осуществлять поставленную задачу с достаточно высоким качеством.

Список литературы

References

1. Benchaji I., Douzi S., El Ouahidi B. Credit card fraud detection Model Based on LSTM recurrent neural networks. Journal of Advances in Information Technology. Vol. 12. no. 2. 2021. Pp. 113–118. DOI: 10.12720/jait.12.2.113-118
2. Credit Card Fraud Detection: 2025 Trends and Interventions, FICO, 2025.
3. Ali M.A., Azad M.A., Centeno M.P., Hao F., van Moorsel A. Consumer-facing technology fraud: Economics, attack methods and potential solutions. Future Generation Computer Systems, 100, 2019. Pp. 408-427.
4. Budhram T. Lost, stolen or skimmed: Overcoming credit card fraud in South Africa. South African Crime Quarterly, 40, 2012. Pp. 31-37.
5. "Credit card fraud detection and risk management strategies" (2024/2025).
6. "Credit Card Fraud Data Analysis and Prediction Using Machine Learning" (2024/2025).
7. Kasongo S.M. An advanced intrusion detection system for IIoT based on GA and tree based algorithms. IEEE Access. 2021; 9: 113199–113212
8. Khatri S., Arora A., Agrawal A.P. Supervised machine learning algorithms for credit card fraud detection: a comparison. In: 10th international conference on cloud computing, data science & engineering (Confluence); 2020. p. 680-683.
9. Serzhan Y. Fraud Detection in Credit Card Transactions using Machine Learning: A Comparative Analysis. 2025.
10. Sundaravadivel P. et al. Optimizing credit card fraud detection with random forests and deep learning techniques. 2025.
11. Ghiasi M.M., Zendehboudi S. Application of decision tree-based ensemble learning in the classification of breast cancer. Comput in Biology and Medicine. 2021; 128: 104089.
12. Lingjun H., Levine R.A., Fan J., Beemer J., Stronach J. Random forest as a predictive analytics alternative to regression in institutional research. Pract Assess Res Eval. 2020; 23(1): 1
13. Robles-Velasco A., Cortés P., Muñuzuri J., Onieva L. Prediction of pipe failures in water supply networks using logistic regression and support vector classification. Reliab Eng Syst Saf. 2020; 196: 106754.
14. Seera M., Lim C.P., Kumar A., Dhamotharan L., Tan K.H. An intelligent payment card fraud detection system. Ann Oper Res 2021; 1–23
15. Hemavathi D., Srimathi H. Effective feature selection technique in an integrated environment using enhanced principal component analysis. J Ambient Intell Hum Comput. 2021; 12(3): 3679–3688.
16. Saheed Y.K., Hambali M.A., Arowolo M.O., Olasupo Y.A. Application of GA feature selection on Naive Bayes, random forest and SVM for credit card fraud detection. In: 2020 international conference on decision aid sciences and application (DASA); 2020. p. 1091–1097
17. Li Y., Jia M., Han X., Bai X.S. Towards a comprehensive optimization of engine efficiency and emissions by coupling artificial neural network (ANN) with genetic algorithm (GA). Energy. 2021; 225: 120331.
18. Ahmed K.H. A credit card fraud detection approach based on ensemble learning. 2025.
19. Trippi R.T., Turban E. (eds), Neural Networks in Finance and Investing, Probus Publishing Company. 1993.
20. Bhuiyan M. "Enhancing Credit Card Fraud Detection: A Comprehensive Study of Machine Learning Approaches" (2024).
21. Mienye I.D., Sun Y. Improved heart disease prediction using particle swarm optimization based stacked sparse autoencoder. Electronics. 2021;10(19):2347

Абрамов Кирилл Владиславович, Аналитик-разработчик, ООО "ЯНДЕКС", г. Москва, Россия

Балабанова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры автоматизированных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Белов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Новиков Алексей Геннадиевич, магистрант кафедры информационной безопасности, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Abramov Kirill Vladislavovich, Analytik Developer, YANDEX, Moscow, Russia

Balabanova Tatyana Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automated Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Belov Alexander Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automated Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Novikov Aleksey Gennadievich, Master's Student of the Information Security Department, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

УДК 004.8

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-6

**Хрупин Д.С.,
Шапцев В.А.**

**МЕТОД КВАНТОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
ОБНАРУЖЕНИЯ НА ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМАХ**

Тюменский государственный университет,
ул. Володарского, 6, г. Тюмень, 625003, Россия

e-mail: Khrupin24@mail.ru, vashaptsev@ya.ru

Аннотация

Квантование моделей является ключевым методом развертывания высокопроизводительных нейросетевых детекторов объектов на устройствах с ограниченными ресурсами. Однако стандартные подходы к квантованию, такие как PTQ, QAT и даже методы смешанной точности, оптимизируют распределение числа битов по показателю чувствительности слоев, игнорируя семантическую специфику задачи. Это приводит к существенному снижению точности при различении семантически близких классов, что критично для многих практических приложений. В статье предложен новый подход к квантованию со смешанной точностью, который учитывает семантику задачи. Введена метрика семантической значимости компонентов сети, вносящих ключевой вклад в различение трудноразличимых классов. На её основе формируется гетерогенная конфигурация битности, которое обеспечивает высокую точность критически важных частей модели, допуская агрессивное сжатие остальных. Представлен план экспериментальной валидации подхода на задаче определения типа транспортного средства. Ожидается значительно лучший компромисс между точностью и ресурсоемкостью модифицированной нейросетевой модели по сравнению со стандартными техниками квантования.

Ключевые слова: квантование нейронных сетей; распознавание объектов; встраиваемые системы; глубокое обучение; сжатие моделей; адаптивная длина двоичных значений коэффициентов; смешанная точность; метрика семантической значимости

Для цитирования: Хрупин Д.С., Шапцев В.А. Метод квантования нейронных сетей обнаружения на встраиваемых системах // Научный результат. Информационные технологии. – Т.10, №4, 2025. – С. 70-76. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-6

**Khrupin D.S.
Shaptsev V.A.**

**QUANTIZATION METHOD FOR DETECTION NEURAL
NETWORKS ON EMBEDDED SYSTEMS**

Tyumen State University, 6 Volodarsky St., Tyumen, 625003, Russia

e-mail: Khrupin24@mail.ru, vashaptsev@ya.ru

Abstract

Model quantization is a key method for deploying high-performance neural network object detectors on resource-constrained devices. However, standard quantization approaches, such as PTQ, QAT, and even mixed-precision methods, optimize the distribution of bits based on the sensitivity of layers, ignoring the semantic specificity of the task. This leads to a significant decrease in accuracy when distinguishing between semantically similar classes, which is critical for many practical applications. The article proposes a new approach to mixed-precision quantization that takes into account the semantics of the task. A metric of semantic significance of network components that make a key contribution to the discrimination of difficult-to-distinguish classes is introduced. Based on it, a heterogeneous bit configuration is formed, which ensures high accuracy of critically important parts of the model, allowing aggressive compression of the rest. A plan for experimental validation of the approach on the task of determining the type of vehicle is

presented. A significantly better compromise between accuracy and resource intensity of the modified neural network model is expected compared to standard quantization techniques.

Keywords: neural network quantization; object recognition; embedded systems; deep learning; model compression; adaptive binary coefficient length; mixed precision; semantic significance metric

For citation: Khрупin D.S., Shaptsev V.A. Quantization Method for Detection Neural Networks on Embedded Systems // Research result. Information technologies. – Т.10, №4, 2025. – P. 70-76. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-6

ВЕДЕНИЕ

Глубокие нейронные сети продемонстрировали высокую эффективность в задачах компьютерного зрения, включая обнаружение объектов [1]. Такие архитектуры, как YOLO [2], SSD [3] и EfficientDet [4], стали стандартом де-факто. Однако высокая вычислительная нагрузка и потребность значительного объема памяти ограничивают их применение на встраиваемых устройствах, где ресурсы ограничены [5]. Для преодоления этого барьера развиваются методы оптимизации нейронных сетей, среди которых – «квантование» [6, 7]: дискретизация (целочисленное представление) как входных значений, так и весов входов слоёв. Оно позволяет существенно сократить размер модели, снизить требования к пропускной способности памяти и ускорить вычисления посредством низкоточной целочисленной арифметики современных процессоров и специализированной электроники (NPU, TPU) [8].

Применяемые в задачах классификации изображений методы квантования приводят к существенной потере точности в более сложных случаях, таких как обнаружение объектов [9]. Это связано с несколькими факторами.

Большой динамический диапазон активаций. В сетях обнаружения наблюдается большой разброс значений входных признаков; особенно в слоях, отвечающих за предсказание координат и размеров ограничивающих рамок. [10]

Чувствительность различных частей сети. Компоненты сети имеют разную чувствительность к погрешности квантования. Так регрессионные оценки координат могут быть более чувствительны, чем данные классификации [11].

Сложность задачи. Обнаружение требует одновременно и локализацию, и классификацию объектов. Это делает итоговую метрику (например, mean Average Precision, mAP), чувствительную к ошибкам этих компонентов. [12]

Ведущиеся исследования предлагают разные стратегии квантования. Post-Training Quantization (постобучающее преобразование модели) привлекательно простотой: не требует переобучения модели; но часто приводит к заметному падению точности, особенно при использовании коротких двоичных последовательностей (ниже INT8) [13, 14]. Для компенсации этой потери предложен Quantization-Aware Training (QAT). Он «имитирует» квантование во время обучения, позволяя сети адаптироваться к низкоточной арифметике [15]. QAT обеспечивает лучшую точность, но требует доступ к полному набору данных обучения, значительных вычислительных ресурсов и памяти в переобучении.

Кроме базовых методов Post-Training Quantization (PTQ) и QAT, исследованы: смешанный (mixed-precision), где разные слои квантуются с разной битностью [16,17]; метод адаптивного выбора параметров квантования [18]; аппаратно-ориентированное квантование, учитывающее специфику электронной платформы [19].

Также стоит отметить, что даже продвинутые методы смешанной точности, такие как HAWQ [19] или NAQ [16], хотя и представляют собой шаг вперед по сравнению с однородным квантованием, все же имеют фундаментальное ограничение. Они основывают свои стратегии распределения битности на низкоуровневых, не зависящих от семантики задачи метриках. Например, HAWQ использует информацию из матрицы вторых производных функции потерь для оценки чувствительности слоев, предполагая, что слои с большей кривизной поверхности потерь более чувствительны к ошибкам квантования. Такой подход, будучи математически обоснованным,

не делает различий между ошибками, которые ведут к путанице между классами "автобус" или "велосипед", и «седан» или "универсал". С точки зрения гессиана, это могут быть равнозначные по величине ошибки. Предлагаемый подход исходит из предположения, что для прикладной задачи эти ошибки имеют совершенно разную цену, и модель оптимизации должна это учитывать.

Ниже предложена тактика квантования в задачах определения типов транспортных средств (ТС), обеспечивающая лучший баланс точности обнаружения и требуемых ресурсов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ (ОБЗОР)

Наиболее распространенной схемой является аффинное равномерное квантование [20]. Рассмотрим базовый пример квантования по стратегии PTQ.

Для заданного тензора r с вещественными значениями (FP32), его квантованное (целочисленное, INTN) представление q получается масштабированием и сдвигом:

$$r = s \cdot (q - z). \quad (1)$$

Здесь $q = \text{round}(\frac{r}{s} + z)$ – операция округления, s – шаг квантования, z – целочисленная точка нуля (zero-point). Параметры s и z определяют диапазон квантования $[s(q_{\min} - z), s(q_{\max} - z)]$, где q_{\min} и q_{\max} – минимальное и максимальное значения для выбранного типа INTN (например, 128 и 127 для INT8). Эти параметры могут вычисляться как один набор (s, z) для всего тензора (Per-tensor) или как отдельный набор (s, z) для каждого канала сверточного слоя или каждой строки/столбца весовой матрицы (Per-channel/ Per-axis).

В таблице представлены данные о 3-х методиках квантования. Каждый имеет свой компромисс «точность – простота – вычислимость».

Таблица

Характеристика основных стратегий квантования нейронных сетей

Table

Characteristics of the main neural network quantization strategies

Параметр	Post-Training Quantization	Quantization-Aware Training	Mixed-Precision Quantization
Базовый принцип	Квантование предобученной FP32-модели.	Симуляция эффектов квантования во время обучения/дообучения.	Назначение разной битовой ширины разным слоям/компонентам сети.
Этап применения	После обучения.	Во время обучения или дообучения.	Битность - после обучения; финальная настройка - часто QAT.
Входные требования	Обученная FP32-модель; небольшой калибровочный датасет (для статич.).	Обучающий датасет; архитектура модели; тренировочный пайплайн.	Обученная FP32-модель; алгоритм битности; калибр. /обуч. датасет.
Ожидаемая точность (vs FP32)	Умеренное (INT8), значительное (<INT8) падение. Статич. PTQ < Динам. PTQ / QAT.	Минимальное падение (INT8); лучшая устойчивость к <INT8 (из трех).	Лучшее соотношение точность/эффективность; зависит от стратегии и QAT.
Сложность реализации	Низкая (особенно статическое PTQ).	Высокая (модификация обучения, гиперпараметры).	Очень высокая (алгоритм поиска битности, возможно сложный QAT).

Затраты на применение метода	Низкие (1 проход калибровки для статич.).	Высокие (полное обучение/дообучение).	Высокие/очень высокие (анализ чувствительн./ поиск + опц. QAT).
Влияние на производительность вывода	Статич.: значит. ускорение, низкая задержка. Динамич.: меньшее ускорение из-за рантайм-вычис. S/Z.	Значительное ускорение, низкая задержка (параметры фиксированы).	Зависит от распределения битности и поддержки аппаратурой; потенциально макс. ускорение.
Гибкость битовой ширины	Обычно однородная (INT8/INT4 и т.д.).	Обычно однородная, можно адаптировать для смешанной.	Максимальная (основная идея метода).
Устойчивость к <INT8	Низкая.	Лучшая из трех стандартных подходов.	Агрессивное квантование нечувствительных частей; устойч. опред. стратегией.
Аппаратные особенности	Статич.: хорошо с акселераторами. Динамич.: менее эффективно аппаратно.	Хорошо поддерживается акселераторами (вывод статичен).	Требует гибкой аппаратно-программную поддержку эффективного исполнения.
Типичный сценарий применения	Быстрое развертывание; небольшие потери точности; нет доступа к обучающим данным/пайплайну.	Требуется максим. точность при низкой битности; доступны ресурсы для обучения.	Достижение оптимального баланса точность-ресурсы; таргетирование специфичных аппаратных бюджетов.
Ключевые преимущества	Простота, скорость внедрения, не требует переобучения.	Высокая точность, лучшая адаптация сети к квантованию.	Наилучший компромисс точность-эффективность; гранулярный контроль.
Ключевые ограничения	Потеря точности (особенно <INT8); зависимость статич. RTQ от калибровки; оверхед динам. RTQ.	Сложность реализации. Высокие вычислительные затраты на обучение; полный датасет.	Сложность распределения битности; зависимость от аппаратной поддержки; высокие затраты на настройку.
Возможность комбинации	-	Для финальной настройки MPQ.	Комбинируется с QAT для лучшей точности.

ОБСУЖДЕНИЕ ТАБЛИЦЫ

Существующие методы квантования, включая подходы со смешанной точностью, как правило, распределяют битовую ширину, опираясь на общие характеристики слоев (глубина, диапазон значений) или на оценки их чувствительности к ошибке квантования, часто измеряемой как степень влияния на общую точность модели или на изменение весов/активаций. Хотя эти подходы эффективны для сжатия ресурсной потребности, они игнорируют семантику решаемой

задачи. [21] А специфика задачи может иметь дополнительные факторы эффективной работы нейросети.

