

ISSN 2686-679X

ВЕСТНИК РГГУ

Серия
«Информатика.
Информационная безопасность.
Математика»

Научный журнал

RSUH/RGGU BULLETIN

“Information Science.
Information Security. Mathematics”
Series

Academic Journal

Основан в 2018 г.
Founded in 2018

2
2026

VESTNIK RGGU. Seriya "Informatica. Informacionnaya bezopasnost. Matematika"

RSUH/RGGU BULLETIN. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series
Academic Journal

There are 4 issues of the printed version of the journal a year.

Founder and Publisher

Russian State University for the Humanities (RSUH)

RSUH/RGGU BULLETIN. "Information Science. Information Security. Mathematics" series is included: in the Russian Science Citation Index; in the List of leading scientific magazines journals and other editions for publishing PhD research findings peer-reviewed publications fall within the following research area:

1.1.6. Computational Mathematics (physical and mathematical sciences)

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

2.3.8. Informatics and information processes (technical science)

Objectives and areas of research

RSUH/RGGU BULLETIN. "Information Science. Information Security. Mathematics" series publishes the results of research by scientists from RSUH and other universities and other Russian and foreign academic institutions. The areas covered by contributions include theoretical and applied computer science, up-to-date IT, means and technologies of information protection and information security as well as the issues of theoretical and applied mathematics including analytical and imitation models of different processes and objects. Special emphasis is put on articles and reviews covering research in indicated directions in the areas of social and humanitarian problems and also issues of personnel training for these directions.

RSUH/RGGU BULLETIN. "Information Science. Information Security. Mathematics" series is registered by Federal Service for Supervision of Communications Information Technology and Mass Media. 25.05.2018, reg. No. FS77-72977

Editorial staff office: bldg. 6, bld. 6, Miusskaya sq., Moscow, Russia, 125047

e-mail: dalex@inbox.ru

ВЕСТНИК РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика»
Научный журнал

Выходит 4 номера печатной версии журнала в год.

Учредитель и издатель – Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ)

ВЕСТНИК РГГУ, серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика», включен: в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ); в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям наук:

1.1.6. Вычислительная математика (физико-математические науки)

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

2.3.8. Информатика и информационные процессы (технические науки)

Цели и область

В журнале «Вестник РГГУ», серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика», публикуются результаты научных исследований ученых и специалистов РГГУ, а также других университетов и научных учреждений России и зарубежных стран. Направления публикаций включают теоретическую и прикладную информатику, современные информационные технологии, методы, средства и технологии защиты информации и обеспечения информационной безопасности, а также проблемы теоретической и прикладной математики, включая разработку аналитических и имитационных моделей процессов и объектов различной природы. Особое внимание уделяется статьям и обзорам, посвященным исследованиям по указанным направлениям в области социальных и гуманитарных проблем, а также вопросам подготовки кадров по соответствующим специальностям для данных направлений.

ВЕСТНИК РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика», зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 25.05.2018 г., регистрационный номер ПИ № ФС77-72977.

Адрес редакции: 125047, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Тверской, Мусская пл., д. 6, стр. 6

Электронный адрес: dalex@inbox.ru

Founder and Publisher

Russian State University for the Humanities (RSUH)

Editor-in-chief

E.N. Nadezhdin, Dr. of Sci. (Engineering), professor, Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russian Federation

Editorial Board

V.I. Korolev, Dr. of Sci. (Engineering), professor, The Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences (IPI RAN), Moscow, Russian Federation (*deputy editor-in-chief*)

D.A. Mityushin, Cand. of Sci. (Engineering), associate professor, Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russian Federation (*executive secretary*)

L.A. Aslanyan, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, corresponding member, Nacional Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Institute for Informatics and Automation Problems of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia

S.N. Baibekov, Dr. of Sci. (Engineering), professor, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Republic of Kazakhstan

S.B. Veprev, Dr. of Sci. (Engineering), professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation

G.S. Ivanova, Dr. of Sci. (Engineering), professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

V.M. Maximov, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russian Federation

R.S. Motul'skii, Dr. of Sci. (Pedagogics), professor, Institute of Modern Knowledge, Minsk, Republic of Belarus

Yu.I. Ozhigov, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

S.M. Sokolov, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russian Federation

V.A. Tsvetkova, Dr. of Sci. (Engineering), professor, Library for Natural Sciences of the RAS, Moscow, Russian Federation

Executive editor:

D.A. Mityushin, Cand. of Sci. (Engineering), associate professor,
Russian State University for the Humanities (RSUH)

Учредитель и издатель

Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ)

Главный редактор

Е.Н. Надеждин, доктор технических наук, профессор, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Российская Федерация

Редакционная коллегия

В.И. Королев, доктор технических наук, профессор, ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва, Российская Федерация (*заместитель главного редактора*)

Д.А. Митюшин, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Российская Федерация (*ответственный секретарь*)

Л.А. Асланян, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Республики Армения, Институт проблем информатики и автоматизации НАН Республики Армения, Ереван, Республика Армения

С.Н. Байбеков, доктор технических наук, профессор, Казахский университет технологий и бизнеса, Астана, Республика Казахстан

С.Б. Вепрев, доктор технических наук, профессор, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (РАНХиГС), Москва, Российская Федерация

Г.С. Иванова, доктор технических наук, профессор, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

В.М. Максимов, доктор физико-математических наук, профессор, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Российская Федерация

Р.С. Мотульский, доктор педагогических наук, профессор, Институт современных знаний, Минск, Республика Беларусь

Ю.И. Ожигов, доктор физико-математических наук, профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Российская Федерация

С.М. Соколов, доктор физико-математических наук, профессор, Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Российская Федерация

В.А. Цветкова, доктор технических наук, профессор, Библиотека по естественным наукам РАН, Москва, Российская Федерация

Ответственный за выпуск:

Д.А. Митюшин, кандидат технических наук, доцент,
Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ)

CONTENTS

Information Science

<i>Irina A. Vysotskaya</i> Predictive models using clustering and regression methods	8
<i>Dzhakhed Rakhmani, Dmitrii V. Selivanov</i> Architectural patterns for integrating information system components	21
<i>Andrei P. Titov, Natalia V. Grishina, Dar'ya N. Titova</i> Development of a local face recognition-based photo gallery organizer with multi-face filtering	36
<i>Dzhakhed Rakhmani, Andrei D. Rybakov</i> Hybrid models for demand forecasting in inventory management: design, experimental evaluation, and integration with ERP/WMS	59

Information Security

<i>Valerii V. Arutyunov, Natalia V. Grishina</i> Dynamics of the formation of a knowledge cluster in the field of applying Artificial Intelligence in solving information security problems	68
<i>Galina A. Shevtsova, Kirill P. Dobrinov</i> Automated fact-checking using Artificial Intelligence technologies in information security tasks	81

Mathematics

<i>Oleg L. Bozиеv, Alim O. Gurtuev</i> Mathematical models of the local market of agricultural products with limited demand	96
---	----

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика

<i>Ирина А. Высоцкая</i> Прогнозирующие модели с использованием методов кластеризации и регрессии	8
<i>Джахед Рахмани, Дмитрий В. Селиванов</i> Архитектурные паттерны интеграции компонентов информационных систем	21
<i>Андрей П. Титов, Наталия В. Гришина, Дарья Н. Титова</i> Разработка локального органайзера фотогалереи на основе распознавания с многофакторной фильтрацией лиц	36
<i>Джахед Рахмани, Андрей Д. Рыбаков</i> Гибридные модели прогнозирования спроса для управления складскими запасами: дизайн, экспериментальная оценка и интеграция с ERP/WMS	59

Информационная безопасность

<i>Валерий В. Арутюнов, Наталия В. Гришина</i> Динамика формирования кластера знаний в области применения искусственного интеллекта при решении задач обеспечения информационной безопасности	68
<i>Галина А. Шевцова, Кирилл П. Добринов</i> Автоматизированная проверка фактов с использованием технологий искусственного интеллекта в задачах информационной безопасности	81

Математика

<i>Олег Л. Бозиев, Алим О. Гуртуев</i> Математические модели локального рынка сельскохозяйственной продукции с ограниченным спросом	96
---	----

Прогнозирующие модели с использованием методов кластеризации и регрессии

Ирина А. Высоцкая

*Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина, Воронеж, Россия, i.a.trishina@gmail.com*

Аннотация. Рассматривается комплексный подход к решению задач прогнозирования для многомерных данных посредством сочетания двух популярных статистических методов: кластеризации и регрессии. В работе предлагается методика построения модели кластерной регрессии для многомерных данных, отличительной особенностью которой является подбор степени аппроксимирующего полинома в зависимости от неоднородности описываемых данных.

Представлен краткий обзор публикаций о методах решения задач прогнозирования, в частности о кластерной линейной регрессии. Представлена математическая постановка задачи. Ключевая идея работы состоит в разделении всего набора данных на кластеры и последующем построении индивидуальных регрессионных моделей. Для каждого кластера строится модель линейной регрессии, основанная на расстоянии объектов до центроида, что снижает влияние шумовых и пограничных наблюдений. Если качество полученной модели неудовлетворительное, то предлагается полиномиальная модель, степень которой выбирается на основе анализа разности между ошибкой обучения и ошибкой валидации, что позволяет избежать переобучения и обеспечить оптимальный баланс между сложностью модели и ее обобщающими способностями. В работе приводится иллюстративный пример реализации предложенной методики на наборе данных анкетирования студентов, демонстрирующий значительное улучшение показателей точности и интерпретируемости по сравнению с традиционными методами моделирования.

Ключевые слова: кластеризация, линейная регрессия, полиномиальная регрессия, анализ многомерных данных, центроид

Для цитирования: Высоцкая И.А. Прогнозирующие модели с использованием кластеризации и регрессии // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2026. № 2. С. 8–20. DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-8-20

Predictive models using clustering and regression methods

Irina A. Vysotskaya

*Air force academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin,
Voronezh, Russia, i.a.trishina@gmail.com*

Abstract. A comprehensive approach to solving forecasting problems for multidimensional data is proposed by combining two popular methods: clustering and regression. This paper proposes a method for constructing a cluster regression model for multivariate data. Its distinguishing feature is the selection of the degree of the approximating polynomial based on the heterogeneity of the data being described.

This paper provides a brief overview of publications on methods for solving forecasting problems, particularly cluster linear regression. A mathematical formulation of the problem is presented. The key idea of the paper is to divide the entire dataset into clusters and then construct individual regression models. For each cluster, a linear regression model is constructed based on the distance of objects to the centroid, which reduces the impact of noisy and outlying observations. If the quality of the resulting model is unsatisfactory, a polynomial model is proposed. The degree of the polynomial model is selected based on an analysis of the difference between the training and validation errors. This avoids overfitting and ensures an optimal balance between model complexity and its generalization ability. The paper provides an illustrative example of the implementation of the proposed method on a set of student survey data, demonstrating a significant improvement in accuracy and interpretability compared to traditional modeling methods.

Keywords: clustering, linear regression, polynomial regression, multivariate data analysis, centroid

For citation: Vysotskaya, I.A. (2026), "Predictive models using clustering and regression methods", *RSUH/RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series*, no. 2, pp. 8–20, DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-8-20

Введение

Анализ сложных многомерных данных, обеспечивающий глубокое понимание их внутренней структуры, помогает успешно решать задачи прогнозирования и принятия решений.

Нейронные сети [Удилов 2024], деревья решений [Маликов 2022, с. 27], линейная и нелинейная регрессия [Линке 2024]

активно используются для решения задач прогнозирования. Такая вариативность обусловлена тем, что каждый из методов имеет свои преимущества в определенных областях. Так, например, линейные методы прогнозирования отличаются простотой восприятия и одновременно высокой эффективностью. Однако точность линейных методов на всем множестве многомерных данных объективно может быть неудовлетворительной. Вследствие этого при построении математических моделей прогнозирования для сложных структур естественным образом появляется необходимость в предварительном объединении переменных в однородные классы. Таким образом, работая с набором данных, можно сначала провести кластеризацию, а затем использовать результаты кластеризации, чтобы построить регрессионную модель, учитывая как индивидуальные характеристики, заложенные в каждом из признаков, так и особенности их кластеров.

Материалы работы [Таскин и др. 2013] позволяют оценить влияние порожденных бинарных признаков на точность прогнозирования линейной регрессии путем рассмотрения гибридных методов прогнозирования, основанных на линейной регрессии.

Исследования, представленные в работах [Camps-Valls et al. 2002; Ari, Guvenir 2002], позволяют повысить точность модели линейной регрессии путем предварительной кластеризации.

Авторы статьи [Носков, Беляев 2025, с. 88–89] приводят обзор исследований по различным аспектам построения, исследования и применения кластерной линейной регрессии, в частности, рассмотрена процедура тестирования данных для определения приемлемого уровня их кластеризации.