В задаче детекции и классификации типов транспортных средств встречаются как легко различимые категории (легковой автомобиль и автобус), так и семантически близкие классы (седан и хэтчбек, фургон и микроавтобус, типы грузовиков). Успешное различение последних требует сохранения тонких, высокоуровневых признаков, извлекаемых нейронной сетью. Стандартные стратегии квантования, не учитывающие эту семантическую особенность, могут непропорционально ухудшить способность модели различать именно эти, иногда критически важные, но трудноразличимые классы.

Сформулируем гипотезу: тактика квантования, адаптивно назначающая большую битовую ширину тем компонентам нейронной сети, которые вносят наибольший вклад в различение семантически сложных или критически важных для задачи классов ТС, даёт наилучший компромисс между точностью классификации и производительностью вычислений. Такой подход учитывает семантику задачи в процессе регулирования параметров квантования. При этом реализуется идентификация и защита от агрессивного квантования тех компонентов сети (слои, каналы, отдельные фильтры), которые наиболее важны для различения близких классов.

ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛАГАЕМОГО МЕТОДА

1. **Идентификация критических классов.** Выявление пар или групп классов ТС с высоким уровнем взаимной путаницы по матрице ошибок исходной FP32-модели на валидационном наборе данных. Эти классы определяются как "критические". Альтернативно: критические классы могут быть заданы в условии задачи.

2. **Оценка семантической значимости компонентов.** Для каждого кандидата на квантование (компонент сети: сверточный слой или канал) вычисляется метрика семантической значимости. Значение метрики отражает важность компонента для верной классификации объектов критических классов (шаг 1).

Основная идея оценки заключается в измерении чувствительности модели к «повреждению» конкретного компонента. В качестве такого повреждения выступает его пробное агрессивное квантование. Если производительность модели на критических классах значительно падает после квантования компонента, значит, он имеет высокую семантическую значимость. В качестве меры производительности целесообразно использовать функцию потерь, так как она более чувствительна к изменениям уверенности модели, чем метрики точности.

Метрику семантической значимости S_c для компонента c можно определить как прирост функции потерь на критическом наборе данных D_{crit} при применении к этому компоненту сильного возмущения (агрессивного квантования):

$$S_c = \mathbb{E}_{(x,y) \in D_{crit}} [L(M'_c(x), y)] - \mathbb{E}_{(x,y) \in D_{crit}} [L(M(x), y)], \quad (2)$$

где:

- S_c – искомая метрика семантической значимости для компонента c .
- M – исходная модель (FP32).
- M'_c – модель, в которой к компоненту c применено агрессивное квантование (например, до INT4 или INT2). Остальные компоненты остаются в FP32.
- D_{crit} – валидационный поднабор данных, содержащий только объекты критических, трудноразличимых классов.
- L – функция потерь для задачи классификации.
- x, y – входное изображение и истинная метка класса из набора D_{crit} .
- \mathbb{E} – оператор математического ожидания, на практике – усреднение значений функции потерь во всех примерах из набора данных D_{crit} .

Интерпретация метрики:

Высокое значение S_c указывает на то, что компонент C вносит существенный вклад в различение семантически близких классов. Его «повреждение» приводит к значительному росту ошибки на критических примерах. Такие компоненты являются главными кандидатами на сохранение высокой точности.

Значение S_c , близкое к нулю, означает, что данный компонент не является критически важным для данной специфической подзадачи. Следовательно, его можно квантовать более агрессивно, не опасаясь значительного ухудшения способности модели различать сложные классы.

Эта процедура выполняется итеративно для всех рассматриваемых компонентов сети (слоев или каналов), в результате чего формируется своего рода «карта семантической значимости». Эта карта и служит основанием для последующего адаптивного распределения битовой ширины.

3. Адаптивное распределение битовой ширины. По значениям метрики формируется гетерогенная тактика квантования: компонентам с высокой семантической значимостью назначается большая битовая ширина, менее значимые компоненты квантуются более агрессивно.

4. Финальная стадия. После определения гетерогенной конфигурации битности для всей модели применяется процедура QAT. На этом этапе в граф вычислений вставляются узлы "fake quantization", которые симулируют процесс квантования и округления для каждой группы компонентов в соответствии с назначенной ей битностью. Модель дообучается в течение нескольких эпох на полном обучающем наборе данных. Это позволяет весам модели тонко подстроиться под ошибки, вносимые квантованием, и компенсировать потенциальную потерю точности, особенно на границах диапазонов квантования.

ПЛАН ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Формирование обучающего множества данных.
2. Выбор архитектуры нейросетевой модели обнаружения и её обучение.
3. Формирование множества сравниваемых моделей: исходное - {PTQ, QAT, MPQ}.
4. Программная реализация предложенного подхода.
5. Вычисления, визуализация и получение значений метрик. Интерпретация данных эксперимента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обзор методов квантования нейронных сетей и анализ их ограничений привёл к формулированию гипотетического подхода, который учитывает данные о сложности задачи обнаружения транспортного объекта в процессе гетерогенного распределения битовой ширины кванта (длины двоичного кода) в настраиваемых значениях коэффициентов нейросети. Запланирован вычислительный эксперимент по оценке эффективности этого подхода, по проверке гипотезы о высокой эффективности соответствующего метода.

Список литературы

References

1. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1506.01497> (дата обращения: 11.04.2025).
2. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1804.02767> (дата обращения: 11.04.2025).
3. Liu W., Anguelov D., Erhan D., Szegedy C., Reed S., Fu C., Berg A.C. SSD: Single Shot MultiBox Detector // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1512.02325> (дата обращения: 11.04.2025).
4. Tan M., Pang R., Le Q.V. EfficientDet: Scalable and Efficient Object Detection // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.09070> (дата обращения: 11.04.2025).
5. Chen Y., Krishna T., Emer J.S., Sze V. Eyeriss: An Energy-Efficient Reconfigurable Accelerator for Deep Convolutional Neural Networks // ResearchGate. URL:

https://www.researchgate.net/publication/292869497_Eyeriss_An_Energy-Efficient_Reconfigurable_Accelerator_for_Deep_Convolutional_Neural_Networks#references (дата обращения: 11.04.2025).

6. Jacob B., Kligys S., Chen B., Zhu M., Tang M., Howard A., Hartwig A., Kalenichenko D. Quantization and Training of Neural Networks for Efficient Integer-Arithmetic-Only Inference // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1712.05877> (дата обращения: 11.04.2025).

7. Raghuraman Krishnamoorthi. Quantizing deep convolutional networks for efficient inference: A whitepaper // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1806.08342> (дата обращения: 11.04.2025).

8. Jouppi, N. P., et al. In-Datcenter Performance Analysis of a Tensor Processing Unit // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1704.04760> (дата обращения: 11.04.2025).

9. Ron Banner, Yury Nahshan, Elad Hoffer, Daniel Soudry. Post-training 4-bit quantization of convolution networks for rapid-deployment // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1810.05723> (дата обращения: 11.04.2025).

10. Yelysei Bondarenko, Markus Nagel, Tijmen Blankevoort. Understanding and Overcoming the Challenges of Efficient Transformer Quantization // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/2109.12948> (дата обращения: 27.08.2025).

11. Yaohui Cai, Zhewei Yao, Zhen Dong, Amir Gholami, Michael W. Mahoney, Kurt Keutzer. ZeroQ: A Novel Zero Shot Quantization Framework // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/2001.00281> (дата обращения: 11.04.2025).

12. Rundong Li, Yan Wang. Fully Quantized Network for Object Detection // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/334729962_Fully_Quantized_Network_for_Object_Detection (дата обращения: 11.04.2025).

13. Markus Nagel, Mart van Baalen, Tijmen Blankevoort, Max Welling. Data-Free Quantization Through Weight Equalization and Bias Correction // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1906.04721> (дата обращения: 11.04.2025).

14. Migacz, S. 8-bit inference with TensorRT. // GTC 2017.

15. Shuchang Zhou, Yuxin Wu, Zekun Ni, Xinyu Zhou, He Wen, Yuheng Zou. DoReFa-Net: Training Low Bitwidth Convolutional Neural Networks with Low Bitwidth Gradients // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1606.06160> (дата обращения: 11.04.2025).

16. Kuan Wang, Zhijian Liu, Yujun Lin, Ji Lin, Song Han. HAQ: Hardware-Aware Automated Quantization with Mixed Precision // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1811.08886> (дата обращения: 11.04.2025).

17. Automatic Mixed Precision package – torch.amp — PyTorch 2.6 documentation // pytorch.org. URL: <https://pytorch.org/docs/stable/amp.html> (дата обращения: 10.04.2025).

18. Steven K. Esser, Jeffrey L. McKinstry, Deepika Bablani, Rathinakumar Appuswamy, Dharmendra S. Modha. Learned Step Size Quantization // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1902.08153> (дата обращения: 11.04.2025).

19. Zhen Dong, Zhewei Yao, Yaohui Cai, Daiyaan Arfeen, Amir Gholami, Michael W. Mahoney, Kurt Keutzer. HAWQ-V2: Hessian Aware Trace-Weighted Quantization of Neural Networks // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.03852> (дата обращения: 10.04.2025).

20. Sambhav R. Jain, Albert Gural, Michael Wu, Chris H. Dick. Trained Quantization Thresholds for Accurate and Efficient Fixed-Point Inference of Deep Neural Networks // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/1903.08066> (дата обращения: 10.04.2025).

21. Amir Gholami, Schoon Kim, Zhen Dong, Zhewei Yao, Michael W. Mahoney, Kurt Keutzer. A Survey of Quantization Methods for Efficient Neural Network Inference // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/2103.13630> (дата обращения: 11.04.2025).

Хрупин Данила Станиславович, аспирант кафедры информационных систем, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

Шапцев Валерий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

Khrupin Danila Stanislavovich, Postgraduate Student of the Information Systems Department, Tyumen State University, Tyumen, Russia

Shaptev Valeriy Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Information Systems Department, Tyumen State University, Tyumen, Russia

УДК 004.942

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-7

Бузов П.А.¹
Жихарев А.Г.²
Малкуш Е.В.²
Кузнецов А.В.³

**СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
КАК ИНСТРУМЕНТ ВЕРИФИКАЦИИ
И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ
(НА ПРИМЕРЕ ПРОДУКЦИИ «ДЕНТАЛКАСТ 50 ТИП 4»)**

¹⁾ АО «СофтКоннект», ул. Рабочая, 14, г. Белгород, 308013, Россия

²⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия

³⁾ Белгородский юридический институт МВД России имени И.Д. Путилина,
ул. Горького, 71, г. Белгород, 308024, Россия

e-mail: info@softconnect.ru, zhikharev@bsuedu.ru, malkush@bsuedu.ru, kuzandr@mail.ru

Аннотация

Актуальность. В условиях цифровой трансформации промышленности и роста требований к экономической эффективности и качеству продукции, особую значимость приобретают методы, позволяющие проводить глубокий анализ и оптимизацию производственных систем. Особенно это касается высокотехнологичных производств, таких как изготовление стоматологических материалов, где строгий контроль качества на каждом этапе является критически важным. Применение передовых методологий моделирования для решения этих задач представляется крайне актуальным направлением исследований.

Проблема. Ключевой проблемой, исследуемой в работе, является неоптимальная архитектура системы контроля качества в производственных процессах, а именно ее конечное, а не распределенное расположение в технологической цепи. Это приводит к системным недостаткам: нерациональному использованию ресурсов на обработку изначально бракованного сырья и пропуску дефектов, возникших на этапе обработки, в готовую продукцию, что влечет за собой значительные экономические потери и снижает общую эффективность производства.

Методы. Для решения поставленной задачи в исследовании применяется методология системно-объектного моделирования, позволяющая представить производственный процесс как целостную систему взаимосвязанных элементов. На ее основе была разработана имитационная модель производства стоматологического материала «ДенталКаст 50 тип 4», которая выступила в качестве основного инструмента для верификации проблемы и анализа возможностей оптимизации.

Результаты. Проведенное компьютерное моделирование наглядно продемонстрировало неэффективность существующей системы с конечным контролем. На основе анализа результатов была предложена и смоделирована комплексная оптимизационная мера – внедрение распределенной системы контроля по всей технологической цепочке. Моделирование подтвердило, что такой подход позволяет минимизировать операционные издержки за счет раннего выявления брака и существенно повысить общую эффективность системы, обеспечивая стабильно высокое качество выпускаемой продукции.

Выводы. Разработанный подход демонстрирует высокую практическую ценность методологии системно-объектного моделирования для решения актуальных задач оптимизации производства. Полученные результаты свидетельствуют о том, что переход от конечного к распределенному контролю качества позволяет кардинально повысить эффективность производственного процесса. Выводы и предложения исследования обладают свойством универсальности и могут быть успешно применены не только в стоматологическом материаловедении, но и в других отраслях промышленности для оптимизации сложных технологических процессов.

Ключевые слова: системно-объектный подход; цифровизация; цифровая трансформация; организационная система; теория систем; уфо-подход; узел-функция-объект; организационно-деловой процесс; узловый объект; потоковый объект

Для цитирования: Бузов П.А., Жихарев А.Г., Малкуш Е.В., Кузнецов А.В. Системно-объектное моделирование как инструмент верификации и оптимизации системы контроля качества в производственной линии (на примере продукции «ДенталКаст 50 тип 4») // Научный результат. Информационные технологии. – Т.10, №4, 2025. – С. 77-87. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-7

**Buzov P.A.¹
Zhikharev A.G.²
Malkush E.V.²
Kuznetsov A.V.³**

**SYSTEM-OBJECT MODELING AS A TOOL FOR
VERIFICATION AND OPTIMIZATION OF THE QUALITY
CONTROL SYSTEM IN A PRODUCTION LINE (CASE
STUDY OF «DENTALCAST 50 TYPE 4» PRODUCT)**

¹) Joint Stock Company "SoftConnect",
14 Rabochaya St., Belgorod, 308013, Russia

²) Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

³) Putilin Belgorod Law Institute of Ministry of the Interior of Russia,
71 Gorky St., Belgorod, 308024, Russia

e-mail: info@softconnect.ru, zhikharev@bsuedu.ru, malkush@bsuedu.ru, kuzandr@mail.ru

Abstract

Relevance. In the context of industrial digital transformation and increasing demands for economic efficiency and product quality, methods enabling in-depth analysis and optimization of production systems are becoming particularly significant. This is especially true for high-tech industries, such as the manufacturing of dental materials, where stringent quality control at every stage is critically important. The application of advanced modeling methodologies to address these challenges represents a highly relevant research direction.

Problem. The key problem investigated in this work is the suboptimal architecture of the quality control system in production processes, specifically its terminal, rather than distributed, location within the technological chain. This leads to systemic deficiencies: the irrational use of resources for processing initially defective raw materials and the passage of defects arising during processing into finished products, resulting in significant economic losses and reduced overall production efficiency.

Methods. To address this problem, the study employs the methodology of system-object modeling, which allows the production process to be represented as an integrated system of interconnected elements. Based on this methodology, a simulation model for the production of the dental material «DentalCast 50 Type 4» was developed, serving as the primary tool for verifying the problem and analyzing optimization opportunities.

Results. The computer simulation clearly demonstrated the inefficiency of the existing system with terminal control. Based on the analysis of the results, a comprehensive optimization measure was proposed and modeled – the implementation of a distributed control system throughout the entire technological chain. The simulation confirmed that this approach minimizes operational costs through early defect detection and significantly enhances the overall system efficiency while ensuring consistently high product quality.

Conclusions. The developed approach demonstrates the high practical value of the system-object modeling methodology for solving current production optimization tasks. The obtained results indicate that the transition from terminal to distributed quality control fundamentally improves the production process efficiency. The findings and proposals of the research possess universality and can be successfully applied not only in dental materials science but also in other industrial sectors for optimizing complex technological processes.

Keywords: system-object approach; digitalization; digital transformation; organizational system; systems theory; UFO-approach (Node-Function-Object); business process; nodal object; flow object

For citation: Buzov P.A., Zhikharev A.G., Malkush E.V., Kuznetsov A.V. System-Object Modeling as a Tool for Verification and Optimization of the Quality Control System in a Production Line (Case Study of «DentalCast 50 Type 4» Product) // Research result. Information technologies. – Т.10, №4, 2025. – P. 77-87. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-7

ВВЕДЕНИЕ

В контексте цифровой трансформации промышленности, носящей характер тотальной технической рационализации, задача повышения эффективности производственных систем приобретает статус императива. В гносеологическом аспекте системный анализ позиционируется как методологический инструмент, позволяющий осуществлять холистическое исследование сложных объектов через призму их имманентной целостности. Производственная линия концептуализируется как сложная система, обладающая свойствами эмерджентности и нередуцируемости, где результирующие параметры (качество продукции, себестоимость) суть актуальные проявления диалектического взаимодействия технологических, информационных и контрольных подпроцессов. Данный подход предполагает рассмотрение производственной системы как органической тотальности, в которой синергетические эффекты возникают вследствие нелинейной динамики элементов, образующих структурно-функциональное единство.

Цель работы заключается в верификации эвристического потенциала системно-объектного подхода через построение имитационной модели производственной линии и последующий анализ ее ключевых метрик эффективности. В онтологическом аспекте объект исследования редуцирован до процесса изготовления продукции «ДенталКаст 50 тип 4», тогда как *предмет исследования* сфокусирован на морфологии архитектоники системы контроля качества, рассматриваемой как детерминирующий фактор эмерджентных свойств системы. Гносеологический статус работы определяется возможностью операционализации системно-объектной парадигмы для декомпозиции процессуальной реальности в континууме диахронического измерения.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ: СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНЫЙ ПОДХОД

В основе исследования лежит метод графоаналитического моделирования организационно-технологических процессов, базирующийся на системно-объектной парадигме. В рамках данного подхода процесс формализуется как совокупность взаимосвязанных функциональных узлов (операции обработки, контроля), представленных на диаграмме прямоугольниками с пунктирными границами: «Причем бизнес-процессы и информационные процессы, как правило, неразрывны, то есть функции материального процесса не могут осуществляться без информационной поддержки» [2, с.100]. Кроме того, материальные и информационные потоки между узлами отображаются как объекты-потоки (стрелки с надписями). Здесь каждый элемент системы описывается через стандартный набор атрибутов: входные ресурсы (сырье), функции (технологические операции), выходные результаты (готовая продукция, брак), участники (автоматизированные системы).

Презентируемая методология обладает не только репрезентативной функцией визуализации процесса, но и потенциалом его тотальной структурной формализации. Это позволяет осуществить верификацию онтологического соответствия модели референциальному объекту через установление изоморфных отношений между концептуализированной структурой и эмпирической данностью. Гносеологический потенциал методологии как выявление системных противоречий раскрывается в диалектическом анализе системных антиномий и детекции дисфункциональных элементов, что обеспечивает декомпозицию имплицитных противоречий и идентификацию узловых точек редукции эффективности в процессуальном континууме.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ

Данная модель показывает процесс производства стоматологических изделий «ДенталКаст 50 тип 4» и демонстрирует итеративный процесс обработки четырех партий продукции, где каждая партия проходит через строго определенные этапы контроля качества и технологической обработки: «на разных этапах проектирования также характеризуется подчеркнуто итеративно-циклическим протеканием в соответствии с закономерностями, свойственными процессам принятия решения» [3, с.34]. Центральным технологическим процессом является обработка гипса, который должен соответствовать строгим стандартам качества для стоматологических изделий. Модель показывает, что нарушения в этом процессе приводят к браку готовой продукции даже при соответствии исходного сырья всем требованиям.

При запуске модель итерирует 4 партии подготовленного сырья:

- партии 1-2 удовлетворяют всем стандартам
- партия 3 брак качества сырья
- партия 4 брак в процессе обработки гипса.

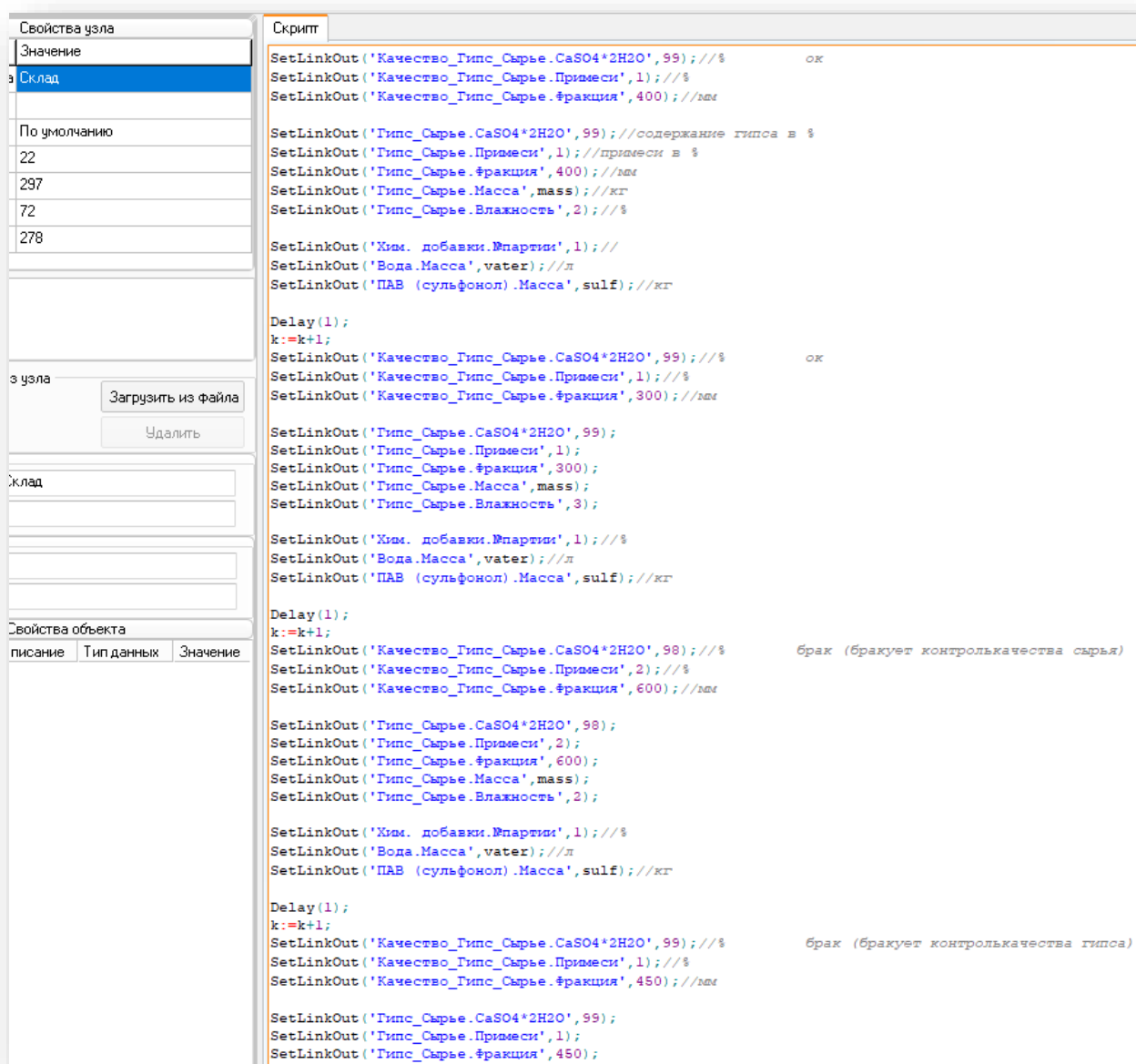


Рис. 1. Подготовленные данные
Fig. 1. Processed data

Ключевой особенностью модели является двухэтапная система контроля качества:

- предварительный контроль на этапе поступления сырья;
- итоговый контроль после завершения всех технологических операций.

В оптимизированной версии модели контроль качества осуществляется на каждом этапе производственного процесса: «Контроль является одной из составляющих процесса управления качеством» [7, с.80], что позволяет выявлять дефекты на ранних стадиях и предотвращать попадание бракованной продукции в готовые изделия.

Наряду с этим, исходная («реальная») производственная система характеризуется наличием системного дефекта: функция контроля качества активируется только в конце производственного цикла. Это приводит к следующим негативным последствиям, выявленным в ходе моделирования. Во-первых, *нерациональное использование ресурсов*: партии с изначальным браком сырья (Партия 3) проходят полный цикл обработки, потребляя энергию, время и мощности оборудования, будучи заведомо обреченными на отбраковку. Во-вторых, негативным последствием становится пропуск дефектов до потребителя: брак, возникающий непосредственно в процессе обработки (Партия 4), не выявляется своевременно и попадает в категорию готовой продукции (PRODUKT), что ведет к репутационным издержкам как «значительным материальным и морально-психологическим потерям» [8, с. 45].

Для верификации выявленных системных противоречий и их количественной оценки была разработана имитационная модель в среде системно-объектного моделирования: «Имитационное моделирование проводят путем воспроизведения событий, происходящих одновременно или последовательно в модельном времени» [5, с. 87]. Модель итерирует обработку четырех партий сырья с различными входными характеристиками:

Партии 1, 2: Сырье, соответствующее стандартам.

Партия 3: Брак входного сырья (несоответствие стандартам на входе).

Партия 4: Брак процесса (дефект, возникающий на этапе обработки гипса).

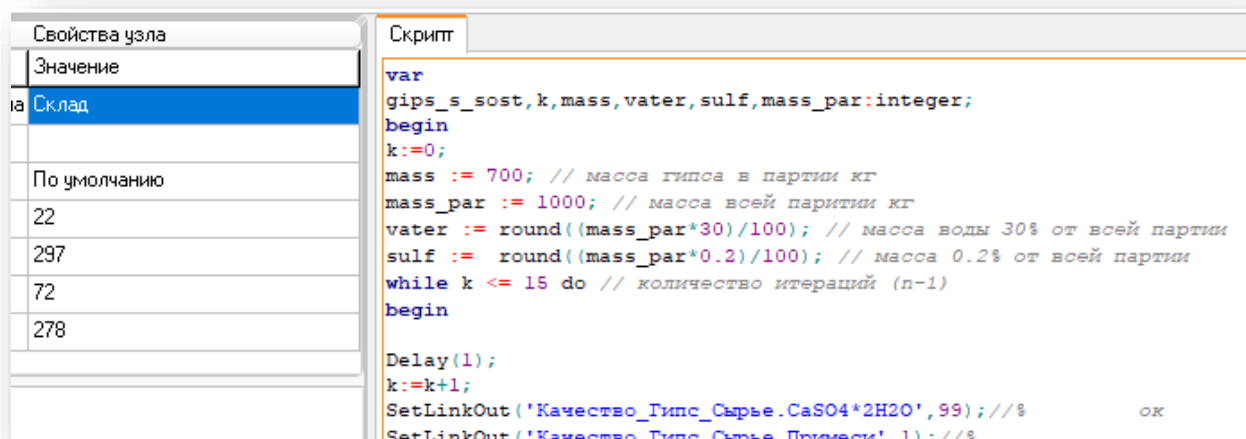


Рис. 2. Общие параметры

Fig. 2. General parameters

После запуска модели индикаторы на контроле качества означают отбраковку партии, отсутствие индикаторов означает что процесс протекает в штатном режиме. Более того, модель позволяет проводить детальную настройку параметров непосредственно в узлах обработки. В процессе имитационного выполнения «исходя их функционально-целевого назначения» [1, с.13] состояния системы визуализируются с помощью индикаторов контроля качества: активный индикатор означает отбраковку партии, а его отсутствие свидетельствует о штатном режиме процесса.

Данные индикаторы связаны с системой сбора данных модели. Количественные результаты наблюдаются в специализированных блоках «Отчет контроля качества» и «Отчет брака». Ключевыми системными переменными в этой структуре являются: ПРОДУКТ (выход годной продукции), PROD_BRAK (количество забракованных партий) и К (идентификатор партии/итерация).

Следовательно, визуализация системного состояния опосредована бинарными индикаторами контроля качества, образующими феноменологический интерфейс наблюдения, тогда как тотальный сбор данных осуществляется через дистрибутивную сеть отчетных узлов, формирующих эпистемическую основу для верификации системных параметров: «Верификация связана с тем, чтобы построить модель *правильно*. Валидация связана с тем, чтобы построить *правильную* модель» [10, с. 264]. Данная архитектура реализует герменевтический круг между перцептивным восприятием оператора и объективированной темпоральностью системных метрик, где синхроническая репрезентация состояния через индикаторы коррелирует с диахронической фиксацией данных в узлах отчетности.

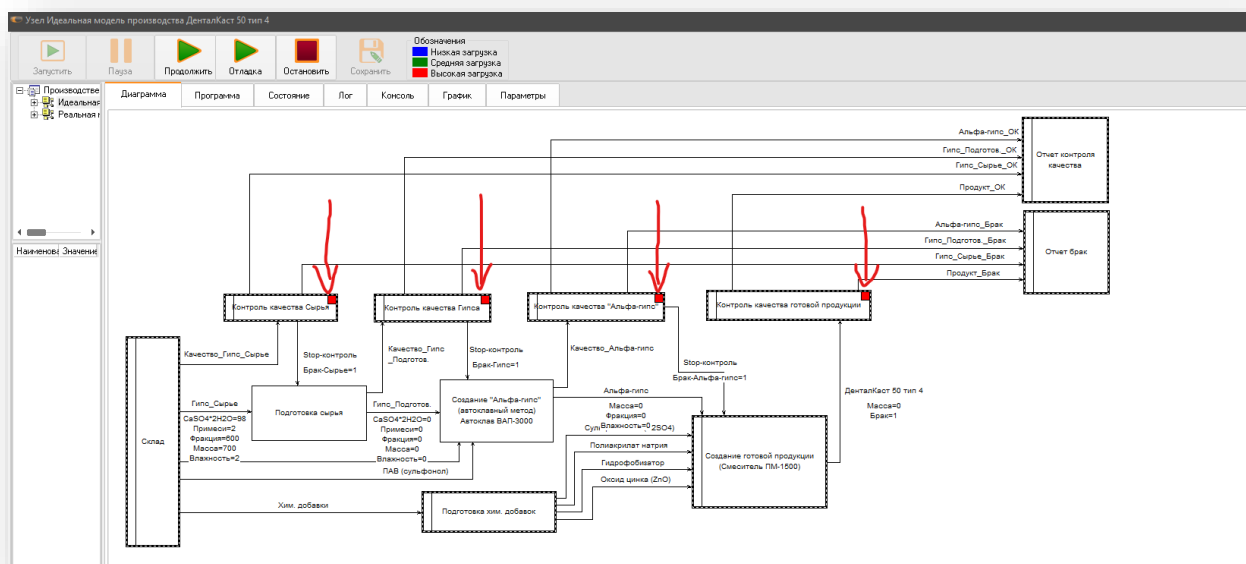


Рис. 3. Пример отбраковки (не обязательно будут гореть все 4 индикатора)
Fig. 3. Example of rejection (not necessarily all 4 indicators will be lit)