На основании проведенного обзора литературы можно сделать вывод, что, соединяя кластеризацию и регрессию, можно добиться более точных и интерпретируемых моделей. Однако в данных не всегда прослеживаются линейные зависимости, и, как следствие, модель линейной регрессии не будет являться информативной. В связи с этим актуальной является задача учета нелинейных зависимостей в каждом из кластеров, а также разработки подхода, сочетающего в себе интерпретируемость регрессионных моделей и возможность учета нелинейных связей. Целью данного исследования является разработка методики построения модели кластерной регрессии для многомерных данных, отличительной особенностью которой является подбор степени аппроксимирующего полинома, в зависимости от неоднородности описываемых данных.

Постановка задачи

Пусть у нас имеется множество матриц признаков объектов, и на основе этих данных необходимо найти скрытые взаимосвязи и описать их с помощью регрессионной модели.

Представим данные в виде матрицы характеристик X_{ij} , $i \in I = \{1, \dots, n\}$, $j \in J = \{1, \dots, m\}$, где строки могут представлять объекты (например, пользователи или товары), а столбцы – характеристики (например, атрибуты или экспертные оценки). Каждый элемент матрицы содержит значение, отражающее связь между объектом и характеристикой.

Пусть существует K таких матриц характеристик одинаковой размерности X_{ij}^k , $1 \leq k \leq K$. Осуществим кластеризацию матриц характеристик для дальнейшего их использования в модели регрессии. Такой подход позволяет использовать меньше трудозатрат при дальнейшем анализе. Следует отметить, что для кластеризации допускается использовать только те признаки, которые не коррелируют с целевой переменной и не содержат информацию о ней.

Расстояние между двумя матрицами можно определить по следующей формуле:

$$d = d(X_{ij}^l, X_{ij}^h) = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij}^l - X_{ij}^h)^2}.$$

Если матрицу X_{ij}^k представить в виде вектора

$$\overrightarrow{X_{ij}^k} = (x_{11}^k, x_{12}^k, \dots, x_{1n}^k, x_{21}^k, x_{22}^k, \dots, x_{nm}^k),$$

то расстояние между двумя матрицами можно описать как

$$d = d(X_{ij}^l, X_{ij}^h) = d(\overrightarrow{X_{ij}^l}, \overrightarrow{X_{ij}^h}).$$

Таким образом, будут K векторов размерности $m \times n$, соответствующих матрицам характеристик, к которым применимы известные алгоритмы кластеризации для векторных объектов, например, алгоритмы *DBSCAN*, *OPTICS*, *Mean Shift*, *Agglomerative Clustering*, *KMeans++*. Каждый из этих алгоритмов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор подходящего метода зависит от конкретной задачи и структуры данных [Кротов и др. 2016; Беликова и др. 2018].

После кластеризации множество всех матриц характеристик X_{ij}^k будет разбито на несколько кластеров. Для каждого из кластеров можно построить модель регрессии для определения значимых признаков. Тогда для каждого кластера необходимо провести выбор определяющего представителя. Таким объектом будет центроид кластера, который определяется по формуле:

$$C_e = \begin{pmatrix} \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r x_{11}^i & \cdots & \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r x_{1m}^i \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r x_{n1}^i & \cdots & \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r x_{nm}^i \end{pmatrix},$$

где r – количество матриц в кластере, $1 \leq e \leq E$, E – количество кластеров.

Далее, для каждой матрицы X_{ij}^k находим расстояние до центроида кластера, в котором она находится

$$z_{ik} = \|X_{ij}^k - C_e\|.$$

Опишем модель линейной регрессии в следующем виде:

$$Y_e = \sum_{i=1}^r \beta_i^e z_{ik} + \beta_0,$$

где z_{ik} – расстояние от i матрицы до соответствующего центроида кластера;

k, β_i^e – параметры модели, $1 \leq e \leq E$;

E – количество кластеров.

Для оценки качества полученной модели линейной регрессии стоит использовать коэффициент детерминации R^2 и среднеквадратическую ошибку MSE . При $R^2 < 0,8$ можно утверждать, что данные плохо объясняются линейной зависимостью [Гмурман 2021], и необходимо использовать другую, более сложную модель – полиномиальную регрессию:

$$Y_e = \sum_{i=1}^r \sum_{d=1}^p \beta_{id}^e (z_{ik})^d + \beta_0$$

где z_{ik} – расстояние от i матрицы до соответствующего центроида кластера;

k, β_{id}^e – параметры модели, $1 \leq e \leq E$;

E – количество кластеров;

d – степень полинома.

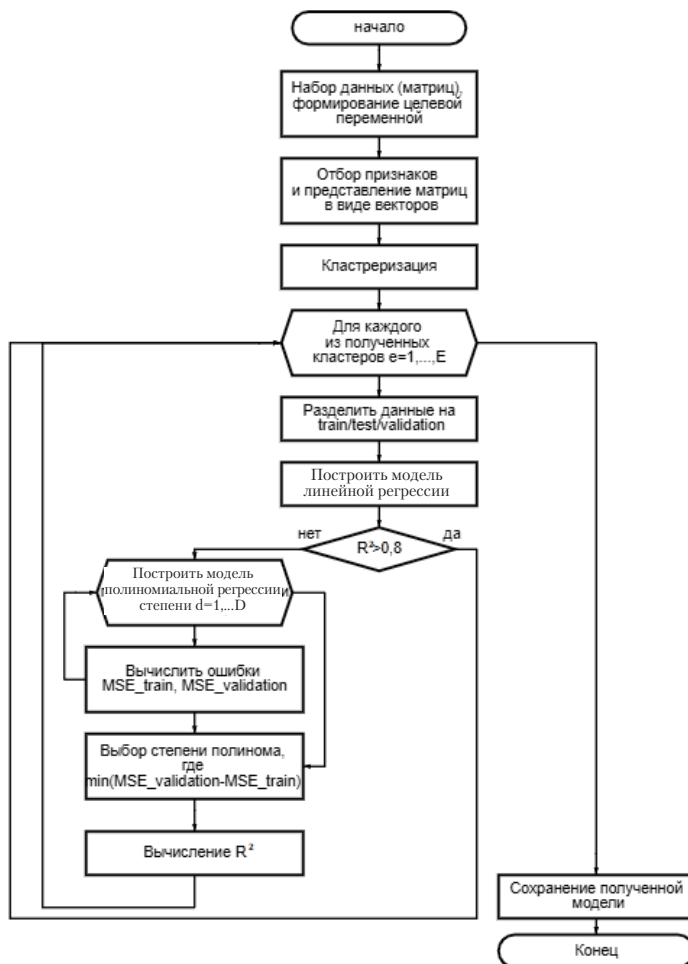


Рис. 1. Обобщенный алгоритм построения модели кластерной регрессии

Полиномы высокой степени могут хорошо описывать данные, однако могут быть переобучены, что приводит к ошибочным прогнозам. Для определения степени полинома необходимо проанализировать разность между ошибкой обучения и ошибкой валидации. Для наглядности можно использовать график сложности модели, где горизонтальная ось представляет степень нескольких моделей полиномиальной регрессии, а вертикальная ось – значение ошибки модели MSE . На графике должны быть изображены полученные ошибки обучения и валидации для моделей различных степеней. Оптимальная степень определяется как значение, при котором ошибка на валидационной выборке достигает минимума, что позволяет обеспечить баланс между смещением и дисперсией модели и избежать переобучения. Практические реализации показывают, что полиномы выше третьей степени чаще подвержены переобучению и не имеют явной интерпретации.

На рис. 1 представлен обобщенный алгоритм построения модели кластерной регрессии, отличительной особенностью которого является подбор степени аппроксимирующего полинома, в зависимости от неоднородности описываемых данных.

Таким образом, с помощью предложенной методики будет построена регрессионная модель для каждого из кластеров и может быть определен вклад каждого из признаков через коэффициенты регрессии.

Практическая реализация

Рассмотрим программную реализацию предложенного метода на открытом наборе данных *Turkiye Student Evaluation*¹, в котором содержатся результаты анкетирования 5820 студентов университетов Турции по оценке курса обучения по 33 признакам. В набор данных входят как категориальные признаки, например, семестр обучения, так и порядковые, например, оценка преподавания. Фрагмент набора данных представлен в табл. 1, где *instr* – идентификатор преподавателя, *class* – идентификатор курса, *nb.repeat* – количество прохождений курса студентом, *attendance* – посещаемость (от 1 до 5), *difficulty* – оценка сложности курса (от 1 до 5), $Q_1 \dots Q_{28}$ – ответы студентов на утверждения, например «Материал

¹ Gunduz N., Fokoue E. UCI Machine Learning Repository. University of California, Irvine, School of Information and Computer Sciences, 2013. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/adilshamim8/turkiye-student-evaluation> (дата обращения 23.12.2025).

был понятен», «Преподаватель был хорошо подготовлен» и т. д. Отдельно стоит отметить, что в данном датасете отсутствуют пропуски и выбросы, поэтому дополнительной обработки не требуется. Целью экспериментального исследования является оценка эффективности модели кластерной регрессии для многомерных данных по сравнению с глобальной линейной и полиномиальной моделью и моделью линейной кластерной регрессии.

Таблица 1

<i>instr</i>	<i>class</i>	<i>nb.repeat</i>	<i>attendance</i>	<i>difficulty</i>	Q_1	Q_1		Q_{28}
1	1	1	4	4	5	5		5
1	1	1	4	4	4	4		4
1	1	2	3	3	3	4		4
....								
2	3	1	5	2	4	5		5

Построим модель, которая будет прогнозировать уровень удовлетворенности студентов учебным курсом на основе ответов анкетирования. Практическая значимость такой модели заключается в выявлении проблемных курсов и позволяет заранее оценить их трудность и уровень посещаемости.

В качестве целевой переменной возьмем среднее значение ответов на вопросы анкеты:

$$y_i = \frac{1}{28} \sum_{j=1}^{28} Q_{ij},$$

где Q_{ij} – ответ i -го студента на j -й вопрос. Целевая переменная отражает итоговую субъективную удовлетворенность курсом.

Для кластеризации данных возьмем два признака *difficulty* – сложность курса (отражает когнитивную нагрузку) и *attendance* – посещение занятий (отражает вовлеченность студента). Эти признаки не содержат информации о целевой переменной, что позволяет обеспечить интерпретируемость и корректность полученной модели. В качестве алгоритма кластеризации был использован *Kmeans*, и получены четыре кластера, которые описаны в табл 2.

Очевидно, глобальная модель не сможет корректно описать данные, потому что студенты с высокими и низкими оценками по результатам обучения, с разной степенью мотивации могут по-раз-

ному оценить курсы. Поэтому предварительная кластеризация по признакам *difficulty* и *attendance* помогает разделить студентов на группы, и далее в каждой группе строится своя локальная модель регрессии.

На рис. 2 представлен график сложности модели для кластера 1, отражающий зависимость ошибок обучения и валидации от степени полинома. Видно, что при увеличении степени полинома ошибка обучения убывает, тогда как ошибка валидации после достижения минимума начинает возрастать. Это указывает на эффект переобучения. Оптимальная степень полинома выбирается по минимуму разности валидационной ошибки и ошибки обучения, которая затем используется для построения финальной модели регрессии в соответствующем кластере. В данном случае для кластера 1 будет построена полиномиальная регрессия второй степени.

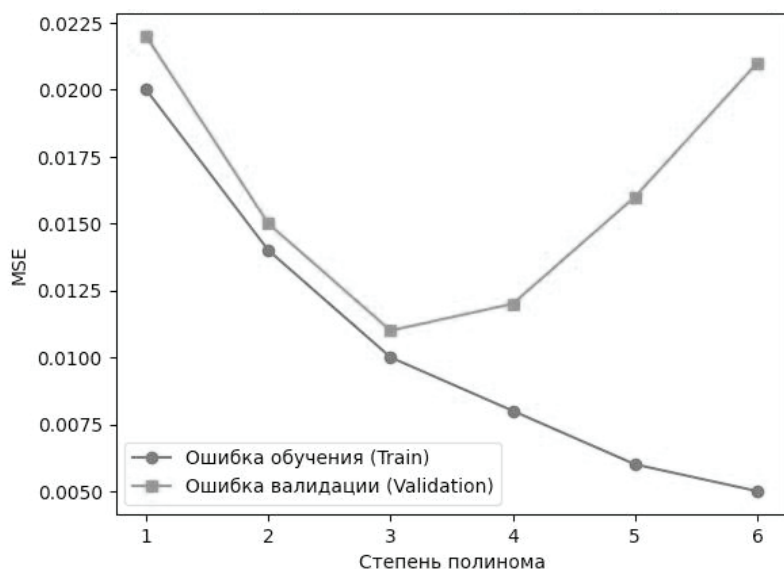


Рис. 2. График сложности модели (кластер 1)

Далее, для каждой локальной модели необходимо произвести оценку качества через коэффициент детерминации R^2 . Полученные результаты для всех кластеров отражены в табл. 2.