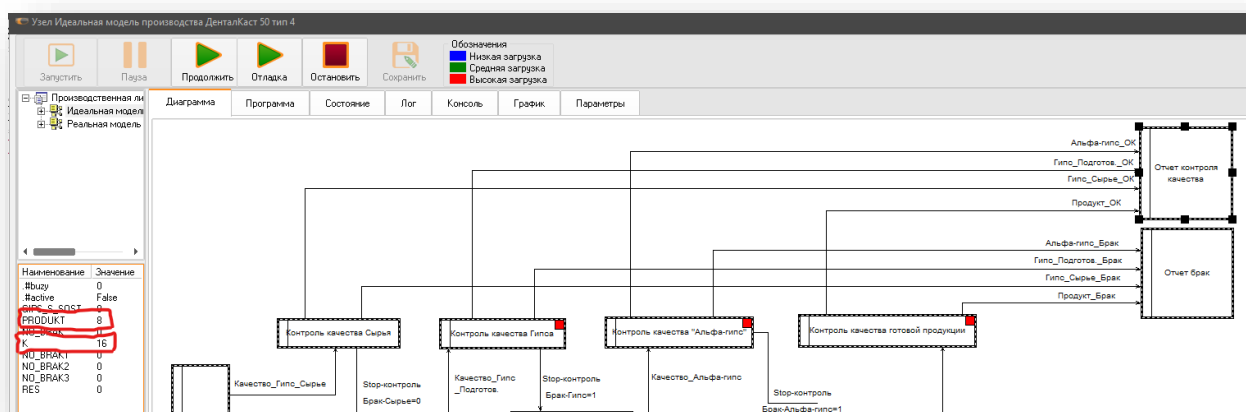


Рис. 4. Отчет контроля качества
Fig. 4. Quality control report

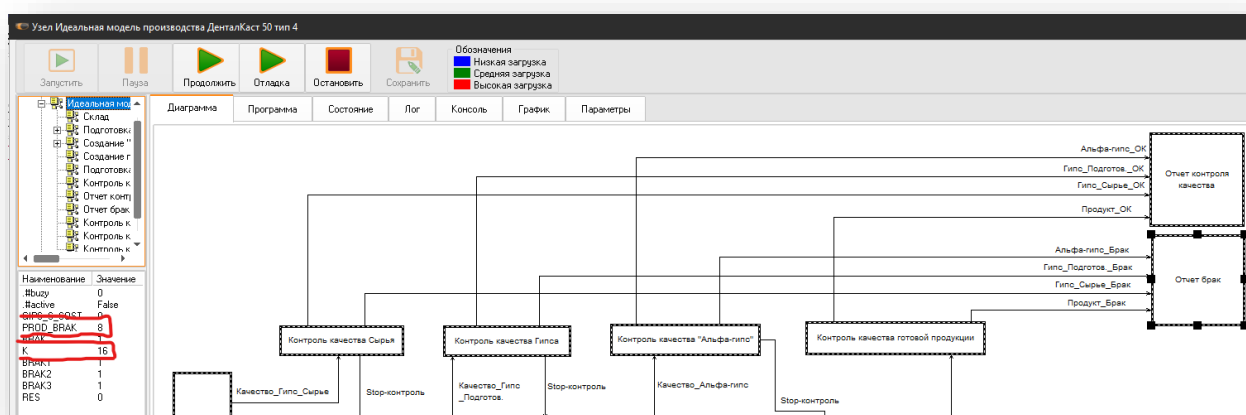


Рис. 5. Отчет брак
Fig. 5. Rejection Report

В реальной модели единственное отличие – это то, что контроль качества осуществляется в конце производственной линии из-за того, что в готовую продукцию попадают партии (партия 4) с плохо обработанным гипсом (не по стандартам качества), а также могут попадать партии с большим количеством примесей в сырье. Данная особенность техпроцесса делает невозможным применение в полной мере только статистического приемочного контроля продукции как «выборочный контроль качества продукции, при котором для обоснования плана контроля используются методы математической статистики» [6, с. 275].

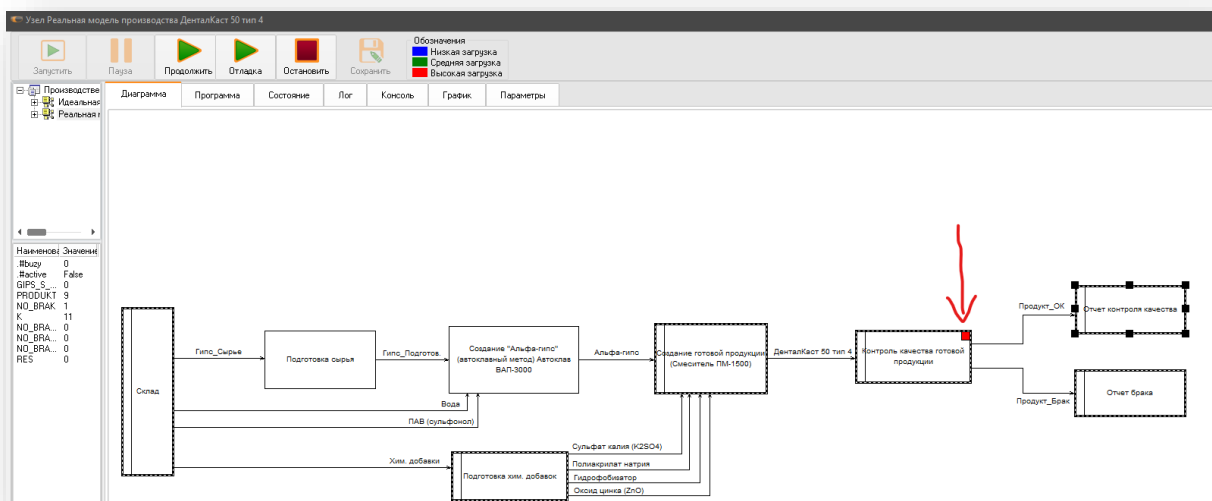


Рис. 6. Брак отображается красным индикатором
Fig. 6. Rejection is indicated by a red indicator

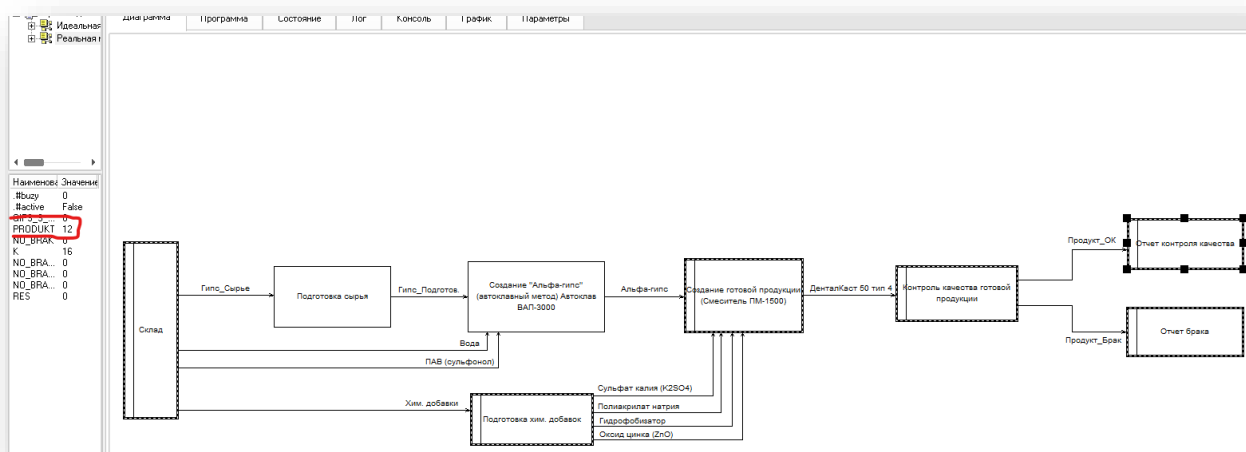


Рис. 7. Результат реальной модели продукт
Fig. 7. Actual Model Product Result

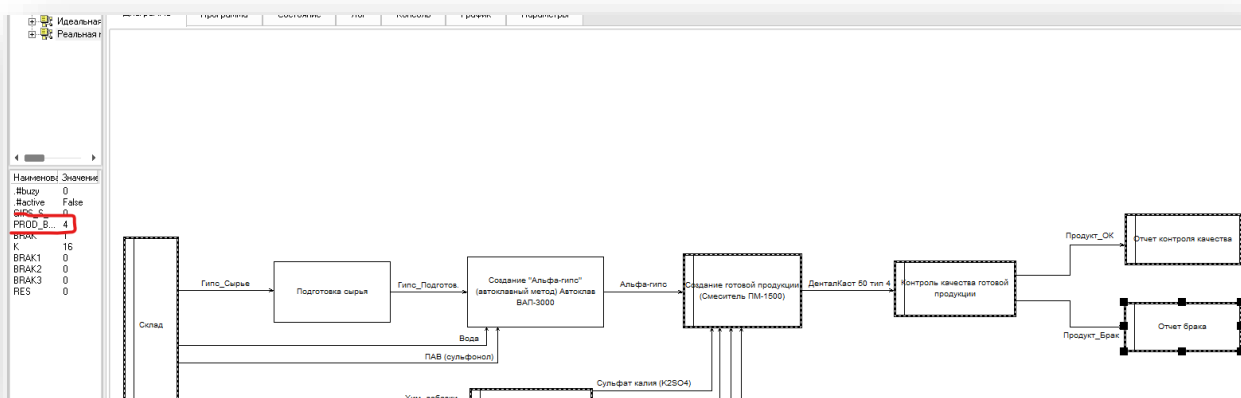


Рис. 8. Результат реальной модели брак
Fig. 8. Actual Model Rejection Result

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Моделирование в двух конфигурациях – идеализированной (с распределенным контролем) и реальной (с конечным контролем) – дало следующие результаты.

Анализ идеализированной конфигурации: при размещении узлов контроля на каждом критическом участке цепочки модель демонстрирует:

- раннюю идентификацию и отбраковку Партии 3, что исключает затраты на ее дальнейшую обработку;
- корректную идентификацию и отбраковку Партии 4 на этапе контроля качества обработки гипса;
- в отчете ПРОДУКТ фигурируют только Партии 1 и Партии 2. В отчете PROD_BRAK – Партии 3 и Партии 4.

Анализ реальной конфигурации: при размещении узла контроля в конце цепи наблюдается:

- некорректная работа системы: Партия 4, имеющая брак обработки, учитывается в отчете ПРОДУКТ;
- неэффективное использование ресурсов: Партия 3 проходит полный производственный цикл, после чего бракуется, создавая ложную нагрузку на оборудование.

Интерпретация результатов с позиций системного анализа позволяет утверждать, что проблема заключается в нарушении принципа обратной связи в силу связности «Информационных свойств <...> с изменением механизма действия обратных связей» [4, с. 13]. Обратная связь в реальной системе является запаздывающей и не локализованной, что не позволяет системе оперативно компенсировать возмущения (дефекты). В идеализированной модели реализована *распределенная система обратной связи*, обеспечивающая непрерывный мониторинг и немедленную коррекцию траектории процесса для каждой партии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование наглядно продемонстрировало эффективность системно-объектного моделирования как инструмента для диагностики и оптимизации производственных систем.

Осуществлена верификация системного дефекта: модель подтвердила гипотезу о том, что конечный контроль качества является системным дефектом, приводящим к прямым экономическим потерям и снижению качества выходного продукта.

Проведено количественное обоснование оптимизации: модель предоставила количественные данные (PRODUKT, PROD_BRAK), позволяющие оценить потенциальный экономический эффект от реорганизации процесса.

Сформулирована разработка оптимизационной меры: в качестве решения предложено перепроектирование системы контроля качества по принципу распределенной архитектуры с размещением контрольных точек в узлах принятия решений после критических технологических операций.

Определены перспективы внедрения: реализация предложенных изменений, согласно модели, позволит не только исключить указанные потери, но и создать основу для более глубокой цифровой трансформации, включая автоматизацию принятия решений, прогнозную аналитику и интеграцию в единую производственно-логистическую экосистему.

Таким образом, системно-объектная модель выступила не только как описательный, но и как прескриптивный инструмент, предоставивший научно обоснованные рекомендации для повышения эмерджентного свойства системы – ее общей эффективности.

Список литературы

1. Адамия К.Г. Разработка методов и средств оперативной коррекции производственных расписаний механообрабатывающего цеха в условиях мелкосерийного производства: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.07. Москва, 1997. 112 с.
2. Грекул В.И. Проектирование информационных систем: учебное пособие / В.И. Грекул, Г.Н. Денищенко, Н.Л. Коровкина. 2-е изд., испр. – Москва: Интернет-ун-т информ. технологий: Бином. Лаб. знаний, 2008 (Ульяновск: Ульяновский Дом печати). 299 с.
3. Грундиг К.Г. Проектирование промышленных предприятий: принципы, методы, практика / К.Г. Грундиг; [пер. с нем. А. Старков]. Москва: Альпина Бизнес Букс: Технополис, 2007. – 339 с. (Серия «Производственный менеджмент»).
4. Иванова В.С. Введение в междисциплинарное наноматериаловедение / В.С. Иванова. Москва: Сайнс-Пресс, 2005 (ГУП Чехов. полигр. комб.). 205 с.
5. Музипов Х.Н. Автоматизированное проектирование средств и систем управления [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 220400 – Управление в технических системах в УрФО / Х.Н. Музипов, О.Н. Кузяков; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Тюменский гос. нефтегазовый ун-т». Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 167 с.
6. Организация и планирование машиностроительного производства: [Текст]: производственный менеджмент: учебник для студентов вузов по машиностроительным и приборостроительным специальностям / [Ю.В. Скворцов и др.]; под ред. Ю.В. Скворцова, Л.А. Некрасова. Москва: Высшая школа, 2005. 469 с.

7. Управление качеством в жизненном цикле продукции: учебное пособие для студентов всех машиностроительных специальностей / В.В. Беспалов, Р.Ш. Мансуров, Б.В. Устинов, Е.С. Лещенко; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева». Нижний Новгород: Нижегородский гос. технический ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2023. 165 с.

8. Шепель В.М. Формирование корпоративного менталитетного пространства – репутационная проблема менеджмента // Репутациология. Т. 11, № 1–2 (47-48). 2018. 54 с.

9. Kent P. Mathematics in the University Education of Engineers. A Report to the Ove Arup Foundation / P. Kent. R. Noss. – London: London Knowledge, 2003. (дата обращения: 25.10.2025). URL: <http://www.lkl.ac.uk/research/REMIT/Kent-Noss-report-Engineering-Maths.pdf>

10. Law A.M. Simulation Modeling and Analysis. McGraw-Hill. 1991. – 759 p.

11. McKenna A.F, Carberry A.R. / Characterizing the Role of Modeling in Innovation // International Journal of engineering education. 2012, Vol. 28-2, P. 263-269.

Reference

1. Adamiya K.G. Development of Methods and Tools for Operational Correction of Production Schedules in a Machining Shop in Small-Batch Production: Candidate of Technical Sciences' Dissertation: 05.13.07. Moscow, 1997. 112 p.

2. Grekul V.I. Design of Information Systems: A Study Guide / V.I. Grekul, G.N. Denishchenko, N.L. Korovkina. 2nd ed., corrected. – Moscow: Internet University of Information Technologies: Binom. Knowledge Lab, 2008 (Ulyanovsk: Ulyanovsk House of Printing). 299 p.

3. Grundig K.G. Design of Industrial Enterprises: Principles, Methods, Practice / K.G. Grundig; [translated from German by A. Starkov]. Moscow: Alpina Business Books: Technopolis, 2007. – 339 p. (Series "Production Management").

4. Ivanova V.S. Introduction to Interdisciplinary Nanomaterials Science / V.S. Ivanova. Moscow: Science-Press, 2005 (Chekhov State Unitary Enterprise. Polygraphic Combination). 205 p.