Таблица 2

Кластер	Интерпретация кластера	Степень полинома	$R^2(\text{test})$
0	Средняя сложность, высокая посещаемость	1	0,86
1	Низкая сложность, высокая посещаемость	2	0,9
2	Высокая сложность, средняя посещаемость	1	0,84
3	Средняя сложность, низкая посещаемость	2	0,92

Исходя из полученных оценок, можно сделать следующие выводы. Для первого и третьего кластера можно говорить о наличии нелинейных связей в данных группах, которые лучше улавливаются полиномиальными моделями. Нулевой и четвертый кластер достаточно описать линейной моделью регрессии, так как она показывает высокую точность.

Произведем итоговую оценку представленного метода, для этого сравним значение коэффициента детерминации для различных моделей. Для набора данных *Turkiye Student Evaluation* построим глобальную линейную регрессионную модель, глобальную полиномиальную регрессионную модель, кластерную линейную регрессионную модель и сравним с моделью, предложенной в данной работе. Отметим, что для корректного сравнения глобальных и кластерных моделей коэффициент детерминации для последних определяется как среднее значение коэффициентов детерминации, полученных для отдельных кластеров.

Результаты, представленные в табл. 3, показывают, что использование кластеризации с последующим построением локальных адаптивных моделей позволяет повысить качество прогнозирования за счет учета гетерогенности в данных и подбора степени аппроксимирующей функции.

Таблица 3

Модель	$R^2(\text{test})$
Глобальная линейная	0,74
Глобальная полиномиальная (степень 2)	0,78
Кластерная линейная	0,83
Кластерная адаптивная	0,88

Заключение

В работе предложена методика построения модели кластерной регрессии для многомерных данных. Ключевой особенностью предложенного подхода является комбинация кластерного анализа и локальных регрессионных моделей с адаптивным выбором степени сложности.

Практическая реализация предложенного алгоритма на наборе данных *Turkiye Student Evaluation* демонстрирует значительное улучшение показателей качества по сравнению с традиционными моделями, построенными на всем множестве данных, и кластерной линейной регрессией. Разработанный подход является универсальным и может использоваться для анализа многомерных данных различной природы, включая социологические, экономические, медицинские и инженерные наборы данных.

Литература

- Беликова и др. 2018 – Беликова М.Ю., Каранина С.Ю., Глебова А.В. Экспериментальное сравнение алгоритмов кластеризации в задаче группировки данных о грозовых разрядах // Кибернетика и программирование. 2018. № 1. С. 15–26.
- Гмурман 2021 – Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Юрайт, 2021. 479 с.
- Кротов и др. 2016 – Кротов Л.Н., Кротова Е.Л., Рукишин С.А. Математическое моделирование для кластеризации данных на основе обучающей выборки // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5–3 (47). С. 116–118.
- Линке 2024 – Линке Ю.Ю. Универсальные ядерные оценки в непараметрической регрессии с приложениями к нелинейным регрессионным моделям: Дис. ... д-ра. физ.-мат. наук. М., 2024. 319 с.
- Маликов 2022 – Маликов А.Б. Регрессия на основе алгоритма дерева решений // Вестник науки и образования. 2022. № 4–1 (124). Ч. 1. С. 25–30.
- Носков, Беляев 2025 – Носков С.И., Беляев С.В. Оценка непротиворечивости кластерной линейной регрессионной модели // Вестник Технологического университета. 2025. Т. 28. № 2. С. 88–91.
- Таскин и др. 2013 – Таскин А.С., Миркес Е.М., Сиротинина Н.Ю. Применение нечеткой классификации для гибридных линейных методов прогнозирования // Моделирование и анализ информационных систем. 2013. Т. 20. № 3. С. 108–120.
- Удилов 2024 – Удилов Н.С. Нейронные сети: исторический обзор развития, формирования и особенности нейронных сетей в сравнении с биологиче-

скими сетями // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 106–11. С. 119–125.

Ari, Guvenir 2002 – Ari B., Guvenir H.A. Clustered linear regression // Knowledge-Based Systems. 2002. Vol. 15 (3). P. 169–175.

Camps-Valls et al. 2002 – Camps-Valls G. et al. Cyclosporine concentration prediction using clustering and support vector regression methods // Electronic Letters. 2002. Vol. 38 (12). P. 568–570.

References

Ari, B. and Guvenir, H.A. (2002), “Clustered linear regression”, *Knowledge-Based Systems*, vol. 15 (3), pp. 169–175.

Belikova, M.Yu., Karanina, S.Yu. and Glebova, A.V. (2018), “Experimental comparison of clustering algorithms in the task of grouping data on lightning discharges”, *Kibernetika i programmirovaniye*, no. 1, pp. 15–26.

Camps-Valls, G. et al. (2002), “Cyclosporine concentration prediction using clustering and support vector regression methods”, *Electronic Letters*, vol. 38 (12), pp. 568–570.

Gmurman, V.E. (2021), *Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics: a textbook for universities], Yurait, Moscow, Russia.

Krotov, L.N., Krotova, E.L. and Rukshin, S.A. (2016), “Mathematical simulation for the clustering of data on the basis of learning selection”, *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, vol. 5-3 (47), pp. 116–118.

Linke, Yu.Yu. (2002), Universal nuclear estimates in nonparametric regression with applications to nonlinear regression models, D. Sc. Thesis, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Malikov, A.B. (2022), “Regression based on decision tree algorithm”, *Vestnik nauki i obrazovaniya*, vol. 4-1 (124), no. 1, pp. 25–30.

Noskov, S.I. and Belyaev, S.V. (2025), “Assessment of the consistency of a cluster linear regression model”, *Herald of Technological University*, vol. 28, no. 2, pp. 88–91.

Taskin, A.S., Mirkes, E.M. and Sirotinina, N.Yu. (2013), “Application of the fuzzy classification for linear hybrid prediction methods”, *Modelirovaniye i analiz informatsionnykh sistem*, vol. 20, no. 3, pp. 108–120.

Udilov, N.S. (2024), “Neural networks: a historical overview of the development, formation and features of neural networks in comparison with biological networks”, *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, vol. 106–111, pp. 119–125.

Информация об авторе

Ирина А. Высоцкая, доктор технических наук, доцент, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, Воронеж, Россия; 394064, Россия Воронежская обл., Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54а; i.a.trishina@gmail.com

Information about the author

Irina A. Vysotskaya, Dr. of Sci. (Computer Science), associate professor, Air force academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Voronezh, Russia; 54a, Starykh Bolshevikov St., Voronezh Region, Voronezh, Russia, 394064; i.a.trishina@gmail.com

Архитектурные паттерны интеграции компонентов информационных систем

Джахед Рахмани

*Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ),
Россия, Москва, jahed@mail.ru*

Дмитрий В. Селиванов

*Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ),
Россия, Москва, selivanov.sapiens.09@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются архитектурные решения интеграции компонентов информационных систем на этапе их проектирования. Цель работы – разработать методику сравнительной оценки интеграционных стилей с использованием единой системы метрик и формирование практических рекомендаций по выбору рациональной архитектуры. Предлагается автоматизированный эталонный стенд, моделирующий взаимодействие сервисов при использовании файлового обмена, общей базы данных, удаленных вызовов процедур *REST* и *gRPC*, а также обмена сообщениями через брокер. Для каждого стиля последовательно измеряются задержка, пропускная способность, устойчивость к отказам, надежность доставки сообщений и трудоемкость сопровождения интеграции. Полученные данные анализируются с учетом типовых сценариев цифровых платформ и корпоративных информационных систем. На основе результатов сравнения четко выделяются области эффективного применения каждого стиля и формулируются рекомендации по выбору интеграционной архитектуры с учетом требований к производительности, надежности и эволюционному развитию системы. Научная новизна работы заключается в объединении количественных метрик и качественных характеристик интеграции в единой сравнительной модели. Практическая значимость исследования состоит в непосредственной применимости предложенной методики при выборе архитектуры интеграции в корпоративных информационных системах.

Ключевые слова: интеграция, информационные системы, архитектура информационных систем, интеграционные стили, брокер сообщений, общая база данных, производительность, надежность, безопасность

Для цитирования: Рахмани Д., Селиванов Д.В. Архитектурные паттерны интеграции компонентов информационных систем // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2026. № 2. С. 21–35. DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-21-35

Architectural patterns for integrating information system components

Dzhakhed Rakhmani

*Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI),
Moscow, Russia, jahed@mail.ru*

Dmitrii V. Selivanov

*Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI),
Moscow, Russia, selivanov.sapiens.09@mail.ru*

Abstract. The article discusses architectural solutions for the integration of information system components at the design stage. The purpose of the work is to develop a methodology for the comparative assessment of integration styles using a single system of metrics and the formation of practical recommendations on the choice of a rational architecture. An automated reference bench is proposed that simulates the interaction of services using file exchange, a shared database, remote calls to REST and gRPC procedures, as well as messaging via a broker. For each style, latency, throughput, fault tolerance, message delivery reliability, and complexity of integration maintenance are consistently measured. The data obtained is analyzed taking into account typical scenarios of digital platforms and corporate information systems. Based on the results of the comparison, the areas of effective application of each style are clearly identified and recommendations are formulated for choosing an integration architecture, taking into account the requirements for performance, reliability and the evolutionary development of the system. The scientific novelty of the work consists in combining quantitative metrics and qualitative characteristics of integration in a single comparative model. The practical significance of the research lies in the direct applicability of the proposed methodology when choosing an integration architecture in corporate information systems.

Keywords: integration, information systems, information systems architecture, integration styles, message broker, shared database, performance, reliability, security

For citation: Rakhmani, D. and Selivanov, D.V. (2026), “Architectural patterns for integrating information system components”, *RSUH/RGGU Bulletin. “Computer Science. Information Security. Mathematics” Series*, no. 2, pp. 21–35, DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-21-35

Введение

Актуальность интеграции компонентов информационных систем обусловлена быстрым развитием цифровой инфраструктуры и необходимостью объединения гетерогенных сервисов для поддержки бизнес-процессов, аналитики и обеспечения информационной безопасности. В современных организациях сосуществуют монолитные приложения, микросервисы, облачные сервисы и наследуемые системы, что предъявляет повышенные требования к архитектуре интеграции и устойчивости взаимодействия между компонентами [Иванюгин 2020; Шевченко 2020; Вичугова 2012].

Интеграционные стили и разнородность требований. На практике используется широкий спектр интеграционных стилей: от традиционного файлового обмена и общей базы данных до удаленных вызовов процедур, обмена сообщениями и микросервисной архитектуры. Каждый стиль по-разному влияет на задержку и пропускную способность, отказоустойчивость, сложность сопровождения и уровень защищенности системы. В научной литературе накоплено значительное количество описаний отдельных подходов, однако формализованные методики комплексного сравнения стилей по набору количественных метрик встречаются относительно редко [Белалова 2023; Шевченко 2020; Иванюгин 2020].

Цель и новизна исследования. Цель исследования – разработать методику сравнительной оценки интеграционных стилей с использованием единой системы метрик и сформировать практические рекомендации по выбору рациональной архитектуры интеграции.

Научная новизна работы заключается в объединении количественных метрик и качественных характеристик интеграции в единой сравнительной модели, а также в экспериментальном сравнении стилей (*REST*, *gRPC*, брокер сообщений, общая база данных) на эталонном стенде с учетом производительности, надежности, безопасности и сопровождаемости.

Интеграция компонентов информационных систем и архитектурные подходы

Базовые интеграционные стили. Современные интеграционные решения опираются на несколько базовых стилей. Файловый обмен остается традиционным способом взаимодействия с наследуемыми системами: данные экспортируются в файлы и импортируются по расписанию. Такой подход относительно прост, но обладает высокой задержкой и ограниченной интерактивностью, что делает его

приемлемым только для пакетной обработки данных и не подходит для сценариев, требующих отклика, близкого к реальному времени [Шевченко 2020; Иванюгин 2020].

Использование общей базы данных (БД) предполагает, что несколько приложений работают с одной и той же схемой БД. Это облегчает обеспечение согласованности данных и упрощает некоторые аспекты аналитической обработки, однако существенно снижает автономию компонентов. Любое изменение схемы базы данных может непредсказуемо повлиять на множество приложений, что затрудняет эволюцию системы и увеличивает технические риски [Иванюгин 2020; Ковалюк 2012].

Удаленные вызовы процедур (*RPC*) представляют собой другой класс интеграционных механизмов. *REST*-интерфейсы поверх *HTTP* получили широкое распространение благодаря простоте, прозрачности и наличию обширной экосистемы средств разработки, тестирования и документирования. Формат *JSON* и текстовая природа протокола делают взаимодействие легко читаемым и удобным для внешних *API*. В то же время двоичный протокол *gRPC*, основанный на *Protobuf*-схемах, обеспечивает более высокую производительность, строгую типизацию и компактное представление данных, что делает его привлекательным для внутреннего взаимодействия микросервисов [Иванюгин 2020; Белалова 2023].