5. Muzipov Kh.N. Automated Design of Control Tools and Systems [Text]: a tutorial for students of higher education institutions studying in the field of training 220400 – Control in Technical Systems in the Urals Federal District / Kh.N. Muzipov, O.N. Kuzyakov; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Tyumen State Oil and Gas University". Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University, 2011. 167 p.

6. Organization and Planning of Mechanical Engineering Production: [Text]: Production Management: Textbook for University Students Majoring in Mechanical Engineering and Instrument-Making Specialties / [Yu.V. Skvortsov et al.]; ed. Yu.V. Skvortsov, L.A. Nekrasov. Moscow: Vysshaya shkola, 2005. 469 p.

7. Quality Management in the Product Life Cycle: Textbook for Students of All Mechanical Engineering Specialties / V.V. Беспалов, Р.Ш. Мансуров, Б.В. Устинов, Е.С. Лещенко; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev. Nizhny Novgorod: R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, 2023. 165 p.

8. Shepel V.M. Formation of corporate mentality space – the reputational problem of management // Reputatology. Vol. 11, No. 1–2 (47-48). 2018. 54 p.

9. Kent P. Mathematics in the University Education of Engineers. A Report to the Ove Arup Foundation / P. Kent. R. Noss. – London: London Knowledge, 2003. (дата обращения: 25.10.2025). URL: <http://www.lkl.ac.uk/research/REMIT/Kent-Noss-report-Engineering-Maths.pdf>

10. Law A.M. Simulation Modeling and Analysis. McGraw-Hill. 1991. – 759 p.

11. McKenna A.F, Carberry A.R. / Characterizing the Role of Modeling in Innovation // International Journal of engineering education. 2012, Vol. 28-2, P. 263-269.

Бузов Павел Андреевич, генеральный директор, Акционерное общество «СофтКоннект», г. Белгород, Россия
Жихарев Александр Геннадиевич, доктор технических наук, доцент, директор института инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
Малкуш Елена Викторовна, аспирант кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Кузнецов Андрей Владимирович, доктор философских наук, доцент, профессор кафедры информационно-компьютерных технологий в деятельности органов внутренних дел, Белгородский юридический институт МВД России имени И.Д. Путилина, г. Белгород, Россия

Buzov Pavel Andreevich, General Director, Joint Stock Company "SoftConnect", Belgorod, Russia

Zhikharev Alexander Gennadievich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Malkush Elena Viktorovna, Postgraduate Student of the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Kuznetsov Andrey Vladimirovich, Doctor of Philosophical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information and Computer Technologies in the Operations of Internal Affairs Agencies, Putilin Belgorod Law Institute of Ministry of the Interior of Russia, Belgorod, Russia

УДК 519.179.2

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-8

Юрчак В.А.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕМАТИЧЕСКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ
В МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОИСКА
НЕЯВНЫХ СВЯЗЕЙ И ТРЕНДОВ В РАЗВИТИИ ТЕЗАУРУСОВ**

АНО ВО «Российский новый университет (РосНОУ)»
ул. Радио, 22, г. Москва, 105005, Россия

e-mail: rabota_pres14@rambler.ru

Аннотация

С развитием искусственного интеллекта и машинного обучения [7] стало возможно использование иерархических вероятностных моделей в области обработки естественного языка. Вероятностные или «тематические модели» облегчили обнаружение базовых тем, которые формируют содержание корпусов текстов. В частности, тематические модели продемонстрировали полезность при анализе разнообразного контента, выходящего за рамки просто текстовой информации, включая изображения, биологические данные и ответы на опросы. Важным применением тематического моделирования стало выявление тенденций исследований.

Цель. Целью данного исследования является разработка и экспериментальная валидация гибридного метода определения оптимального количества тематических кластеров для автоматического обновления специализированных тезаурусов на основе анализа мультимодальных научных текстов. Метод основывается на нормализованных оценках, таких как перплексия и согласованность, что позволяет оценить качество тем и выявить неявные связи между терминами внутри каждой темы. В рамках исследования рассматривается проблема оптимизации количества тем на стыке предметных областей и фиксации эволюции тем с выделением тренда по каждому термину внутри каждой темы.

Методы. В исследовании предложен новый подход, интегрирующий алгоритмы LDA и BERTopic с адаптивной функцией оптимизации, учитывающей одновременно метрики перплексии (P) и семантической согласованности (C). Разработана оригинальная математическая модель для выявления неявных связей между терминами через комбинирование вероятностного и контекстного сходства.

Научная новизна исследования. В рамках данного исследования представлена математическая модель выявления неявных семантических связей между терминами, сочетающая вероятность семантического и контекстуального сходства, что позволяет идентифицировать новые связи, отсутствующие в тезаурусах. Кроме того, приводится гибридный подход, сочетающий алгоритм скрытого распределения Дирихле (LDA) и BERTopic (Based on Bertopic python packaged) для определения оптимального количества тематических кластеров в мультимодальных текстах.

Результаты. Результаты исследования, описанными в данной статье, служат созданию тематической модели с оптимальным количеством тем на стыке предметных областей. Использование международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и реферативно-аналитической базы данных Dimensions AI в качестве базового набора данных позволило проследить эволюцию тем с выделением тренда по каждому термину внутри каждой темы и помогло исследователям из различных отраслей понять взаимосвязи между темами и терминами в содержании мультимодальных текстов.

Ключевые слова: LDA; BERTopic; поиск неявных связей; тренд; семантический граф; PubMed; Dimensions AI; тематическое моделирование; перплексия; согласованность

Для цитирования: Юрчак В.А. Использование тематической кластеризации в мультимодальных данных для поиска неявных связей и трендов в развитии тезаурусов // Научный результат. Информационные технологии. – Т.10, №4, 2025. – С. 88-104. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-8

Yurchak V.A.

USING THEMATIC CLUSTERING IN MULTIMODAL DATA TO SEARCH FOR IMPLICIT CONNECTIONS AND TRENDS IN THESAURUS DEVELOPMENT

Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian New University (RosNOU)"
22 Radio St., Moscow, 105005, Russia

e-mail: rabota_pres14@rambler.ru

Abstract

With the development of artificial intelligence and machine learning, it has become possible to use hierarchical probabilistic models in the field of natural language processing. Probabilistic or "thematic models" have made it easier to discover the underlying themes that form the content of text corpora. Thematic models have demonstrated their usefulness in analyzing a variety of content that goes beyond just textual information, including images, biological data, and survey responses. An important application of thematic modeling has been the identification of research trends).

Goal. The purpose of this study is to develop and experimentally validate a hybrid method for determining the optimal number of thematic clusters for automatic updating of specialized thesauri based on the analysis of multimodal scientific texts. The method is based on normalized assessments such as perplexity and consistency, which makes it possible to assess the quality of topics and identify implicit connections between terms within each topic. The study examines the problem of optimizing the number of topics at the junction of one or more subject areas and recording the evolution of topics with highlighting the trend for each term within each topic.

Methods. The study proposes a new approach integrating the LDA and BERTopic algorithms with an adaptive optimization function that simultaneously considers the metrics of perplexity (P) and semantic consistency (C). An original mathematical model has been developed to identify implicit relationships between terms through a combination of probabilistic and contextual similarity.

Scientific novelty of the research. This study presents a mathematical model for identifying implicit semantic links between terms, combining the likelihood of semantic and contextual similarities, which makes it possible to identify new links that are missing in thesauri. In addition, a hybrid approach is presented that combines the latent Dirichlet distribution algorithm (LDA) and BERTopic (Based on Bertopic python packaged) to determine the optimal number of thematic clusters in multimodal texts.

Results. The results of the research described in this article are the creation of a thematic model with an optimal number of topics at the junction of one or more subject areas. Using the PubMed international knowledge base for medical publications and the Dimensions AI abstract and analytical database as a basic dataset, it allowed us to trace the evolution of topics with a trend for each term within each topic and helped researchers from various industries understand the interrelationships between topics and terms in the content of multimodal texts.

Keywords: LDA; BERTopic; search for implicit connections; trend; semantic graph; PubMed; Dimensions AI; thematic modeling; perplexity; consistency

For citation: Yurchak V.A. Using Thematic Clustering in Multimodal Data to Search for Implicit Connections and Trends in Thesaurus Development // Research result. Information technologies. – Т.10, №4, 2025. – P. 88-104. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-4-0-8

ВВЕДЕНИЕ

Тематическое моделирование выступает основным инструментом для анализа больших данных, оптимизируя поиск информации, структурируя контент и обеспечивая глубокое понимание смысловых связей в текстах. Поскольку сложность и объем данных продолжают расти, тематическое моделирование остается незаменимым решением для извлечения ценных сведений из неструктурированных текстов.

С развитием искусственного интеллекта и машинного обучения стало возможно использование иерархических вероятностных моделей в области обработки естественного языка. Вероятностные или «тематические модели» облегчили обнаружение базовых тем, которые формируют содержание корпусов текстов. В частности, тематические модели продемонстрировали

полезность при анализе разнообразного контента, выходящего за рамки просто текстовой информации, включая изображения, биологические данные и ответы на опросы. Важным применением тематического моделирования стало выявление тенденций исследований.

Главной задачей тематического моделирования стала способность выявлять закономерности в использовании слов и устанавливать связи между мультимодальными данными, которые демонстрируют сопоставимые закономерности.

Тематические модели позволяют анализировать термины, связанные с базами знаний и тезаурусами, для выявления скрытых тематических структур в мультимодальных данных. Каждая тема в таких моделях формализуется как распределение вероятностей над словами, отражающее их семантическую связность. Модели выступают как генеративные алгоритмы: они описывают вероятностный процесс, по которому создаются текстовые данные, объединяя разнородные источники (тексты, изображения и др.) в логические тематические кластеры. Посредством взаимодействия терминов с внешними ресурсами модели выявляют паттерны, преобразуя неструктурированные данные в набор тем, где каждая тема задает вероятностные отношения между элементами данных.

Процесс моделирования мультимодальных текстов начинается с первоначального выбора распределения по темам. Затем каждое слово в тексте вероятностно распределяется по теме в соответствии с этим распределением. Наконец, слово выбирается из темы, к которой оно было отнесено.

В области автоматизированного анализа использование тематических моделей предполагает задействование международных компьютерных систем, словарей и баз знаний для решения задач распределения тем по словам в словаре. Изучение распределений приводит к сжатому представлению данных для каждого корпуса текста, фиксируя их основные характеристики. За прошедшие годы было введено несколько различных методов моделирования тем, включая неотрицательную матричную факторизацию (NMF), вероятностный латентный семантический анализ (PLSA), скрытое распределение Дирихле (LDA), иерархическое латентное распределение Дирихле (hLDA), динамические тематические модели (DTM), коррелированную тематическую модель (CTM).

Со временем темы в корпусе мультимодальных текстов могут развиваться. Игнорирование временных аспектов во время моделирования тем может затруднять их обнаружение. Решить эту проблему позволяет моделирование эволюции тем, включающее время и раскрывающее скрытые идеи в корпусе. Моделирование эволюции тем определяет темы, на которые влияют временные закономерности, что позволяет фиксировать их тренд. Семантический тренд по темам – это изменения в значении, использовании или восприятии терминов в словарных базах (тезаурусах) с течением времени. Различные области находят полезность в моделях эволюции тем, например, исследователи, изучающие прогресс тем исследования и определяющие соответствующие мультимодальные тексты.

В отличие от классических подходов к тематическому моделированию, которые трактуют мультимодальные тексты как простые наборы слов, игнорируя контекст и смысловые нюансы, текстовые эмбединги позволяют преодолеть это ограничение, сохраняя семантические связи между словами. Примерами текстовых эмбедингов являются двунаправленные кодирующие представления из трансформеров (BERT) и его вариации). Такие подходы также используются для моделирования тем. Примеры включают Top2Vec, который использует представления слов и текстов для совместного внедрения векторов тем и слов. Кроме того, использующий векторные представления кластеров для представления тем, идентифицируя слова в непосредственной близости от центра кластера. Несмотря на свою привлекательность, традиционные методы тематического моделирования демонстрируют слабую эффективность в случаях, когда кластеры имеют сложную (не сферическую) форму. Для устранения этого недостатка исследователи разрабатывают алгоритмы, которые пересматривают значимость терминов в рамках кластера, учитывая не только их частоту, но и семантическую роль, анализируя их распределение и корректируя веса для повышения точности тематической группировки.

Многочисленные исследования подчеркивают эффективность использования скрытого распределения Дирихле (LDA) в различных коммуникативных контекстах, особенно с короткими текстами. Несмотря на доказательства, подтверждающие эффективность тематического моделирования с короткими текстами, по-прежнему отсутствует эмпирическая поддержка, когда дело доходит до его применения к более длинным текстам.

В то время как некоторые исследования предлагают базовое руководство по сегментации входных текстов на фрагменты по 1000 слов, наблюдается заметное отсутствие систематических исследований, подтверждающих такие утверждения. Действительно, это ограничение тематического моделирования распространяется на различные другие методы анализа текста. В то время как короткие тексты, такие как аннотации, сообщения в социальных сетях, журнальные статьи, газетные статьи имеют тенденцию кратко излагать основные темы, применение интеллектуального анализа текста к более длинным текстам выявляет более низкую плотность контента. В исследовании Сбалкьеро и Эдера рассматриваются связи между длиной текста и оптимальным количеством тем.

Определение оптимального количества тем для обнаружения в корпусе значительно влияет на результат [11]. Параметр « k » в алгоритме имеет особое значение, поскольку он влияет на процесс подгонки модели, тем самым влияя на достоверность результатов. Если количество тем слишком мало, это может привести к широким и неоднородным темам, в то время как большое значение « k » может привести к чрезмерно конкретным темам, и то и другое создает проблемы для интерпретации. Для решения этой проблемы были предложены различные подходы, одним из самых простых является метод Байеса. Этот метод включает в себя расчет логарифмического правдоподобия для всех возможных моделей в указанном диапазоне (например, от 2 до N) с использованием метода Гиббса для выборки данных из апостериорного распределения тем, определяя оптимальное количество тем для модели.

В исследовании предложен метод определения оптимального количества тем на стыке предметных областей. Метод определения оптимального количества тем функционирует на основе нормализованных оценок, включая оценки перплексии и согласованности, обеспечивающие консолидированную оценку качества тем и поиска неявных связей между терминами внутри каждой темы. Для достижения этой цели формулируется проблема оптимизации количества тем на стыке предметных областей и фиксации эволюции тем с выделением тренда по каждому термину внутри каждой темы.

Научная новизна исследования представлена в следующих положениях:

- Разработке гибридного подхода (LDA + BERTopic) с адаптивной функцией оптимизации, учитывающей метрики перплексии (P) и семантической согласованности (C);
- Разработке оригинальной математической модели для выявления неявных связей между терминами через комбинирование вероятностного и контекстного сходства.

Исследование опирается на тщательно собранный набор данных из международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и реферативно-аналитической базы данных Dimensions AI, включающих тысячи статей и рефератов из различных областей знаний. В рамках организации и классификации этого обширного набора данных по последовательным темам, используется алгоритм скрытого распределения Дирихле (LDA) с BERTopic. Целью исследования является предоставление метода математической оптимизации, который облегчит определение оптимального количества тем на стыке предметных областей и позволит проследить эволюцию тем с выделением тренда по каждому термину внутри каждой темы. Данный подход позволит более глубоко понять содержание, представленное в статьях об исследованиях в медицинской и иных областях знаний, предлагая понимание их эволюции с течением времени и раскрывая непреходящие важные темы. Главными задачами, рассматриваемыми в рамках данной статьи, будут:

- современные и традиционные подходы к моделированию тем в мультимодальных текстах;
- механизм распределения баллов семантического сходства с учетом увеличения количества тем;
- механизм эволюции тем с выделением тренда по каждому термину внутри каждой темы.

Результатами исследования, описанными в данной статье, служат создание тематической модели с оптимальным количеством тем на стыке предметных областей. Использование международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и реферативно-аналитической базы данных Dimensions AI в качестве базового набора данных позволит проследить эволюцию тем с выделением тренда по каждому термину внутри каждой темы и поможет исследователям из различных отраслей понять взаимосвязи между темами и терминами в содержании мультимодальных текстов, а также их эволюцию с течением времени.

Статья организована следующим образом. В разделе 1 содержится информация о процедуре сбора и подготовки данных по исследованию.

В разделе 2 содержится информация о подходах к тематическому моделированию.

В разделе 3 содержится информация о настройке тематических моделей LDA и Bertopic.

В разделе 4 содержится информация о механизме распределения оценочных баллов семантического сходства с учетом увеличения количества тем.

В разделе 5 содержится информация о механизме поиска неявных связей между терминами внутри каждой предметной области.

В разделе 6 содержится информация о результатах исследования.

Выводы по исследованию и их обсуждение приводятся в разделе 7 Заключение.

1 ПРОЦЕДУРА СБОРА И ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ

В рамках исследования извлекаются мультимодальные текстовые данные, соответствующие научным статьям, рефератам об исследованиях в медицинской и иных областях знаний, из международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и реферативно-аналитической базы данных Dimensions AI. В целом статьи охватывают период с 1998 по 2024 год и взяты из 7016 журналов. Эта цифра также подчеркивает значимость исследований в медицинской и иных областях знаний благодаря увеличению с каждым годом количества публикаций. После исключения дубликатов и статей на неанглоязычных языках были получены 5169 уникальных статей из Dimensions AI и 2000 из PubMed. Всего статьи, извлеченные из этих баз данных, составили коллекцию из 7169 уникальных статей. Нерелевантные метаданные, такие как имена авторов, язык, тип документа, время цитирования, информация об издателе, аббревиатура журнала, том, выпуск, категории были исключены из статей. Впоследствии было произведено объединение соответствующих метаданных, включая название статьи, ключевые слова, аннотацию, дату публикации и название источника, которые содержат информацию для этого исследования, для дальнейшей предварительной обработки и анализа.

В области обработки естественного языка и анализа текста предварительная обработка играет важную роль в уточнении необработанных мультимодальных текстовых данных для последующих операций анализа и моделирования. Первоначально текст преобразуется в нижний регистр. Затем процесс переходит к удалению знаков препинания, при котором все небуквенно-цифровые символы, такие как запятые, точки и круглые скобки, удаляются, тем самым акцентируя внимание на значимых словах, которые в противном случае могли бы внести шум в анализ. Следующий шаг включает токенизацию, разбивку текста на отдельные токены или слова, что обеспечивает более детальный уровень анализа. Кроме того, был включен анализ биграмм и триграмм, чтобы учитывать частые сочетания слов. Биграммы относятся к парам слов, которые часто встречаются в тексте, тогда как триграммы состоят из трех слов, которые часто встречаются вместе. Впоследствии акцент смещается на удаление стоп-слов. Кроме того, исключаются слова длиной менее 3 букв, поскольку этот шаг помогает устранить многие сокращения, встречающиеся в нашем наборе данных с длиной в 2 буквы, что дополнительно уточняет текст для анализа. На следующем этапе выполняется процедура лемматизации, служащая для преобразования слов к их корневой форме. В совокупности эти этапы предварительной обработки повышают качество и связность текстовых данных, делая их более пригодными для преобразования необработанного текста в управляемый и информативный формат для различных задач обработки естественного языка.

2 ПОДХОДЫ К ТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

В основе подходов к тематическому моделированию лежат методы кластеризации мультимодальных текстовых данных. Под кластеризацией мультимодальных текстовых данных понимают процесс группировки информации по их семантической схожести. Любое сходство может быть оценено численно, например, расстояние между терминами из двух слов. Кластеры представляют собой не только набор значений объектов с числовым сходством, но и группу объектов, которые представляют одно и то же понятие друг для друга. Высокая эффективность и точность кластеров данных – две основные и важные цели кластеризации [3].

В данном исследовании рассматриваются две тематические модели анализа: LDA и BERTopic. Количество скрытых тем, обозначенных как K , является свободным параметром в обеих моделях. В LDA параметры β и α управляют тематической структурой: β отвечает за распределение слов по темам, а α — за распределение тем по документам. Две модели отличаются методологией, используемой для определения этих скрытых параметров.

Скрытое распределение Дирихле (LDA) – это обобщающая модель для текстов, в которой пропорции смеси θd рассматриваются как случайные величины. Метод LDA моделирует каждый из текстов как комбинацию скрытых тем, описывая распределение слов по темам и документам [7].

В процессе моделирования мультимодальных текстов используется словарь, определяющийся следующим образом. Создается корпус, который включает в себя все анализируемые мультимодальные тексты, где D обозначает общее количество данных, содержащихся в тексте [7].

Метод LDA работает как вероятностная генеративная модель, предполагающая, что каждый мультимодальный текст содержит сочетание различных тем, при этом каждое слово в тексте относится к одной из этих тем. Модель определяет вероятность появления каждого слова в данной теме и вероятность появления каждой темы в тексте. Метод демонстрирует масштабируемость и способен обрабатывать большие массивы данных. LDA эффективно управляет мультимодальными текстами различной длины благодаря своей вероятностной природе, обеспечивая гибкость структуры текстов. Однако он чувствителен к гиперпараметрам, таким как количество тем и критерии Дирихле, что затрудняет поиск оптимальных значений [7].

С другой стороны, BERTopic использует модели на основе transformer для создания векторных представлений слов, учитывающих контекст в мультимодальных текстах. Он использует алгоритмы кластеризации этих вложений для определения тем, предоставляя более контекстуально насыщенные представления. BERTopic может предложить несколько меньшую возможность прямой интерпретации по сравнению с LDA из-за своей зависимости от сложных моделей на основе трансформеров, это компенсируется контекстуально насыщенными темами и значимыми представлениями. BERTopic может быть ресурсоемким с точки зрения вычислений, особенно для больших наборов данных. Как и LDA, BERTopic зависит от настройки гиперпараметров, особенно тех, что связаны с алгоритмами кластеризации, применяемыми совместно с векторными представлениями. Модель BERTopic эффективно обрабатывает мультимодальные тексты, выявляя и детализируя распределение тем [7].

3 НАСТРОЙКА ТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ LDA И BERTOPIC

Важной характеристикой тематических моделей, таких как LDA и BERTopic, является их способность самостоятельно определять количество тем во время моделирования или требовать их определенного количества на этапе обучения. Определение оптимального количества тем [11] остается серьезной проблемой, не имеющей однозначного решения. Для решения текущей проблемы были применены механизмы по ограничению количества тем во время обучения модели LDA. Для оценки обобщающих тематических представлений каждой модели используются оценочные баллы, чтобы определить наиболее согласованное представление [7].

Увеличение количества проходов может улучшить качество тем, позволяя модели уточнять задания тем. В то время как размер блока определяет количество мультимодальных текстов,

обрабатываемых в каждом обучающем блоке. Это влияет на скорость и требования к памяти во время обучения. Изменение этого параметра может повлиять на скорость конвергенции, согласованность и сложность. В рамках данного исследования поиск оптимального количества тем начинается с диапазона от 4 до 32 с увеличением на 4. Кроме того, данные каждой модели LDA и BERTopic подвергаются двум процессам кодирования: один из них с использованием представления Bagof-Words (BoW), а другой – с использованием частотности терминов (TF-IDF). Bagof-Words (BoW) представляет текст в виде векторов, фокусируясь на количестве слов и игнорируя порядок слов. TF-IDF учитывает важность слов в тексте в зависимости от их встречаемости во всем корпусе. В результате в данном исследовании было получено в общей сложности 150 примеров тем с разбивкой по корпусам текстов [7].

4 МЕХАНИЗМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОЧНЫХ БАЛЛОВ СЕМАНТИЧЕСКОГО СХОДСТВА С УЧЕТОМ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТЕМ

Несмотря на распространенное мнение о том, что тематическое моделирование раскрывает значимые и ценные скрытые концепции, проверка этого предположения является сложной задачей из-за отсутствия заранее заданных тем для анализа. Отсутствие четкого набора тем для каждого корпуса требует включения внешних оценок для оценки определенных тем в скрытых структурах данных. В целом, оценка моделей может проводиться с помощью двух подходов: внешней оценки и внутренней оценки. Внешняя оценка требует тестирования моделей на реальных задачах и анализа конечной точности, что является лучшим способом понять, как различные модели влияют на задачу. Однако это может быть медленным и дорогостоящим с точки зрения вычислений. С другой стороны, внутренняя оценка, предполагающая поиск показателя для оценки эффективности модели на основе ее внутренних характеристик, без учета конкретной задачи, для решения которой она будет использоваться [7].

В рамках данного исследования использовались различные оценки, такие как перплексия (мера неопределенности модели) и согласованность, чтобы определить наиболее подходящее количество тем для отлаженных моделей LDA и BERTopic. Для того, чтобы продемонстрировать использование оценок запутанности и согласованности приведем математическую модель оптимизации для определения оптимального количества тем моделей LDA и BERTopic [7].

Оптимизация для определения оптимального количества тем моделей LDA и BERTopic будет нацелена на уменьшение запутанности тем и максимизацию согласованности, что позволит улучшить интерпретируемость и точность моделей. Рассмотрим, возможность построения математической модели для этой оптимизации [7].

Перплексия или запутанность (P) – это мера, показывающая, насколько хорошо модель предсказывает вероятностное распределение слов в документах. Чем ниже значение перплексии, тем лучше модель соответствует данным.

Для метода LDA, перплексия для коллекции документов $D = \{d_1, \dots, d_N\}$ определяется как:

$$P(D) = \exp\left(-\frac{1}{\sum_{d \in D} N_d} \sum_{d \in D} \log p(d)\right), \quad (1)$$

где N_d – общее количество слов в документе d , а $p(d)$ – вероятность документа d , определяемая моделью.

Для BERTopic, перплексия рассчитывается на основе распределения эмбедингов и вероятности тем, но принцип остаётся схожим.

Согласованность (C) – метрика, показывающая, насколько семантически связаны слова внутри темы. Чаще всего используют согласованность на основе метрики PMI [8], измеряющей согласованность по частоте встречаемости слов в документах.

Для темы t , содержащей множество слов $\{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N\}$, согласованность может быть рассчитана как:

$$C(t) = \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \log \frac{P(\omega_i, \omega_j) + \epsilon}{P(\omega_i) + P(\omega_j)}, \quad (2)$$

где $P(\omega_1, \omega_2)$ – вероятность совместного появления слов $P(\omega_i)$ и $P(\omega_j)$ – их индивидуальные вероятности, а ϵ – небольшое положительное число для предотвращения деления на ноль.

Общая согласованность для модели – это среднее значение согласованности всех тем:

$$C = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T C(t), \quad (3)$$

где T – общее количество тем.

Цель – минимизировать перплексию и максимизировать согласованность.

Пусть:

- $P(\theta)$ – функция, вычисляющая перплексию модели с параметрами θ ,
- $C(\theta)$ – функция, вычисляющая согласованность модели с параметрами θ ,
- θ – параметры модели (количество тем).

Тогда задача оптимизации формулируется как задача многокритериальной оптимизации:

$$\frac{\min}{\theta} P(\theta), \frac{\max}{\theta} C(\theta), \quad (4)$$

Это можно переписать как задачу минимизации с учётом весовых коэффициентов:

$$\frac{\min}{\theta} \lambda_1 P(\theta), \frac{\max}{\theta} \lambda_2 C(\theta), \quad (5)$$

где λ_1 и λ_2 – коэффициенты, управляющие вкладом каждой из метрик в функцию оптимизации.

Альтернативный способ формулировки – использовать для построения математической модели оптимизации регуляризацию:

$$\frac{\min}{\theta} P(\theta) + a^* \frac{1}{C(\theta)}, \quad (6)$$

где a – регуляризационный параметр, который позволяет настроить баланс между перплексией и согласованностью.

Высокие значения гиперпараметров α и γ совместно усиливают согласованность.

5 МЕХАНИЗМ ПОИСКА НЕЯВНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ТЕРМИНАМИ ВНУТРИ КАЖДОЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Неявные семантические связи между терминами в предметных областях – это скрытые взаимосвязи, которые невозможно увидеть напрямую, но их можно выявить через лингвистические, статистические и онтологические методы. Применяя такие методы к тематическим моделям и семантическим представлениям, можно обнаруживать отношения, отражающие сходство, причинно-следственные связи или функциональные зависимости между терминами.

Для того, чтобы продемонстрировать поиск неявных связей между терминами внутри одного или нескольких тематических кластеров приведем математическую модель.

Пусть T – множество терминов в рассматриваемых предметных областях.

$T_k \subset T$ – термины, принадлежащие теме k .

O – онтология предметной области, представляющая отношения между терминами (например, иерархические, синонимические или ассоциативные связи) [9].

E – множество эмбедингов, представляющих термины в скрытом пространстве признаков.

$Sim(\omega_i, \omega_j)$ – функция, измеряющая семантическое сходство между терминами ω_i и ω_j (например, косинусное сходство их эмбедингов).

Неявные связи $R_{implicit}$ – это скрытые связи, которые можно выявить через анализ вероятностных распределений, контекстных эмбедингов и анализ графов.

Для двух терминов ω_i и ω_j , принадлежащих одной теме T_k , вероятностная связь может быть определена через их совместное распределение в теме.

Пусть $P(\omega_i|T_k)$ и $P(\omega_j|T_k)$ – вероятности терминов ω_i и ω_j в теме T_k :

$$Sim_{prob}(\omega_i, \omega_j) = \frac{P(\omega_i|T_k) * P(\omega_j|T_k)}{P(\omega_i, \omega_j|T_k) + \epsilon}, \quad (7)$$

где ϵ – это малое значение для предотвращения деления на ноль.

Данная мера показывает степень вероятностной ассоциации, если термины часто встречаются вместе.

Эмбединги (вектора слов) позволяют оценивать семантическую близость терминов, не отражённую напрямую в онтологии. Косинусное сходство между векторами двух терминов ω_i и ω_j оценивается следующим образом:

$$Sim_{cos}(\omega_i, \omega_j) = \frac{v(\omega_i) * v(\omega_j)}{\|v(\omega_i)\| \|v(\omega_j)\|}, \quad (8)$$

где $v(\omega_i)$ и $v(\omega_j)$ – эмбединги терминов ω_i и ω_j , полученные из тематической модели или предобученной модели (Word2Vec, BERT).

Онтология O предметной области представляет явные семантические связи (например, синонимию). Если для пары терминов не задано явного отношения, мы оцениваем их неявную связь по взвешенной комбинации вероятностного и контекстного сходства:

$$Implicit_Sim_{(\omega_i, \omega_j)} = \alpha * Sim_{prob}(\omega_i, \omega_j) + \beta * Sim_{cos}(\omega_i, \omega_j), \quad (9)$$

где α и β – коэффициенты, которые можно оптимизировать для каждой предметной области.

Для выделения тематических кластеров, отражающих неявные связи, применяются методы, такие как:

- Спектральная кластеризация или разбиение на сообщества в графе [14].
- Поиск «коротких путей»: определяет степень связности, если неявные связи создают замкнутые подграфы (треугольники, циклы) между терминами.

Спектральная кластеризация или разбиение на сообщества в графе позволяет выделить новые тематические кластеры, отразив посредством графа все неявные связи представляющие подмножества терминов [14]. Пусть $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ – набор кластеров, полученных из графа G . Тогда каждый кластер C_i можно рассматривать как группу связанных терминов, которая потенциально представляет новый тематический кластер.