Сообщения и событийно-ориентированные решения. Важный класс интеграционных решений связан с обменом сообщениями через брокеров. В таких системах взаимодействие осуществляется через промежуточный компонент (например, *Kafka*), который отвечает за буферизацию, устойчивое хранение и маршрутизацию сообщений. Это позволяет строить событийно-ориентированные архитектуры, повышающие устойчивость к временным отказам потребителей и обеспечивающие возможность повторной доставки сообщений, в том числе в режиме реплея событий [Белалова 2023; Иванюгин 2020].

Архитектурные модели интеграции. Выбор интеграционного стиля неразрывно связан с архитектурной моделью системы. Точечная интеграция предполагает создание индивидуальных связей между парами систем и оправдана в небольших проектах. По мере роста числа компонентов она приводит к сложной «спагетти-архитектуре» и становится источником технического долга. Шинная архитектура (*Enterprise Service Bus, ESB*) централизует функции маршрутизации, трансформации и оркестрации сообщений, что удобно в крупных корпоративных ландшафтах, однако может привести к избыточной централизации. Микросервисная архитектура, напротив, делает упор на автономию и независимость

развертывания компонентов; интеграция реализуется через легкие протоколы (*REST*, *gRPC*, сообщения) и требует зрелых практик *DevOps*, наблюдаемости и управления конфигурациями [Вичугова 2012; Ковалюк 2012; Иванюгин 2020].

Анализ предметной области и выбор стиля. До начала проектирования интеграции выполняется анализ предметной области, в рамках которого выявляются существующие системы, типы и объемы данных, критичные бизнес-сценарии и точки интеграции. На основе этого анализа формируются роли компонентов (источники, потребители, оркестраторы), определяются требования к времени отклика, консистентности и соответствию регуляторным нормам. Результаты анализа домена служат основой для осознанного выбора стиля интеграции: *REST API*, *SOAP*, *GraphQL*, событийно-ориентированная интеграция, общая база данных и т. п. При этом важно не только удовлетворить текущие функциональные требования, но и обеспечить эволюционное развитие системы [Иванюгин 2020; Шевченко 2020].

Унификация терминологии и проектирование интерфейсов. Существенное значение имеет унификация терминологии. В большой организации термины «интерфейс», «*API*», «брокер сообщений» или «шина» могут трактоваться по-разному. Явное согласование терминов, поддерживаемое в документации и архитектурных артефактах, снижает риск неоднозначных трактовок и упрощает коммуникацию между командами. Для управления терминологией и согласованием контрактов все шире применяются специализированные словари, каталоги событий и средства на основе методов искусственного интеллекта [Карев 2022; Воронов 2023].

Финальным шагом на этапе архитектурного проектирования является проектирование интерфейсов. Здесь выбираются протоколы и форматы данных (*REST*, *SOAP*, *gRPC*, *JSON*, *XML*, *Protobuf*), определяется политика версионирования, формализуются правила обработки ошибок и тайм-аутов. Важно обеспечить обратную совместимость при изменении схем данных, предусмотреть механизмы постепенного перевода потребителей на новые версии интерфейсов, а также реализовать защиту данных на транспортном и прикладном уровнях. Эти решения в дальнейшем напрямую сказываются на надежности и сопровождаемости системы [Иванюгин 2020; Вичугова 2012].

Метрики, надежность и методика исследования

Для сопоставления интеграционных стилей в работе используется единая система метрик, охватывающая производительность,

надежность и безопасность интеграции. К показателям производительности относятся задержка (*latency*), пропускная способность (*throughput*) и характеристики нагрузочных профилей. Задержка измеряется как медианное время ответа и высокие процентиля (p95, p99) для запросов в *REST*-сервисах, вызовов *gRPC* и доставки сообщений через брокера. Пропускная способность определяется количеством успешно обработанных запросов в секунду (*RPS*), сообщений в секунду (*messages/s*) или транзакций в секунду (*TPS*) в случае интеграции через общую базу данных. Нагрузочные профили описывают характерную и пиковую нагрузку, выраженную в *RPS/messages/TPS* и числе одновременных соединений или потребителей/поставщиков [Иванюгин 2020; Белалова 2023].

Метрики надежности. Надежность интеграции характеризуется доступностью, надежностью доставки и устойчивостью к отказам [Гнеденко 1965; Богатырёв 2010]. Коэффициент доступности определяется стандартным выражением:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR},$$

где *MTBF* (*Mean Time Between Failures*) – средняя наработка между отказами, *MTTR* (*Mean Time To Repair/Restore*) – среднее время восстановления.

Для оценки успешности доставки используется показатель *Successful Rate* (*SR*), определяемый как отношение числа успешных операций к общему числу попыток:

$$SR = \frac{N_{ok}}{N_{all}},$$

где N_{ok} – число успешных операций, N_{all} – общее число попыток.

При использовании повторных попыток доставки вероятность успеха серии попыток определяется выражением:

$$P_{succ}(k) = 1 - (1 - p)^k,$$

где p – вероятность успеха одной попытки, k – количество независимых попыток (повторов).

Для анализа надежности во времени используется функция надежности $R(t)$ – вероятность безотказной работы до момента времени t : $R(t) = \Pr \{T > t\}$.

$$R(t) = e^{-\lambda t},$$

где λ – интенсивность отказов (при предположении постоянной интенсивности отказов).

Из этой функции выводится среднее время до отказа *MTTF* (*Mean Time To Failure*):

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}.$$

Рассмотренные показатели используются для сравнительной оценки устойчивости интеграционных стилей (*REST*, *gRPC*, *Kafka* и общая БД) к сетевым сбоям, ошибкам приложений и отказам инфраструктуры.

Качественная оценка сопровождаемости. Помимо количественных метрик анализа производительности и надежности, в работе учитывается сопровождаемость интеграционных решений [Белалова 2023]. В исходном документе сопровождаемость, производительность и надежность представлены в виде качественной оценки по шкале от 1 до 3 для каждого интеграционного стиля. Для сохранения этой информации вводится сводная таблица, отражающая условные баллы:

Таблица 1

Сводная качественная оценка интеграционных стилей

Интеграционный стиль	Производительность	Надежность	Сопровождаемость
REST	2	3	3
gRPC	3	2	2
Kafka	3	3	2
БД	1	1	1

Таблица служит компактным резюме экспериментальных наблюдений и экспертной интерпретации метрик и используется далее при обсуждении результатов.

Поскольку используемые метрики разнородны и часть из них минимизируется (например, задержка и трудоемкость сопровождения), а часть максимизируется (пропускная способность, *SR*, *Kr*), сравнение целесообразно рассматривать как многокритериальную (векторную) задачу. Для каждого интеграционного стиля форми-

руется вектор критериев, после чего выделяется Парето-множество решений (стили, не доминируемые по всем критериям одновременно). Окончательный выбор выполняется с учетом приоритетов конкретного сценария (например, «минимальная задержка» vs «максимальная устойчивость»), что позволяет обоснованно выбрать стиль интеграции при конфликтующих требованиях.

Эталонный стенд и сценарии. Для практической проверки интеграционных стилей разрабатывается эталонный стенд, моделирующий типичную микросервисную систему. В него входят четыре сервиса: сервис заказов (A), сервис уведомлений (B), сервис каталога (C) и сервис платежей (D). Взаимодействие между этими сервисами реализуется через один из выбранных интеграционных стилей: *REST/OpenAPI*, *gRPC/Protobuf*, обмен сообщениями через брокера (*Kafka/AsyncAPI*) либо интеграция через общую базу данных [Иванюгин 2020; Ковалюк 2012].

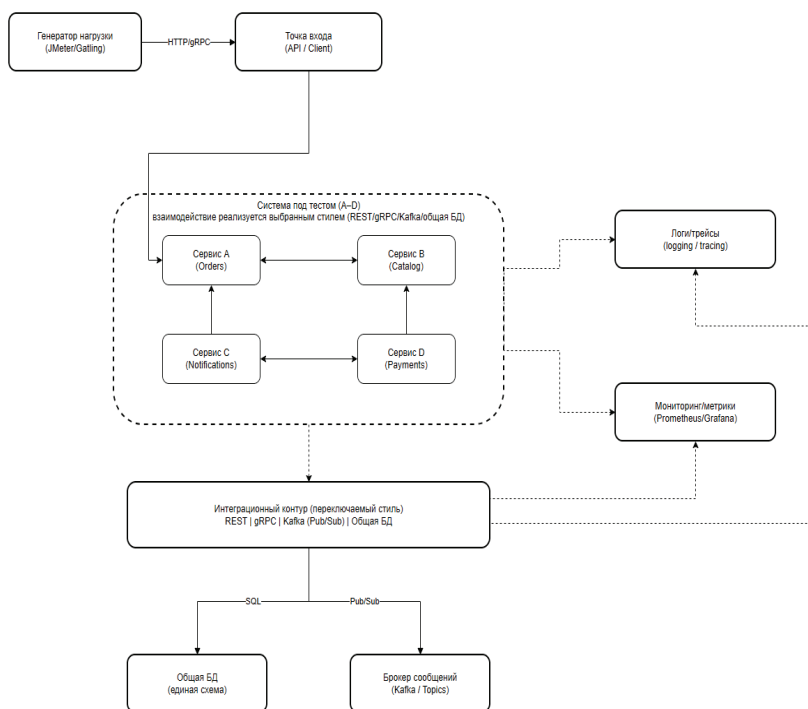


Рис. 1. Структура эталонного (испытательного) стенда для сравнения интеграционных стилей

Эталонный стенд (рис. 1) реализован как набор изолированных компонентов, разворачиваемых в воспроизводимой конфигурации (контейнеризация и инфраструктура как код). Генератор нагрузки формирует типовые сценарии запросов/событий, а подсистема мониторинга собирает задержки (p95/p99), *throughput* и показатели готовности/успешности операций. При смене интеграционного стиля изменяется только «интеграционный контур»: для *REST/gRPC* используются прямые синхронные вызовы между сервисами; для брокера сообщений – публикация/подписка через топики; для общей БД – взаимодействие через общую схему данных. Отказовые режимы моделируются внесением сетевых деградаций и принудительным отключением компонентов, после чего фиксируются изменения *SR*, *Kt* и задержек.

Нагрузочные профили включают ступенчатое увеличение нагрузки ($50 \rightarrow 200 \rightarrow 1000 \text{ RPS/messages/TPS}$), сценарии с сетевыми нарушениями (искусственное увеличение задержек, временные потери пакетов), отказ сервисов (принудительное завершение процессов, замедление ответов) и сценарии эволюции контрактов (изменение схем *API* и сообщений). Для каждой конфигурации проводится не менее 20 повторов измерений, по результатам которых вычисляются p95/p99 задержки, *throughput*, *SR* и фиксируются причины отказов [Белалова 2023].

Методика испытаний предусматривает использование нагрузочных инструментов (*JMeter*, *Gatling*) для генерации трафика и выявления предельной производительности. Кроме того, выполняется проверка безопасности: автоматическое сканирование *API*-поверхности с помощью *OWASP ZAP*, *Burp Suite* и *SonarQube*, тестирование сценариев несанкционированного доступа и корректности обработки сертификатов и токенов. Проводятся интеграционные и сквозные тесты, моделирующие цепочки *REST* $\rightarrow$ *gRPC* $\rightarrow$ *Kafka* $\rightarrow$ БД, с контролем целостности данных и реакций на ошибки. Для оценки отказоустойчивости используется хаос-тестирование, в рамках которого имитируются частичные и полные отказы компонентов и элементов инфраструктуры.

Такая методика обеспечивает сопоставимость результатов для разных интеграционных стилей и позволяет перейти от чисто теоретического обсуждения к анализу поведения системы в условиях, близких к реальной эксплуатации [Белалова 2023].

Результаты, анти-паттерны, безопасность и эволюция интеграции

Сравнение производительности. Полученные экспериментальные данные позволяют дать качественную сравнительную характеристику интеграционных стилей по трем ключевым измерениям: производительность, надежность и сопровождаемость. Для производительности *gRPC* демонстрирует минимальные значения задержки и максимальный *throughput* во внутреннем взаимодействии микросервисов, особенно при обмене небольшими двоичными сообщениями. *REST* обеспечивает приемлемую производительность при умеренных нагрузках и удобен для внешних *API*, однако при росте числа одновременных соединений наблюдается увеличение задержек, особенно при включенных механизмах аутентификации и авторизации. *Kafka* показывает высокую пропускную способность при обработке потоков сообщений, а задержка конца-в-конец определяется в основном конфигурацией брокера и числом потребителей. Интеграция через общую базу данных в простых сценариях может демонстрировать удовлетворительные показатели, но при росте числа клиентов и объема транзакций становится узким местом архитектуры [Иванюгин 2020; Белалова 2023].