6 МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОИСКА НЕЯВНЫХ СВЯЗЕЙ С УЧЕТОМ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТЕМ В ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ

В рамках данного исследования предлагается метод решения проблемы поиска новых неявных связей с учетом увеличения количества тем в предметных областях на примере отлаженных моделей LDA и BERTopic.

На основе вышеописанных механизмов выводится объединенная математическая модель решения проблемы поиска неявных связей с учетом увеличения количества тем в предметных областях. Пусть

$Sim(t_i, c_j)$ – семантическое сходство между терминами.

$F(t_i, c_j)$ – частота термина t_i в теме c_j .

(c_j) – общее количество терминов в теме c_j .

α и β – веса для регулирования вклада.

Объединенная математическая модель на основе двух механизмов примет следующий вид:

$$Sim_{final}(t_i, c_j) = \frac{\alpha * Sim(t_i, c_j) + \beta * F(t_i, c_j) * F(t_i, c_j)}{N(c_j)}, \quad (10)$$

где посредством $Sim_{final}(t_i, c_j)$ происходит выделение новых тем в предметных областях, основываясь на сочетании оценок сходства и частот.

Объединенная математическая модель позволяет также находить неявные связи между терминами, что приводит к более глубокому пониманию семантической структуры данных. Данная модель обеспечивает синергию между механизмами оценки тем и выявления скрытых взаимосвязей, позволяя более эффективно анализировать данные в различных предметных областях. Использование метода решения проблемы поиска неявных связей с учетом увеличения количества тем в предметных областях приводится в разделе 6, содержащем информацию о результатах исследования.

7 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В этом разделе представляются результаты исследования, использующие метод решения проблемы поиска неявных связей с учетом увеличения количества тем в предметных областях.

В рамках первичного анализа было приведено тематическое моделирование, которое не накладывает ограничений на количество тем для выбора. В частности, были использованы предварительно обработанные данные в качестве входных данных как для отлаженных моделей LDA, так и для моделей BERTopic. В результате LDA сгенерировал 100 тем, в то время как BERTopic сформировал 1101 тему. Также построенный семантический граф, основанный на иерархической структуре и содержащий в своей основе синонимичные пары терминов, найденных посредством механизма поиска неявных связей между терминами внутри каждой предметной области, позволил найти новые группы связанных терминов и новый тематический кластер. Результаты первичного анализа представлены на рисунке 1. в виде семантического графа на примере набора из международной базы знаний медицинских публикаций PubMed, реферативно-аналитической базы данных Dimensions AI и международного словаря медицинских терминов UMLS.

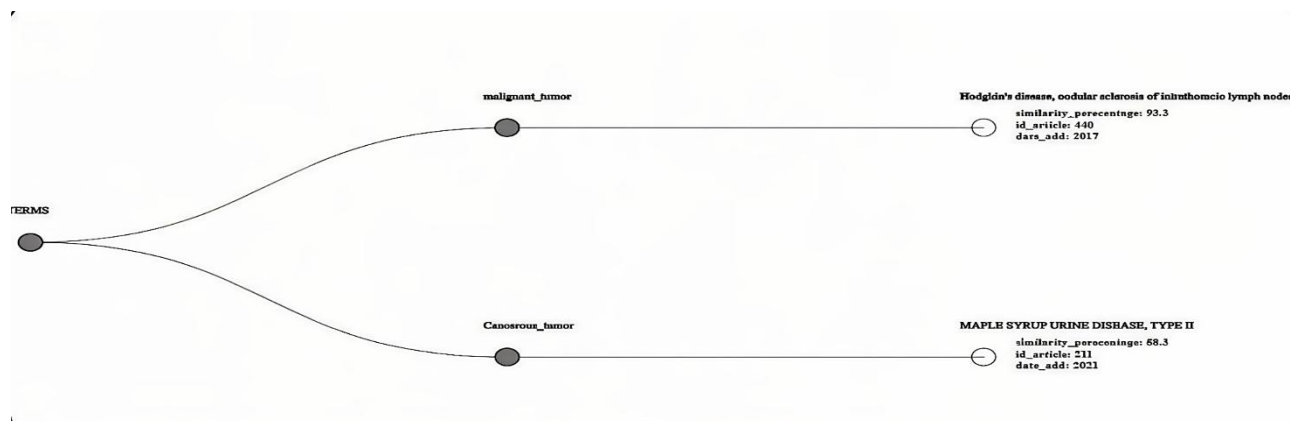


Рис. 1. Семантический граф поиска неявных связей между терминами
Fig. 1. Semantic graph of the search for implicit relationships between terms

Построенный семантический граф, основанный на иерархической структуре и содержащий в своей основе синонимичные пары терминов, представленный на рисунке 1 задействует в своей основе объединенную математическую модель поиска неявных связей между терминами. Связи между диагнозами на рисунке 1 отображаются стрелками. Диагнозы заболеваний подтягиваются из международного словаря медицинских терминов UMLS и отображаются в интерфейсе в виде закрашенных серых кругов. Белые круги на рисунке 1 отображают данные по заболеваниям из международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и реферативно-аналитической базы данных Dimensions AI. Каждому заболеванию отображенному в белом круге соответствует id-номер статьи (id_article), дата публикации статьи (date_add), % соответствия статьи диагнозу заболевания в сером круге (similarity_percentage) из базы данных Dimensions AI и PubMed. В представленном на рисунке 1 семантическом графе можно рассмотреть основной кластер, ассоциированный с онкологическими заболеваниями (серые круги), и подкластер, связанный с аутоиммунными

процессами (белые круги). Белые круги, представляющие статьи из PubMed/Dimensions AI, часто находятся на стыке кластеров, что подтверждает их роль в установлении междисциплинарных связей.

Карты меж тематических расстояний на основе диаграмм Венна иллюстрируют связи и различия между темами в рамках нескольких предметных областей. Эти визуальные представления отображают степень корреляции между темами. Расстояния между точками на этих картах символизируют сходство и различие между соответствующими темами. Результаты карт меж темных расстояний на основе диаграмм Венна представлены на рисунках 2 и 3.

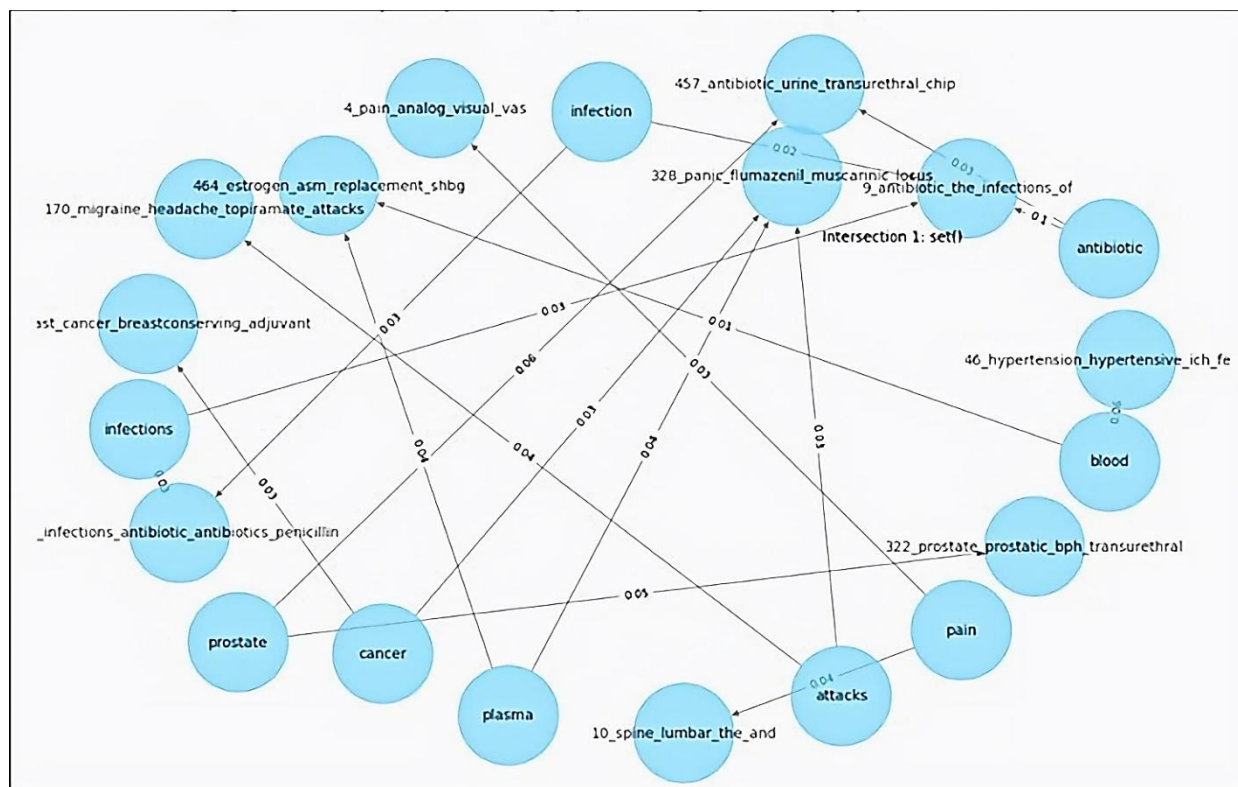


Рис. 2. Результаты карты меж темных расстояний на основе диаграммы Венна
Fig. 2. Results of the inter-dark distance map based on the Venn diagram

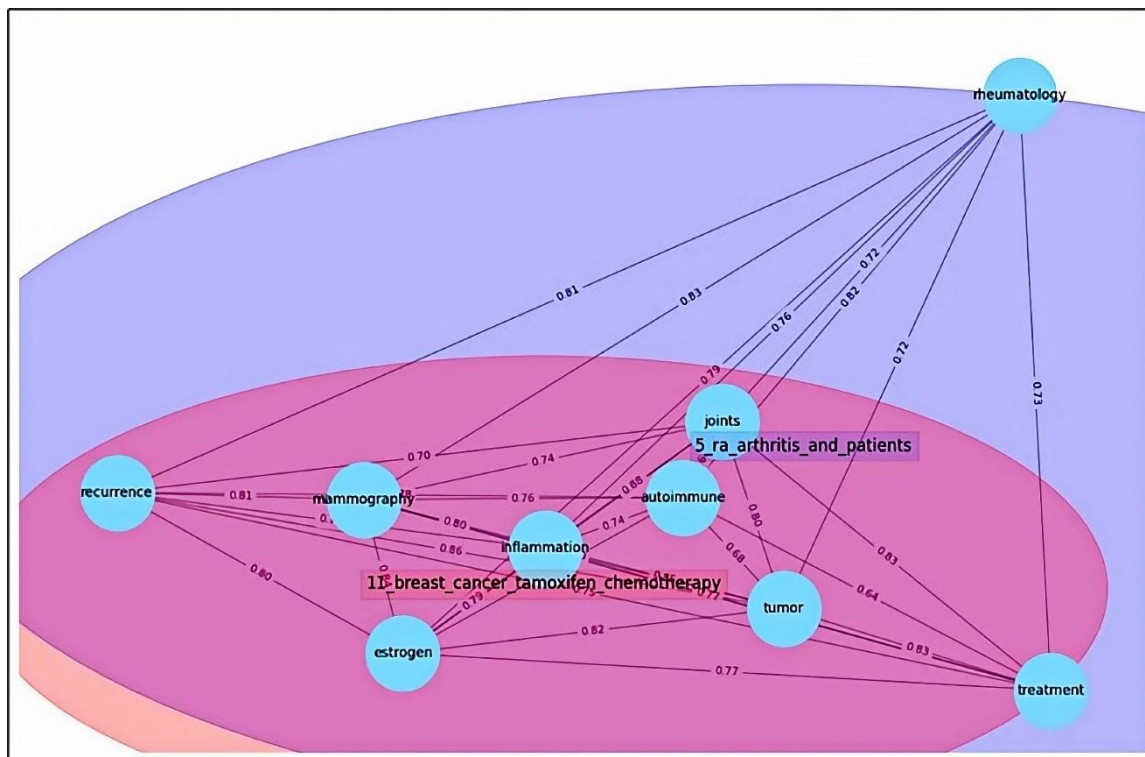


Рис. 3. Результаты карты меж темных расстояний на основе диаграммы Венна с семантическим схождением терминов по 2-ум тематическим кластерам

Fig. 3. Results of a map of inter-dark distances based on a Venn diagram with semantic convergence of terms across 2 thematic clusters

Представленные выше рисунки 2 и 3 карт меж тематических расстояний на диаграмме Венна иллюстрируют связи различных тематических кластеров, построенных на основе методов LDA и BERTopic на примере набора из международной базы знаний медицинских публикаций PubMed, реферативно-аналитической базы данных Dimensions AI и международного словаря медицинских терминов UMLS. Пересечение тематических кластеров происходит в узловых точках терминов. При наложении терминов в рамках 2 тематических кластеров отображается числовая мера приближения, выраженная в вероятности семантического схождения термина из 1-го тематического кластера (пример: «11_breast_cancer_tamoxifen_chemotherapy») к термину из 2-го тематического кластера (пример: «5_ra_arthritis_and_patients») (рисунок 3). Кластер «11_breast_cancer_tamoxifen_chemotherapy» демонстрирует значительное перекрытие (25%) с кластером «5_ra_arthritis_and_patients», что указывает на обширную семантическую близость в области исследования воспалительных процессов. Узловые точки в пересечении тематических кластеров, такие как «inflammation» и «treatment», являются семантическими «мостами» между этими предметными областями. Результаты по семантическому схождению терминов представлены на рисунке 4. Исходя из представленных на рисунке 4 результатов, можно сделать следующие выводы:

- Термин «tumor» демонстрирует высокую семантическую близость с терминами первого кластера (значения до 0,9). Это может указывать на общие патологические механизмы (например, воспаление при раке и аутоиммунных заболеваниях).
- Термин «treatment» во втором кластере имеет низкую связь (0,76) с некоторыми терминами первого кластера, что объясняется разницей в контекстах (например, химиотерапия и противовоспалительная терапия).
- Термин «recurrence» (рецидив) демонстрирует умеренные значения (~0,85), что связано с универсальностью понятия для разных заболеваний.
- Методы LDA и BERTopic выделяют значимые семантические связи между разнородными

медицинскими кластерами, особенно в областях диагностики (mammography) и патогенеза (tumor, inflammation).

Результаты семантического схождения терминов, представленные на рисунке 4. количественно подтверждают наблюдения с семантического графа (рисунок 1) и диаграмм Венна (рисунки 2-3.). Высокие значения схождения для термина «tumor» (~0.9) с терминами кластера «5_ra_arthritis_and_patients» свидетельствуют о его центральной роли в обоих направлениях исследований. Низкие значения для термина «treatment» (0.76) объясняются различной спецификой терапии в онкологии и ревматологии.

Index	Термины	Термины из тематического кластера "Arthritis_and_pations"					Термины из тематического кластера "Breast_cancer_tamoxifen_chemotherapy"					Термины
		inflammation	joints	autoimmune	rheumatology	treatment	mammography	tumor	estrogen	treatment	recurrence	
2							0,87	0,9	0,84	0,88	0,88	inflammation
3							0,84	0,88	0,83	0,87	0,85	joints
4							0,79	0,83	0,86	0,76	0,86	autoimmune
5							0,91	0,86	0,87	0,87	0,87	rheumatology
6							0,87	0,86	0,8	1	0,84	treatment
7	mammography	0,87	0,84	0,79	0,91	0,87						
8	tumor	0,9	0,88	0,83	0,86	0,86						
9	estrogen	0,84	0,83	0,86	0,87	0,8						
10	treatment	0,88	0,87	0,76	0,87	1						
11	recurrence	0,88	0,85	0,86	0,87	0,84						

Рис. 4. Результаты по семантическому схождению терминов 2-ух тематических кластеров

Fig. 4. Results on the semantic convergence of terms in 2 thematic clusters

Проведенный анализ выявил фундаментальную проблему тематического моделирования: формирования новых неявных семантических связей и поиска оптимального количества тем. В рамках исследования, основанного на анализе данных из международных ресурсов (PubMed, Dimensions AI, UMLS), предложенный метод оптимизации с четырьмя оценочными критериями продемонстрировал следующие результаты: критерий сложности достиг значения 4, а показатель согласованности — 32. Эти данные подтверждают, что использование параметра сложности на уровне 4 эффективно для выявления семантических взаимосвязей между кластерами. Значение согласованности в 32 балла указывает на перспективность метода, которая может быть усилена за счет оптимизации алгоритмов и интеграции дополнительных источников информации. Все критерии были успешно интегрированы в математическую модель, предназначенную для обнаружения скрытых связей между медицинскими терминами.