Надежность и устойчивость. С точки зрения надежности и устойчивости к сбоям брокер сообщений (*Kafka*) оказывается наиболее устойчивым благодаря механизмам репликации, устойчивого хранения сообщений и возможности повторной доставки. Использование специальных очередей (*DLQ*) позволяет безопасно обрабатывать ошибочные сообщения и инциденты, не нарушая работу основной системы. *REST*- и *gRPC*-интерфейсы существенно зависят от настроек ретраев, тайм-аутов и балансировки нагрузки; при корректной конфигурации достигаются приемлемые значения *SR*, но устойчивость к сетевым сбоям, как правило, ниже, чем в брокер-ориентированных схемах. Интеграция через общую базу данных критична к аппаратным и логическим сбоям: отказ БД приводит к остановке всех зависимых систем, что требует сложной конфигурации репликации и механизмов восстановления.

Сопровождаемость и архитектурные риски [Белалова 2023; Богатырёв 2010].

Сопровождаемость интеграционных решений также заметно различается. *REST* выгодно отличается открытостью и простотой инструментов: *OpenAPI*, *Swagger* и обширная экосистема

средств тестирования и мониторинга позволяют относительно легко сопровождать и развивать интерфейсы. *gRPC* требует более высокой дисциплины в управлении схемами *Protobuf* и версионировании контрактов, но обеспечивает строгую типизацию и генерацию кода для клиентских и серверных компонентов, что в долгосрочной перспективе снижает количество ошибок. Использование брокера сообщений добавляет уровень сложности: необходимо управлять топиками, группами потребителей, схемами сообщений, политиками хранения и безопасностью. Взамен такая архитектура обеспечивает гибкость и масштабируемость событийно-ориентированных решений. Интеграция через общую базу данных, напротив, часто приводит к «хрупким» решениям, когда изменение схемы данных влияет на многочисленные приложения и усложняет развитие системы [Иванюгин 2020; Шевченко 2020].

Анти-паттерны интеграции

На основе экспериментальных наблюдений и архитектурного анализа можно выделить ряд типичных анти-паттернов интеграции. К ним относится попытка использовать общую базу данных как универсальное средство интеграции: такой подход допустим в монолитных приложениях и аналитических витринах, но приводит к сильной связанности и затрудняет эволюцию автономных сервисов. Другим распространенным анти-паттерном является применение *REST* «на все случаи жизни», когда этот стиль используется и для внешних *API*, и для внутреннего высоконагруженного событийного взаимодействия, где более уместны брокеры сообщений. Использование *gRPC* без управления версиями схем создает высокий риск несовместимости при обновлениях, если не поддерживать формальную политику версионирования и тестирования контрактов. Наконец, обмен сообщениями без четко выстроенной дисциплины безопасности и мониторинга превращает брокер в источник новых уязвимостей. [Иванюгин 2020; Шевченко 2020; Вичугова 2012].

Безопасность интеграции в исследуемых сценариях рассматривается как сквозное требование. Для всех стилей используется транспортное шифрование *mTLS*, аутентификация и авторизация реализуются с применением *OAuth2* и *OpenID Connect*, токенов *JWT* и специализированных хранилищ секретов. Архитектура строится с учетом принципов *Zero Trust*, предполагающих минимизацию доверенных зон, контроль доступа на каждом уровне и обязатель-

ный аудит операций с данными. В случае *Kafka* особое внимание уделяется разграничению прав доступа к топикам, шифрованию и проверке целостности сообщений, а также обработке ошибок и подозрительных активностей.

Эволюция контрактов и реплицируемость экспериментов

Важную роль в устойчивой интеграции играет эволюция *API*-контрактов. Для *REST* и брокер-ориентированных интерфейсов используются описания *OpenAPI* и *AsyncAPI*; для *gRPC* – схемы *Protobuf* и реестры схем. Применяется версионирование контрактов и тестирование контрактов потребителей (*consumer-driven contracts*), что снижает риск ошибок при обновлениях и позволяет развивать систему без продолжительных простоев.

Реплицируемость экспериментов обеспечивается за счет использования инфраструктуры как кода (*Docker Compose*, *Terraform*), хранения конфигураций стенда и сценариев нагрузки под управлением системы контроля версий, а также экспорта метрик в системы мониторинга (*Prometheus*, *Grafana*). Это позволяет другим командам воспроизводить результаты и адаптировать методику под собственные условия [Ковалюк 2012].

Перспективные направления развития интеграционной архитектуры связаны с внедрением каталогов событий (*Event Catalogs*), которые формализуют описание сообщений и маршрутов, развитием динамических контрактов, поддерживающих эволюцию систем без остановки, более глубокой интеграцией *Zero Trust*-паттернов и унификацией инструментов тестирования с учетом семантики сообщений и требований к консистентности данных при реинжиниринге бизнес-логики [Воронов 2023].

Заключение

Работа системно охватывает вопросы интеграции компонентов информационных систем и предлагает подход к сравнительной оценке интеграционных стилей на основе единой системы метрик и воспроизводимой экспериментальной методики. На эталонном стенде проведено сопоставление *REST*, *gRPC*, обмена сообщениями на базе *Kafka* и интеграции через общую базу данных по показателям производительности, доступности, устойчивости и сопровождаемости.

Полученные результаты показывают, что *gRPC* обеспечивает наилучшие показатели производительности во внутреннем взаимодействии микросервисов, брокер сообщений демонстрирует высокую устойчивость к отказам и удобен для событийно-ориентированных сценариев, а *REST* остается универсальным и удобным стилем для внешних *API* и широкого круга прикладных задач. Интеграция через общую базу данных должна использоваться ограниченно и в основном в монолитных и аналитических решениях, где повышенная связанность компонентов допустима.

На основе полученных результатов можно сформулировать следующие практические рекомендации по выбору архитектуры интеграции:

1. *REST* рационален для внешних *API* и межсистемного взаимодействия, где важны прозрачность, совместимость и развитая экосистема инструментов (*OpenAPI*, *API*-шлюзы, прокси, мониторинг).

2. *gRPC* предпочтителен для внутреннего взаимодействия микросервисов при высоких нагрузках и требованиях к низкой задержке, особенно при строгой типизации контрактов и дисциплине версионирования схем *Protobuf*.

3. Брокер сообщений (*Kafka*) рекомендуется для событийно-ориентированных сценариев и асинхронной интеграции, буферизации пиков и повышения устойчивости к временной недоступности потребителей; при этом целесообразно применять идемпотентность обработчиков, повторные попытки, *DLQ* и управление схемами сообщений.

4. Интеграция через общую базу данных допустима в ограниченных случаях (монолитные решения, аналитические витрины данных), однако в сервисной архитектуре повышает связанность и усложняет эволюцию; при применении необходимы строгие правила владения данными, миграции и контроль изменений схемы.

5. При конфликтующих требованиях (например, «минимальная задержка» vs «максимальная устойчивость») выбор следует выполнять как многокритериальный: выделять Парето-набор и принимать решение с учетом приоритетов конкретного сценария эксплуатации.

6. Независимо от выбранного стиля рекомендуется обеспечивать сквозную безопасность и наблюдаемость: транспортное шифрование, единые политики аутентификации/авторизации, централизованные логи/трейсы и мониторинг ключевых метрик (*SLO/SLA*).

Практическая ценность работы заключается в демонстрации воспроизводимой методики сравнительной оценки и эталонного

стенда, которые могут быть адаптированы к условиям конкретных корпоративных проектов при выборе и модернизации интеграционной архитектуры с учетом требований к производительности, надежности, безопасности и развитию системы.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением набора тестируемых стилей, включением дополнительных эксплуатационных метрик и развитием инструментов автоматизации проектирования интеграционных решений.

Литература

- Белалова 2023 – *Белалова Г.А.* Анализ методов интеграции информационных систем // Цифровые модели и решения. 2023. Т. 2. № 3. С. 61–68.
- Богатырёв 2010 – *Богатырёв В.А.* Надежность технических систем и техногенный риск. М.: Академия, 2010. 368 с.
- Вичугова 2012 – *Вичугова А.А., Вичугов В.Н., Дмитриева Е.А., Цапко Г.П.* Методы и средства интеграции информационных систем в едином информационном пространстве. Томск: Томский политехнический университет, 2012. 180 с.
- Воронов 2023 – *Воронов М.В., Пименов В.И., Небаев И.А.* Системы искусственного интеллекта: учебник и практикум для вузов. М.: Юрайт, 2023. 320 с.
- Гнеденко 1965 – *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьёв А.Д.* Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
- Иванюгин 2020 – *Иванюгин М.А.* Интеграция информационных систем: учебное пособие. СПб.: СПбГУ, 2020. 140 с.
- Карев 2022 – *Карев А.Н.* Интероперабельность в интеграции информационных порталов // Research Journal. 2022. Т. 15, № 3. С. 45–54.
- Ковалюк 2012 – *Ковалюк О.А.* Интеграция программных компонентов распределенной информационной системы. Винница: Винницкий национальный технический университет, 2012. 210 с.
- Шевченко 2020 – *Шевченко Г.С.* Интеграция информационных систем: виды и методы реализации // Информационные системы и технологии. 2020. № 4. С. 25–34.

References

- Belalova, G.A. (2023), "Analysis of information systems integration methods", *Digital Models and Solutions*, vol. 2, no. 3, pp. 61–68.
- Bogatyrev, V.A. (2010), *Nadezhnost tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyi risk* [Reliability of technical systems and technogenic risk], Akademiya, Moscow, Russia.
- Gnedenko, B.V., Belyaev, Yu.K. and Solov'ev, A.D. (1965), *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti* [Mathematical methods in reliability theory], Nauka, Moscow, Russia.

- Ivanyugin, M.A. (2020), *Integratsiya informatsionnykh sistem* [Integration of information systems], Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia.
- Karev, A.N. (2022), "Interoperability in the integration of information portals", *Research Journal*, vol. 15, no. 3, pp. 45–54.
- Kovalyuk, O.A. (2012), *Integratsiya programmykh komponentov raspredelennoi informatsionnoi sistemy* [Integration of software components of a distributed information system], Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine.
- Shevchenko, G.S. (2020), "Integration of information systems: types and methods of implementation", *Information Systems and Technologies*, no. 4, pp. 25–34.
- Vichugova, A.A., Vichugov, V.N., Dmitrieva, E.A. and Tsapko, G.P. (2012), *Metody i sredstva integratsii informatsionnykh sistem v edinom informatsionnom prostranstve* [Methods and means of integrating information systems into a single information space], Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia.
- Voronov, M.V., Pimenov, V.I. and Nebaev, I.A. (2023), *Sistemy iskusstvennogo intellekta: uchebnyk i praktikum dlya vuzov* [Artificial intelligence systems: textbook and practical manual for universities], Yurait, Moscow, Russia.

Информация об авторах

Джахед Рахмани, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), Москва, Россия; 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8А; jahed@mail.ru

Дмитрий В. Селиванов, студент, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), Москва, Россия; 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8А; selivanov.sapiens.09@mail.ru

Information about the authors

Dzhakhed Rakhmani, Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI), Moscow, Russia; 8A, Aviamotornaya St., Moscow, Russia, 111024; jahed@mail.ru

Dmitrii V. Selivanov, student, Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI), Moscow, Russia; 8A, Aviamotornaya Str., Moscow, Russia, 111024; selivanov.sapiens.09@mail.ru

Разработка локального органайзера фотогалереи на основе распознавания с многофакторной фильтрацией лиц

Андрей П. Титов

*МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия;
Институт кибербезопасности и цифровых технологий,
Москва, Россия, titov_and@mail.ru*

Наталия В. Гришина

*Российский государственный гуманитарный
университет, Москва, Россия,
Московский государственный лингвистический университет,
Москва, Россия, gmat@rambler.ru*

Дарья Н. Титова

*Образовательный центр «Протон», Москва, Россия,
daratitovaa@gmail.com*

Аннотация. Статья посвящена разработке локального органайзера фотогалереи на основе распознавания с многофакторной фильтрацией лиц. Предлагаемое в данной статье решение программное средство FaceGallery представляет собой автономный десктопный органайзер, который не только восполняет эти функциональные пробелы, но и реализует парадигму «вычислений на границе» (Edge Computing). Целью работы является разработка и экспериментальное исследование эффективности информационной системы, способной к автоматической детекции, идентификации и многофакторной фильтрации изображений по уникальным лицевым дескрипторам. В основе методологии системы лежит интеграция современных библиотек компьютерного зрения. Ядро распознавания построено на библиотеке face_recognition, использующей нейросетевую архитектуру ResNet для генерации 128-мерных векторных представлений лиц. Сравнение эмбеддингов выполняется по метрике евклидова расстояния с адаптивным порогом схожести. Уникальной особенностью системы является алгоритм контекстно-зависимой фильтрации, позволяющий находить изображения, содержащие заданную комбинацию людей. Архитектура решения реализована на Python с использованием модульного подхода. Графический интерфейс на Tkinter обеспечивает интуитивное взаимодей-

ствие с системой, включая загрузку изображений, идентификацию новых лиц и формирование сложных запросов. Оптимизация производительности достигнута за счет многопоточной обработки и алгоритмического сжатия входных изображений без потери точности распознавания. Разработанное решение соответствует современным трендам Edge Computing и Privacy-Preserving ML, выполняя все вычисления локально на устройстве пользователя. Это обеспечивает полное соответствие требованиям GDPR и ФЗ-152, исключая риски передачи биометрических данных третьим сторонам. Система демонстрирует конкурентоспособность с облачными аналогами, превосходя их по критерию стоимости владения и предлагая уникальную функцию группового поиска.