Использование математической модели поиска неявных связей между терминами позволило рассматривать статическую модель с учетом времени. Теперь формирование оптимального количества тематических кластеров на основе моделей LDA и BERTopic позволило выделять тренд по каждому термину внутри каждой темы. Результаты в виде гистограммы построения модели тренда по каждому термину внутри каждой темы представлены на рисунке 5.

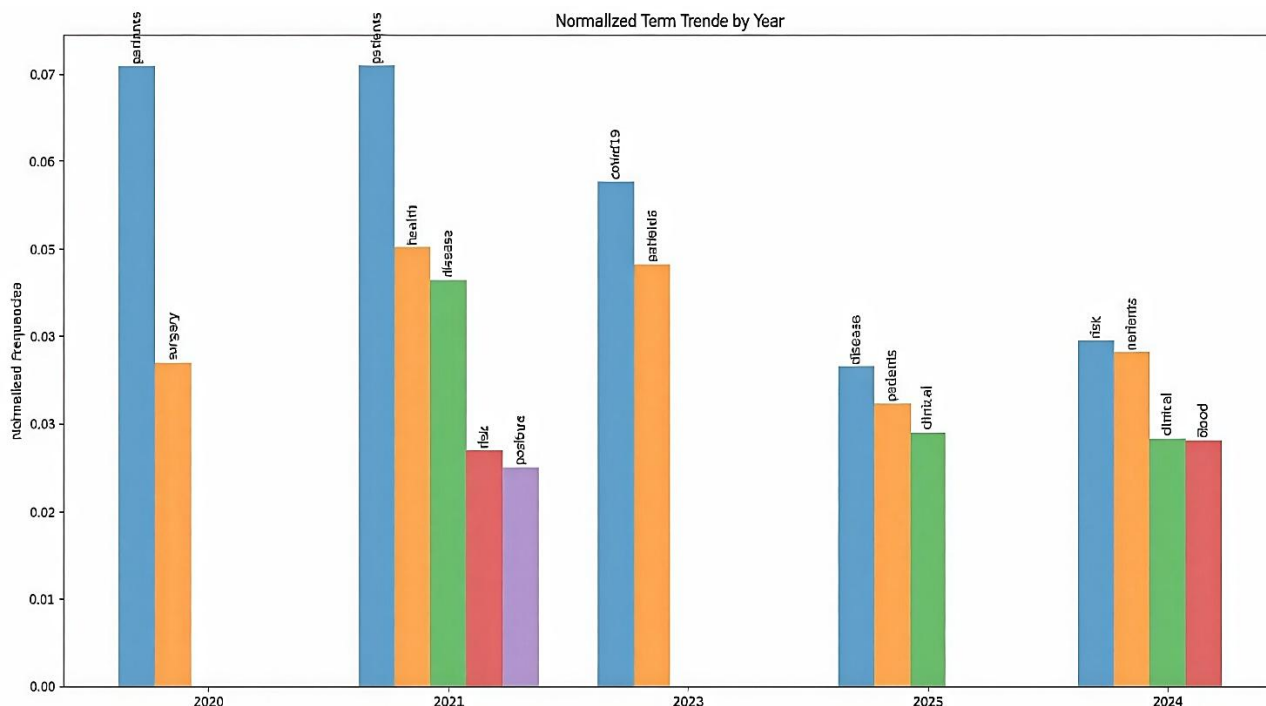


Рис. 5. Результаты построения модели тренда по каждому термину внутри каждой темы
Fig. 5. The results of building a trend model for each term within each topic

Результаты в виде гистограммы построения модели тренда на основе набора данных из международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и реферативно-аналитической базы данных Dimensions AI, представленные на рисунке 5 позволили проследить эволюцию тем с выделением тренда по каждому термину внутри каждой темы и помогли исследователям из различных отраслей понять взаимосвязи между темами и терминами в содержании мультимодальных текстов, а также их эволюцию с течением времени.

Анализ тренда по каждому термину внутри каждой темы публикаций набора данных из международной базы знаний медицинских публикаций PubMed и реферативно-аналитической базы данных Dimensions AI демонстрируют возросший научный интерес к области Covid19, охватывающей период 2023 г [5]. Из гистограммы на рисунке 5 очевиден резкий рост частоты встречаемости терминов в публикациях области Covid19, по-видимому, благодаря результатам деятельности Международного консорциума по тяжёлым острым респираторным и новым инфекционным заболеваниям (International Severe Acute Respiratory and emerging Infection Consortium, ISARIC) в части противодействия заболеванию Covid19 [5].

Анализ тренда по каждому термину проводился на корпусе из 7169 медицинских публикаций (PubMed: 2000, Dimensions AI: 5169). Экспериментально подтверждено преимущество предложенной математической модели поиска неявных связей между терминами, позволяющей рассматривать статическую модель с учетом времени. Результатами использования математической модели служит выявление 147 новых семантических связей между терминами, не представленных в исходном тезаурусе UMLS.

Полученные в рамках исследования результаты могут быть использованы для автоматизации процесса обновления и расширения тезаурусов, а также для улучшения качества поиска информации. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку интерактивных инструментов, позволяющих пользователям исследовать полученные кластеры и самостоятельно выявлять новые связи и тренды в развитии тезаурусов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тематическое моделирование остается основным инструментом в управлении огромными объемами данных, помогая улучшать поиск информации и понимание контекста. Поскольку сложность и объем данных продолжают расти, тематическое моделирование остается незаменимым решением для извлечения информации из неструктурированных текстов.

В рамках данного исследования предложен метод определения оптимального количества тематических кластеров на пересечении предметных областей, основанный на интеграции алгоритмов LDA и BERTopic с математической оптимизацией. Основной акцент сделан на решении двух взаимосвязанных задач:

1. Оптимизации количества тем через комбинирование метрик перплексии и семантической связности, что позволило минимизировать шум и максимизировать интерпретируемость моделей.
2. Анализа эволюции тем с выделением трендов для каждого термина, что обеспечило возможность отслеживания динамики научных интересов и семантических сдвигов во времени.

Применение предложенного подхода к данным из PubMed и Dimensions AI продемонстрировало его эффективность. Семантические графы и диаграммы Венна визуализировали неявные связи между терминами, например, между патологическими процессами (воспаление, опухоль) и методами диагностики. Анализ трендов выявил резкий рост упоминаний терминов, связанных с Covid-19 в 2023 году, что коррелирует с активностью научного сообщества в этой области. Гистограммы эволюции тем подтвердили возможность автоматизации выявления долгосрочных и краткосрочных научных трендов. Кроме того, благодаря математической модели стало возможно более глубоко понимать содержание, представленное в статьях об исследованиях в медицинской и иных областях знаний.

Практическая значимость исследования заключалась в автоматизации обновления тезаурусов за счет динамического анализа семантических связей и улучшении точности поисковых систем через уточнение тематических кластеров.

Список литературы

1. Юрчак В.А. Инструменты решения проблем распознавания и кластеризации данных из документов методами машинного обучения / Золотарев О.В., Юрчак В.А. // ИВД. – 2023. – № 2 (98). – С. 156-164.
2. Корней А.О. Семантико-статистический алгоритм определения категорий аспектов в задачах сентимент-анализа / Корней А.О., Крючкова Е.Н. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – №6 (216). – С. 66-74.
3. Клименко С.В. Использование онтологического подхода для анализа текстов естественного языка / Клименко С.В., Золотарев О.В., Шарин М.М. // Вестник российского нового университета. Серия: сложные системы: модели, анализ и управление. – 2017. – С. 67-71.
4. Хакимова А.Х. Подходы к созданию многоязычного лексического ресурса для семантометрической оценки межъязыкового семантического подобия текстов / Хакимова А.Х., Золотарев О.В., Шарин М.М. // Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Научно-исследовательский центр физико-технической информатики. – 2019. – С. 319-324.
5. Золотарев О.В., Хакимова А.Х., Шарин М.М. Разработка методов интеллектуального анализа научных публикаций для мониторинга приоритетных направлений развития превентивной и персонализированной медицины / О.В. Золотарев, А.Х. Хакимова, М.М. Шарин // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы». – 2019. – С. 110-117.
6. Методика построения ассоциативно-иерархического портрета предметной области: иерархия категорий / Клименко С.В. и др. // Автономная некоммерческая организация «Институт физико-технической информатики». – 2017. – С. 251-260.
7. Модель и технология извлечения новых терминов из медицинских текстов / Золотарев О.В. и др. // Информатика и ее Применения. – 2022. – С. 80-86.
8. Мера подобия текстов как инструмент оценки интертекстуальности при анализе больших коллекций документов / Золотарев О.В. и др. // Вестник российского нового университета. Серия: сложные системы: модели, анализ и управление. – 2016. – С. 62-71.
9. Программа выделения терминов из корпуса текстов / Золотарев О.В. и др. // Автономная

некоммерческая организация высшего образования «Российский новый университет». – 2023. – С. 1-2.

10. Программа построения структурированного корпуса текстов на основе электронных баз публикаций / Золотарев О.В. и др. // Автономная некоммерческая организация высшего образования «Российский новый университет». – 2023. – С. 1-2.

11. Farea A., Tripathi Sh., Glazko G., Emmert-Streib F. Investigating the optimal number of topics by advanced text-mining techniques: Sustainable energy research // Engineering Applications of Artificial Intelligence. V. 136, part A. – 2024. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108877>.

12. Li Y., Wang W., Yan X., Gao M., Xiao M. Research on the Application of Semantic Network in Disease Diagnosis Prompts Based on Medical Corpus / International Journal of Innovative Research in Computer Science and Technology (IJRCST). – 2024. – 1-9 p. Available from: <https://doi.org/10.55524/ijrcst.2024.12.2.1>

13. Бручес Е.П. Методы и алгоритмы распознавания и связывания сущностей для построения систем автоматического извлечения информации из научных текстов: дис. на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Новосибирск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем информатики им. Ершова, 2021. – 112 с.

14. Дударин П.В. Исследование и разработка моделей и методов нечеткой кластеризации коротких текстов: дис. на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Ульяновск: «Ульяновский государственный технический университет», 2021. – 141 с.

15. Тутубалина Е.В. Модели и методы автоматической обработки неструктурированных данных в биомедицинской области: дис. доктора компьютерных наук. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2023. – 225 с.

16. Корней А.О. Методы и алгоритмы аспектного анализа тональности на основе гибридной семантико-статистической модели естественного языка: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Барнаул: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 2021. – 134 с.

References

1. Yurchak V.A. Tools for solving problems of recognition and clustering of data from documents using machine learning methods / Zolotarev O.V., Yurchak V.A. // IVD. – 2023. – No. 2(98). – 156-164 P.

2. Kornei A.O. Semantic-statistical algorithm for determining the categories of aspects in sentiment analysis problems / Kornei A.O., Kryuchkova E.N. // Bulletin of the Southern Federal University. Technical sciences. – 2020. – No. 6 (216). – 66-74 p.

3. Klimenko S.V. Using the ontological approach to analyze natural language texts / Klimenko S.V., Zolotarev O.V., Sharin M.M. // Bulletin of the Russian New University. Series: Complex Systems: Models, Analysis and Management. – 2017. – P. 67-71.

4. Khakimova A.Kh. Approaches to Creating a Multilingual Lexical Resource for Semantometric Assessment of Interlingual Semantic Similarity of Texts / Khakimova A.Kh., Zolotarev O.V., Sharnin M.M. / Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Research Center for Physics and Engineering Informatics. – 2019. – P.319-324.

5. Zolotarev O.V., Khakimova A.Kh., Sharnin M.M. Development of Methods for Intelligent Analysis of Scientific Publications to Monitor Priority Directions for the Development of Preventive and Personalized Medicine / O.V. Zolotarev, A.Kh. Khakimova, M.M. Sharnin // Bulletin of the Russian New University. Series "Complex Systems". – 2019. – P. 110-117.

6. Methodology for constructing an associative-hierarchical portrait of a subject area: hierarchy of categories / Klimenko S.V. et al. // Autonomous Non-Commercial Organization "Institute of Physical and Technical Informatics". – 2017. – P. 251-260.

7. Model and technology for extracting new terms from medical texts / Zolotarev O.V. et al. // Informatics and its Applications. – 2022. – 80-86 p.

8. The measure of similarity of texts as a tool for assessing intertextuality in the analysis of large collections of documents / Zolotarev O.V. et al. // Bulletin of the Russian New University Series: complex systems: models, analysis, and management. – 2016. – 62-71 p.

9. Program for the allocation of terms from the corpus of texts / Zolotarev O.V. et al. // Autonomous non-profit organization of Higher Education "Russian New University" – 2023. – 1-2 p.

10. A program for building a structured corpus of texts based on electronic databases of publications / Zolotarev O.V. et al. // Autonomous non-profit organization of Higher Education "Russian New University" – 2023. – 1-2 p.

11. Farea A., Tripathi Sh., Glazko G., Emmert-Streib F. Investigating the optimal number of topics by advanced

text-mining techniques: Sustainable energy research // Engineering Applications of Artificial Intelligence. V. 136, part A. – 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108877>.

12.Li Y., Wang W., Yan X., Gao M., Xiao M. Research on the Application of Semantic Network in Disease Diagnosis Prompts Based on Medical Corpus / International Journal of Innovative Research in Computer Science and Technology (IJRCST). – 2024. – 1-9 p. Available from: <https://doi.org/10.55524/ijrcst.2024.12.2.1>

13.Bruches E.P. Methods and algorithms for recognizing and linking entities for building systems for automatic extraction of information from scientific texts: dis. for the degree of candidate of technical sciences. – Novosibirsk: Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Informatics Systems named after Ershov, 2021. – 112 p.

14.Dudarin P.V. Research and development of models and methods for fuzzy clustering of short texts: dis. for the degree of candidate of technical sciences. – Ulyanovsk: "Ulyanovsk State Technical University", 2021. – 141 p.

15.Tutubalina E.V. Models and methods of automatic processing of unstructured data in the biomedical field: dis Doctor of Computer Science – Kazan: Kazan (Volga Region) Federal University, 2023 – 225 p.

16.Korney A.O. Medical Methods and scientific algorithms of the aspect analysis table for determining tonality based on the corpus of a hybrid presented semantic-statistical model of prompts of a natural language: dis. for the abso academic UMLS degree of Candidate of International Technical Semantic Sciences. – Barnaul: allocation of the Federal semantic state budgetary foreign educational institution of higher international education "International Altai State Medical Technical University named after I.I. Polzunov", the consequence of 2021. – 134 p.

Юрчак Владимир Александрович, аспирант 3-го года обучения кафедры ИСЭУ, АНО ВО «Российский новый университет (РосНОУ)», г. Москва, Россия

Yurchak Vladimir Alexandrovich, 3rd year postgraduate student of the ISEU Department, Russian New University (RosNOU), Moscow, Russia