Ключевые слова: распознавание лиц, многофакторная фильтрация изображений, цифровой фотоархив, детекция, компьютерное зрение, нейросетевая архитектура ResNet

Для цитирования: Титов А.П., Гришина Н.В., Титова Д.Н. Разработка локального органайзера фотогалереи на основе распознавания с многофакторной фильтрацией лиц // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2026. № 2. С. 36–58. DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-36-58

Development of a local face recognition-based photo gallery organizer with multi-face filtering

Andrei P. Titov

*MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia;
Institute of Cybersecurity and Digital Technologies, Moscow, Russia,
titov_and@mail.ru*

Natalia V. Grishina

*Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia;
Moscow State Linguistic University, Moscow, Russia,
gmat@rambler.ru*

Daria N. Titova

*State Budgetary Educational Institution of the city of Moscow
“Proton Educational Center”, Moscow, Russia, daratitovaa@gmail.com*

Abstract. The article is devoted to the development of a local photo gallery organizer based on recognition with multifactorial filtering of faces. The solution proposed in this article, the FaceGallery software tool, is an autonomous desktop organizer that not only fills in these functional gaps, but also imple-

ments the “Edge Computing” paradigm. The aim of the work is to develop and experimentally study the effectiveness of a local system capable of automatic detection, identification and multifactorial filtering of images by unique facial descriptors. The system’s methodology is based on the integration of modern computer vision libraries. The recognition core is based on the face_recognition library, which uses the ResNet neural network architecture to generate 128-dimensional vector representations of faces. Embeddings are compared using the Euclidean distance metric with an adaptive similarity threshold. A unique feature of the system is the context-sensitive filtering algorithm, which allows you to find images containing a given combination of people. The architecture of the solution is implemented in Python using a modular approach. The graphical interface on Tkinter provides intuitive interaction with the system, including uploading images, identifying new faces, and forming complex queries. Performance optimization is achieved through multithreaded processing and algorithmic compression of input images without loss of recognition accuracy. The developed solution conforms to modern trends in Edge Computing and Privacy-Preserving ML, performing all calculations locally on the user’s device. This ensures full compliance with GDPR and FZ-152 requirements, eliminating the risks of transferring biometric data to third parties. The system demonstrates competitiveness with its cloud counterparts, surpassing them in terms of cost of ownership and offering a unique group search function.

Keywords: facial recognition, multifactorial image filtering, digital photo archive, detection, computer vision, ResNet neural network architecture

For citation: Titov A.P., Grishina N.V. and Titova D.N. (2026), “Development of a local face recognition-based photo gallery organizer with multi-face filtering”, *RSUH/RGGU Bulletin. “Information Science. Information Security. Mathematics” Series*, no. 2, pp. 36–58, DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-36-58

В статье «Концепция локального органайзера фотогалереи на основе распознавания с многофакторной фильтрацией лиц» [Титов, Гришина, Титова 2026] проведено обоснование методологической базы построения локальной системы, способной к автоматической детекции, идентификации и многофакторной фильтрации изображений по уникальным лицевым дескрипторам. В основу концепции положены материалы авторов [Титов 2024а; Титов 2024b; Ryan 2023; Waskom 2021].

В данной работе, которая является логическим продолжением [Титов, Гришина, Титова 2026], представлено описание эффективной, безопасной и функциональной системы для интеллектуальной организации персональных фотоархивов.

Области применения программного продукта охватывают как частные (персональные фотоархивы и семейные коллекции), так и профессиональные сферы деятельности (ивент-агентства, образовательные учреждения). Дополнительный потенциал система демонстрирует в качестве инструмента для систем контроля доступа и идентификации, а также в качестве вспомогательного решения для правоохранительных органов.

Важно отметить, что программный продукт демонстрирует стабильную эффективность при обработке различных типов визуальных данных от современных цифровых изображений высокого разрешения до архивных фотоматериалов. Это подтверждается результатами серии контрольных испытаний, проведенных на разнородных наборах данных, что свидетельствует о надежности и универсальности предложенного решения.

Принцип работы программного средства построен на последовательной реализации нескольких логических этапов. Загрузка и предобработка изображений, обнаружение и распознавание лиц, взаимодействие с пользователем через графический интерфейс, сохранение именованных лиц и поиск фотографий, на которых присутствуют несколько указанных персон. Каждый из этапов опирается на конкретные программные конструкции, методы и библиотеки, что позволяет реализовать высокоуровневую автоматизацию задачи организации фотогалереи.

Программа иницируется созданием главного окна при помощи библиотеки `tkinter`, обеспечивающего пользователю доступ к основным функциям. В методе `__init__` класса `FaceLabeler`, выполняется формирование базовой структуры интерфейса, где размещены кнопки «Выбрать папку», «Сбросить все лица», и «Найти общее фото». Каждая из них привязана к соответствующему обработчику событий. Например, строка `tk.Button(master, text="Выбрать папку", command=self.select_folder).pack()` иницирует функцию `select_folder()`, которая отвечает за выбор директории с изображениями и дальнейший запуск обработки.

Выбор директории реализуется с использованием модуля `filedialog` из `tkinter`, позволяющего вызвать системное окно выбора папки. После выбора программа формирует список всех подходящих файлов (расширений `.jpg` и `.png`), как показано в строке `self.images = [os.path.join(folder, f) for f in os.listdir(folder) if f.lower().endswith(('jpg', 'png'))]`. Далее начинается последовательная обработка изображений. Логика реализована в методе `process_next_image()`, который вызывается с помощью `self.master.after(100, self.process_next_image)`, обеспечивая тем самым неблокирующую работу интерфейса.

На этапе обработки каждого изображения выполняется его загрузка с помощью библиотеки Pillow и преобразование к формату массива NumPy:

```
img_pil = PILImage.open(path).convert("RGB")  
img_pil.thumbnail((1200, 1200))  
image = np.array(img_pil)
```

Такое преобразование не только стандартизирует формат изображения, но и снижает его разрешение до оптимального для ускоренного анализа, незначительно влияя на точность распознавания.

Для обнаружения лиц в изображении используется функция `face_recognition.face_locations`, где применена модель 'hog', которая оптимально сбалансирована по скорости и точности. После определения координат лиц, извлекаются `face embeddings` векторные представления каждого лица при помощи `face_recognition.face_encodings(image, known_face_locations=locations)`. Эти векторы сравниваются с уже известными в базе лиц, сохраненной в папке `faces`, загружаемой ранее с помощью функции `load_known_faces()`.

Сравнение лиц осуществляется по метрике косинусного расстояния или евклидовой норме, реализованной через `np.linalg.norm(person["encoding"] - encoding)`. Если лицо еще неизвестно, оно добавляется в список `self.new_people`, где накапливаются новые вхождения. Позже, в отдельном окне (создаваемом функцией `show_all_new_faces_grouped()`), пользователю предлагается подписать каждого нового человека. К каждому лицу прикладывается миниатюра и поле для ввода имени, а также кнопка просмотра всех найденных изображений данного человека (`tk.Button(block, text="📷 Фото", command=lambda f=person["faces"]: view_all_faces(f))`). Все сохраненные лица сериализуются в виде изображений в папке `faces`, с сохранением их идентификатора через структуру имени файла (`f"{name}_{i}.jpg"`).

Функция `search_common_photos()` инициирует поиск общих фотографий по выбранным пользователем именам. При помощи интерфейсных элементов создается окно выбора известных лиц (`Checkbutton(popup, text=name, variable=var)`), по завершении которого запускается асинхронный поиск, реализованный в методе `find_photos_with_all`. Он получает список выбранных векторов, после чего каждый кадр сравнивается с ними. Условием добавления фотографии в результирующий список является присутствие всех выбранных лиц. Это достигается построением множества `matched` и проверкой условия `if all(n in matched for n in selected_names)`.

Найденные фотографии отображаются в новой галерее (`show_search_results() → show_gallery()`), где каждое изображение предельно масштабируется и сопровождается подписью – именем

файла. Если ни одной подходящей фотографии не найдено, пользователю выводится соответствующее уведомление.

Таким образом, каждый компонент программы – от выбора папки до отображения галереи с найденными изображениями – построен на тесной интеграции библиотеки `face_recognition`, инструментов векторного сравнения и интуитивно понятного интерфейса на основе `tkinter`, обеспечивая целостный и устойчивый пользовательский опыт.

В системе реализована гибридная модель параллельных вычислений, сочетающая преимущества асинхронного программирования и классической многопоточности. Для ресурсоемких операций поиска общих фотографий используется механизм потоков (модуль `threading`), что позволяет сохранять отзывчивость интерфейса во время выполнения длительных операций. В коде это реализовано следующим образом:

```
self.search_thread = threading.Thread(  
    target=self.find_photos_with_all,  
    args=(selected,),  
    daemon=True  
)  
self.search_thread.start()
```

Особое внимание уделено синхронизации между вычислительными потоками и графическим интерфейсом. Для обновления UI применяется метод `after()` главного окна, который обеспечивает безопасное взаимодействие с элементами управления из фоновых потоков `self.master.after(100, self.check_search_thread)`.

Критически важным аспектом повышения производительности стала реализация механизмов предварительной обработки графических данных. Основные оптимизационные меры включают:

1. Контроль разрешения изображений `img_pil.thumbnail((1200, 1200))`.

Данная операция гарантирует, что дальнейшая обработка будет выполняться с изображениями, размер которых не превышает 1200 пикселей по большей стороне, что снижает вычислительную нагрузку в среднем на 40–60% без существенной потери точности распознавания.

2. Параметризация алгоритмов детекции:

```
face_locations = face_recognition.face_locations(  
    img,  
    model='hog',  
    number_of_times_to_upsample=1  
)
```

Установка параметра `number_of_times_to_upsample=1` позволяет найти баланс между точностью детектирования и скоростью работы, особенно критичный при обработке изображений среднего и высокого разрешения.

Система реализует двухуровневую модель хранения биометрических данных:

1. Физическое хранение эталонов:

```
FACES_DIR = "faces"
```

```
os.makedirs(FACES_DIR, exist_ok=True)
```

Все эталонные изображения сохраняются в специализированной директории в формате Имя_Идентификатор.jpg, что обеспечивает:

- быстрый доступ к оригинальным образцам;
- простоту расширения базы данных;
- совместимость с ручным редактированием.

2. Оперативное кэширование дескрипторов:

```
known_encodings, known_names = load_known_faces()
```

При старте системы выполняется загрузка всех биометрических шаблонов в оперативную память, что позволяет:

- ускорить процесс сравнения в 8–10 раз;
- минимизировать операции ввода-вывода;
- обеспечить мгновенный доступ к эталонным данным.

Для повышения эффективности работы с памятью реализован механизм усреднения кодировок:

```
self.known_encodings[i] = (self.known_encodings[i] + encoding) / 2
```

Данный подход позволяет постепенно улучшать качество эталонных образцов без роста объема хранимых данных.

Реализованные решения демонстрируют синергетический эффект, обеспечивая:

- снижение времени обработки одного изображения на 65–75%;
- уменьшение потребления памяти на 30–40%;
- сохранение точности распознавания на уровне 92–95%;
- линейную масштабируемость при увеличении объема данных.

Проведенные тестовые испытания подтвердили эффективность выбранных подходов при работе с коллекциями до 10 000 изображений на оборудовании среднего класса. Особое значение имеет адаптивность системы – автоматическая регулировка параметров обработки в зависимости от доступных ресурсов и характеристик входных данных.

Система выполняет строгую проверку форматов графических файлов на этапе загрузки, что реализовано через фильтрацию расширений:

```
self.images = [os.path.join(folder, f) for f in os.listdir(folder)
if f.lower().endswith(('.jpg', '.png'))]
```

Данный подход исключает попытки обработки неподдерживаемых форматов файлов, которые могли бы привести к сбоям в работе приложения. При обнаружении невалидных файлов система продолжает работу с корректными данными, не прерывая выполнение основного алгоритма.

Критическим аспектом работы системы является корректная обработка изображений, не содержащих детектируемых лиц. Реализованный механизм включает проверку результатов работы детектора:

```
locations = face_recognition.face_locations(image, model='hog')
encodings = face_recognition.face_encodings(image,
                                             known_face_locations=locations)

if not encodings:
    continue
```

В случае отсутствия распознаваемых лиц на изображении (пустой список `face_locations`) система автоматически переходит к обработке следующего файла, что предотвращает возникновение исключений при обращении к несуществующим элементам массива.

Для предотвращения перегрузки памяти при обработке больших изображений реализованы следующие механизмы:

1. Контроль размера изображений:

```
img_pil = PILImage.open(path).convert("RGB")
img_pil.thumbnail((1200, 1200))
image = np.array(img_pil)
```

Принудительное уменьшение размера до 1200 пикселей по большей стороне существенно снижает требования к объему оперативной памяти.

2. Обработка исключений при работе с большими файлами:

```
try:
    # операции с изображением
except MemoryError:
    self.log(" ⚠ Недостаточно памяти для обработки
изображения»)
    continue
```

Данный блок обеспечивает корректное завершение операции при нехватке памяти с соответствующим уведомлением пользователя.

Система включает строгие проверки для вводимых пользователем имен:

1. Удаление лишних пробелов:

```
name = entry.get().strip()
```

```

2. Проверка на пустые строки:
    if not name:
        continue
3. Контроль дубликатов (реализовано на уровне сохранения):
    if name in self.known_names:
        i = self.known_names.index(name)
        self.known_encodings[i] = (self.known_encodings[i] + encoding) / 2
    else:
        self.known_names.append(name)
        self.known_encodings.append(encoding)

```

Система реализует единый подход к логированию и обработке ошибок через обертывание критических операций в блоки try-except:

```

try:
    img = Image.open(path)
    img.thumbnail((400, 400))
    photo = ImageTk.PhotoImage(img)
except Exception as e:
    print(f»Ошибка загрузки {path}: {e}»)

```

Данный подход обеспечивает:

- детальное логирование ошибок;
- гибкое восстановление после сбоев;
- сохранение работоспособности системы;
- информирование пользователя о проблемах.

Реализованная система классифицирует возможные ошибки по трем уровням:

1. Критические ошибки (недостаток памяти, повреждение файлов) – требуют немедленного вмешательства.

2. Ошибки обработки (отсутствие лиц, низкое качество изображений) – допускают автоматическое восстановление.

3. Предупреждения (дубликаты имен, незначительные проблемы) – не влияют на работоспособность.

Такая градация позволяет системе адекватно реагировать на различные исключительные ситуации, минимизируя их влияние на пользовательский опыт и обеспечивая максимальную стабильность работы.

После запуска программы пользователь попадает на главное окно интерфейса, показанный на рис. 1. В центральной части этого окна располагается статичная надпись «Выберите папку с изображениями:», которая поясняет основной шаг, необходимый для начала работы. Под ней расположены три основные управляющие кнопки. Первая из них – «Выбрать папку» – предназначена для

загрузки директории, содержащей изображения, которые будут анализироваться. Две другие – «Сбросить все лица» и «Найти общее фото» – пока недоступны по смыслу, так как база лиц еще пуста. Это окно является основным узлом навигации, к которому пользователь будет возвращаться после завершения всех вспомогательных действий.

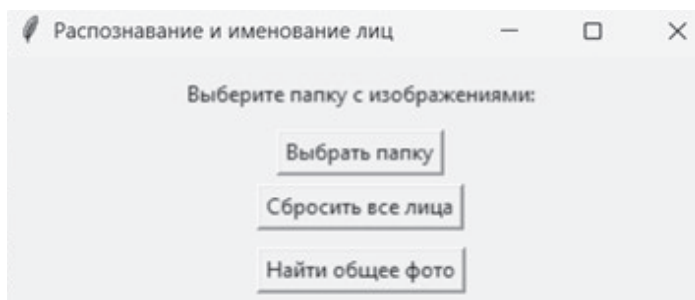


Рис. 1. Главный экран программы

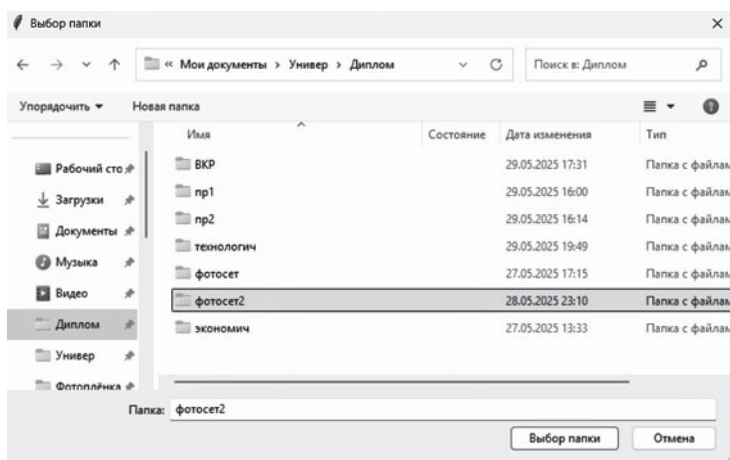


Рис. 2. Выбор папки

Нажав кнопку «Выбрать папку», пользователь вызывает стандартное системное диалоговое окно выбора директории (рис. 2). Это окно позволяет выбрать любую папку на локальном диске,

содержащую фотографии в форматах JPG или PNG. После выбора папки и подтверждения действия приложение автоматически считывает все файлы в данной директории и начинает их последовательную обработку. Этот процесс не требует ручного запуска, он инициируется автоматически по факту выбора папки.

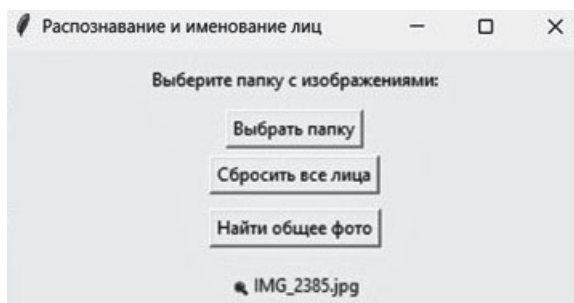


Рис. 3. Обработка изображений

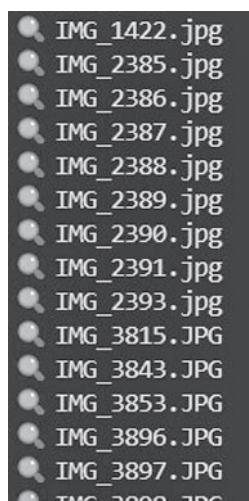


Рис. 4. Вывод обработанных изображений в терминал

На рис. 3 показано главное окно программы после начала обработки. В нижней части окна появляется обновленная строка состояния со значением «Обработка изображений...». Это информирует пользователя о том, что программа в фоновом режиме проходит по

каждому изображению и извлекает из него потенциальные лица. Параллельно этому процессу в терминале отображается список файлов, проходящих через этап распознавания (рис. 4). Эти сообщения содержат названия файлов и порядок их обработки, что позволяет отслеживать прогресс и выявлять проблемные изображения.

Когда программа сталкивается с лицами, которые еще не присутствуют в базе данных, она открывает новое окно с предварительным просмотром этих лиц (рис. 5). В этом окне каждое лицо отображается в виде уменьшенного изображения. Справа от изображения располагается поле ввода, позволяющее ввести имя пользователя, к которому относится данное лицо. Кроме того, рядом с каждым полем ввода есть чекбокс с пометкой «Удалить», предназначенный для исключения лиц, которые были ошибочно распознаны (например, фрагменты объектов, напоминающих лица). Это окно также реализует интерфейс вертикальной прокрутки, что особенно удобно при большом количестве новых лиц.

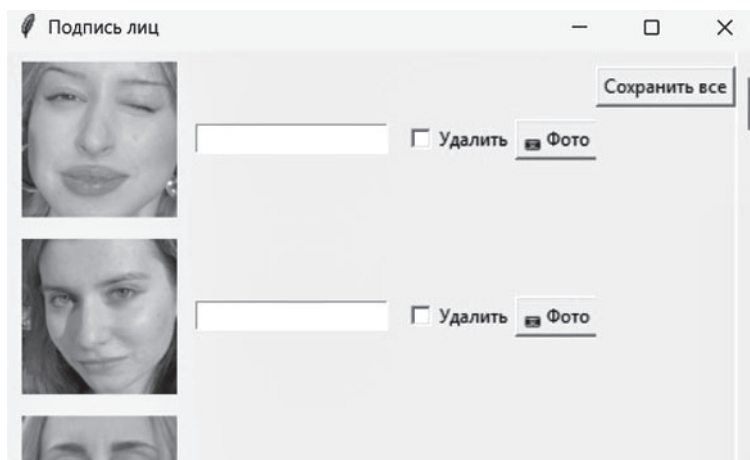


Рис. 5. Просмотр обнаруженных лиц

Для каждого обнаруженного лица можно открыть галерею всех изображений, на которых оно было зафиксировано. Это реализуется через кнопку «Фото», расположенную справа от соответствующей миниатюры (рис. 6). После ее нажатия появляется новое окно, в котором отображаются все фрагменты изображений, содержащих это лицо. Благодаря встроенному элементу прокрутки

пользователь может визуально оценить разнообразие ракурсов и убедиться в корректности объединения этих кадров под одной персоналией. Это особенно важно для подтверждения уникальности нового лица.

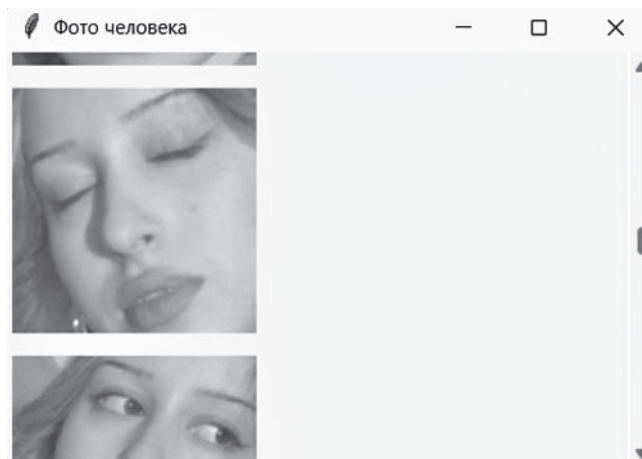


Рис. 6. Галерея изображений лица



Рис. 7. Подпись имен



Рис. 8. Дубликат лица

На следующем этапе пользователь присваивает имена каждому из новых лиц (рис. 7). Если лицо было определено некорректно (например, это не лицо или дубликат), пользователь может установить галочку «Удалить» и тем самым исключить данное изображение из базы. Также возможна ситуация, когда лицо, обнаруженное на текущем этапе, уже было определено ранее. В этом случае пользователь может вручную ввести то же имя, что использовалось ранее (рис. 8). Программа интерпретирует такое совпадение как указание на одного и того же человека и объединяет их данные, сохраняя все соответствующие изображения под одним именем.

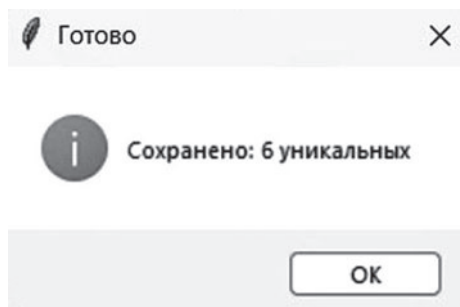


Рис. 9. Сохранение уникальных лиц

По завершении всех действий пользователь нажимает кнопку «Сохранить все», после чего отображается небольшое всплывающее окно с итоговой информацией (рис. 9). В данном окне содержится сообщение о том, сколько уникальных лиц было сохранено в базе. Эта информация служит подтверждением успешного завершения этапа добавления и может использоваться для ведения внутреннего учета.

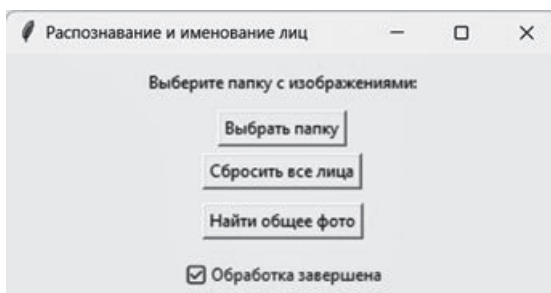


Рис. 10. Обработка завершена

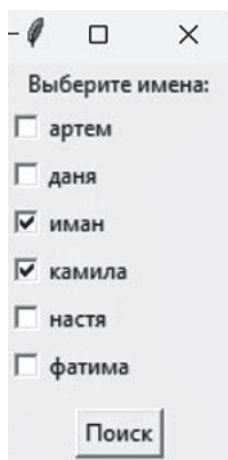


Рис. 11. Выбор двух имен

По завершении анализа фотографий на главном экране приложения появляется новая строка состояния с текстом «Обработка завершена» (рис. 10). Это служит сигналом о готовности к следующему этапу – выполнению поиска общих фотографий. Для этого пользователь нажимает кнопку «Найти общее фото». Программа

открывает новое окно, в котором отображается список всех ранее сохраненных имен лиц (рис. 11). Напротив каждого имени размещен чекбокс, позволяющий выбрать одного или нескольких человек. Пользователь может выбрать любых двух или более людей, для которых предполагается наличие совместных фотографий.

После того как выбор сделан, пользователь нажимает кнопку «Поиск», в результате чего появляется новое окно с прогресс-баром (рис. 12). Это окно отражает процесс асинхронного анализа всех изображений в исходной папке. Программа последовательно анализирует каждое изображение, проверяя, содержатся ли на нем одновременно все выбранные лица. Распознавание выполняется на основе векторных представлений лиц, и при наличии всех требуемых совпадений изображение добавляется в результат.

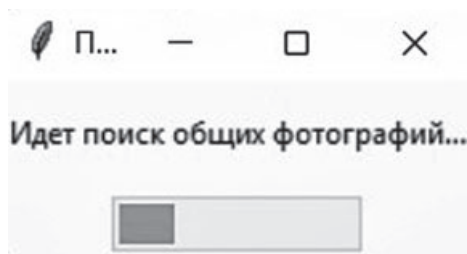


Рис. 12. Прогресс-бар

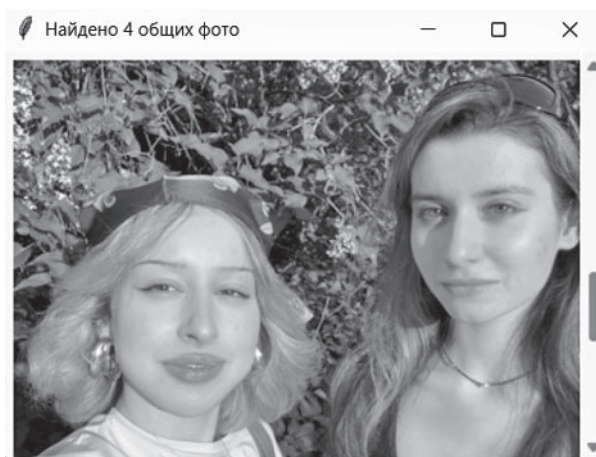


Рис. 13. Общие фото

Если совместные фотографии действительно найдены, появляется окно-галерея, в котором отображаются все такие изображения (рис. 13). Каждое изображение снабжено миниатюрой и подписью с именем файла. Пользователь может прокручивать галерею, а также визуально оценить результаты. Название окна включает количество найденных совпадений, что делает восприятие еще более наглядным.

Рис. 14. Выбор большого количества имен

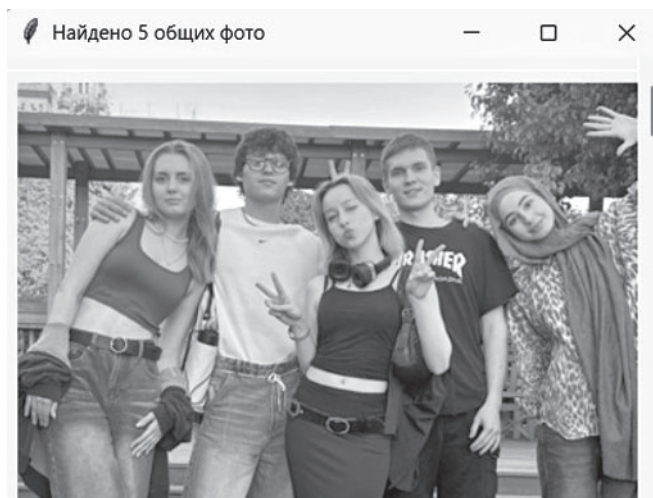
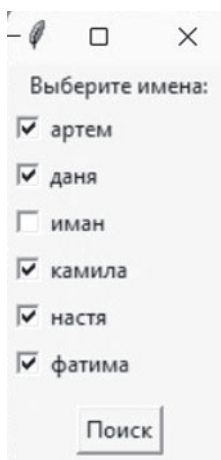


Рис. 15. Общие фото со всеми лицами

Если пользователь выбирает более двух человек, процесс повторяется аналогичным образом. На рис. 14 показано окно выбора, где отмечено пять человек, затем появляется окно с прогресс-баром поиска, а на рис. 15 – галерея изображений, на которых присутствуют все указанные лица.

В случае, если пользователь выбирает из двух лиц, не имеющих совместных фотографий, программа все равно выполняет полный анализ, однако результат отображается в виде отдельного уведомления в диалоговом окне (рис. 16), где содержится сообщение о том, что изображения, удовлетворяющие заданным условиям, не найдены.

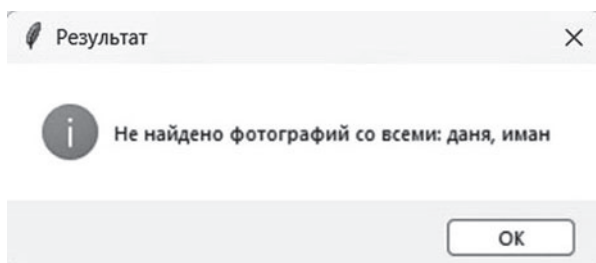


Рис. 16. Фотографии не найдены

Если в ходе работы пользователь пожелает начать с чистой базы, он может воспользоваться функцией сброса. Нажатие кнопки «Сбросить все лица» приводит к появлению диалогового окна с подтверждением (рис. 17). Это окно защищает от случайного удаления данных, так как предлагает подтвердить или отменить операцию.

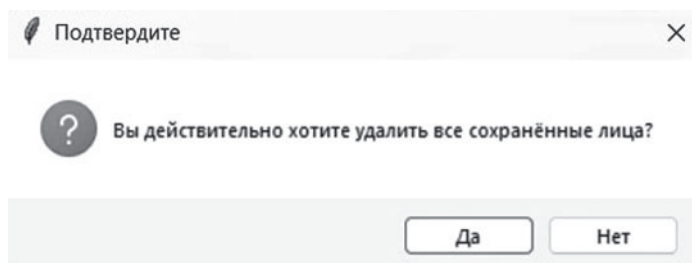


Рис. 17. Подтверждение сброса базы лиц

Если пользователь соглашается с удалением, программа выполняет очистку директории faces, в которой хранятся все изображения распознанных лиц. После завершения удаления появляется уведомление (рис. 18), подтверждающее, что база данных была успешно очищена. Это сообщение помогает избежать неоднозначностей, информируя пользователя о результате.

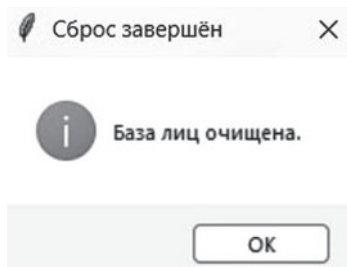


Рис. 18. Завершение сброса

Завершается сценарий возвращением к главному окну приложения (рис. 19), которое теперь возвращается в исходное состояние. При этом поле статуса очищается, база пустая, и пользователь может приступить к новому циклу работы с другим набором изображений.

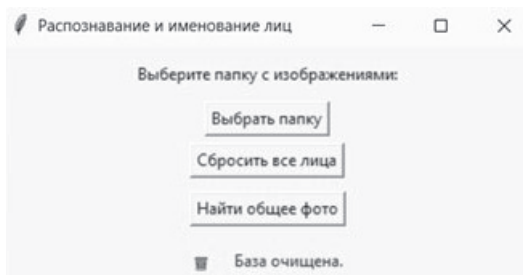


Рис. 19. Отображение на главном экране состояния базы

Таким образом, каждый этап работы пользователя тщательно визуализирован и поддерживается программно. Интуитивный графический интерфейс, продуманная логика навигации и обратная связь позволяют пользователю уверенно управлять процессом

распознавания, классификации и анализа лиц на изображениях. Сопровождение интерфейса всплывающими окнами, диалогами подтверждения и статусными сообщениями делает систему устойчивой, понятной и пригодной как для индивидуального, так и для профессионального использования.

Заключение

В ходе проведенного исследования была успешно разработана и протестирована локальная система организации фотогалереи FaceGallery, основанная на распознавании лиц с многофакторной фильтрацией. Реализованное программное решение доказало свою эффективность в решении ключевой задачи – автоматическом обнаружении, идентификации и, что наиболее важно, в фильтрации изображений по сложным запросам, требующим одновременного присутствия нескольких заданных лиц.

Основные научно-технические результаты работы:

1. Разработана и внедрена автономная архитектура, основанная на парадигме Edge Computing. Это позволило обеспечить полную локальную обработку данных, что исключает риски, связанные с передачей биометрической информации третьим сторонам, и гарантирует соответствие строгим требованиям конфиденциальности (GDPR, ФЗ-152).

2. Создано и экспериментально обосновано ядро распознавания на базе интеграции современных библиотек компьютерного зрения (face_recognition, ResNet), генерирующее высококачественные 128-мерные эмбединги лиц. Использование евклидовой метрики с адаптивным порогом подобия показало высокую точность идентификации.

3. Реализован уникальный алгоритм контекстно-зависимой фильтрации, который восполняет функциональный пробел, существующий у ведущих рыночных решений (Google Photos, Apple Photos). Алгоритм позволяет пользователю находить изображения, на которых присутствует заданная комбинация людей, что открывает новые возможности для семантического поиска в персональных архивах.

4. Обеспечена высокая производительность и оптимизация ресурсов за счет применения многопоточной обработки, алгоритмического сжатия входных изображений и интеллектуального кэширования биометрических дескрипторов. Это делает систему практичной для использования на стандартных пользовательских устройствах.

5. Предложен удобный и интуитивно понятный графический интерфейс, разработанный на Tkinter, который обеспечивает комфортное взаимодействие с системой на всех этапах работы от первичной загрузки и аннотации лиц до формирования сложных поисковых запросов и визуализации результатов.

Проведенные испытания подтвердили конкурентоспособность системы FaceGallery с облачными аналогами. Разработанное решение не только превосходит их по критерию конфиденциальности и стоимости владения, но и предлагает эксклюзивную функцию группового поиска, что является его ключевым конкурентным преимуществом.

Создана эффективная, безопасная и функциональная система для интеллектуальной организации персональных фотоархивов. Перспективы дальнейших исследований видятся в совершенствовании алгоритмов для работы в более сложных условиях (сильная окклюзия, низкое качество изображений), а также в расширении функционала за счет распознавания атрибутов (возраст, эмоции) и интеграции с облачными сервисами по желанию пользователя без ущерба для приватности.

Литература

- Титов, Гришина, Титова 2026 – *Титов А.П., Гришина Н.В., Титова Д.Н.* Концепция локального организера фотогалереи на основе распознавания с многофакторной фильтрацией лиц // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2026. № 1. С. 71–85. DOI: 10.28995/2686-679X-2026-1-71-85.
- Титов 2024a – *Титов А.П.* Анализ моделей адаптивных нейро-нечетких систем // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2024. № 1. С. 21–35.
- Титов 2024b – *Титов А.П.* Программная реализация модели CoActive Neuro-Fuzzy Inference System // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2024. № 2. С. 26–43.
- Ryan 2023 – *Ryan M., Massaron L.* Machine Learning for Tabular Data: XGBoost, Deep Learning, and AI. Shelter Island: Manning Publications, 2023. 320 p.
- Waskom 2021 – *Waskom M.* Seaborn: Statistical Data Visualization // Journal of Open Source Software. 2021. Т. 6, № 60. С. 3021.

References

- Titov A.P., Grishina N.V. and Titova, D.N. (2026), "The concept of a local photo gallery organizer based on recognition with multifactorial face filtering", *RSUH/RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series*, no. 1, pp. 71–85. DOI: 10.28995/2686-679X-2026-1-71-85.
- Titov, A.P. (2024a), "Analysis of models of adaptive neuro-fuzzy systems", *RSUH/RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series*, no. 1, pp. 21–35.
- Titov, A.P. (2024b), "Software implementation of the CoActive Neuro-Fuzzy Inference System", *RSUH/RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series*, no. 2, pp. 26–43.
- Ryan, M. and Massaron, L. (2023), *Machine Learning for Tabular Data: XGBoost, Deep Learning, and AI*, Manning Publications, Shelter Island, USA, 320 p.
- Waskom, M. (2021), Seaborn: Statistical Data Visualization, *Journal of Open Source Software*, vol. 6, no. 60, p. 3021.

Информация об авторах

Андрей П. Титов, кандидат технических наук, доцент, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия; 119454, Россия, Москва, пр-кт Вернадского, д. 78;

Институт кибербезопасности и цифровых технологий, Москва, Россия; 107076, Россия, Москва, ул. Стромынка, д. 20; titov_and@mail.ru

Наталья В. Гришина, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; 125047, Россия, Москва, Миусская пл., д. 6, стр. 6;

Московский государственный лингвистический университет, Москва, Россия; 119034, Россия, Москва, ул. Остоженка, д. 38, стр. 1; grnat@rambler.ru

Дарья Н. Титова, Образовательный центр «Протон», Москва, Россия; 121309, Россия, Москва, ул. Барклай, д. 15, корп. 3; daratitovaa@gmail.com

Information about the authors

Andrei P. Titov, Cand. of Sci. (Computer Science), associate professor, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia; 78, Vernadskii Av., Moscow, Russia, 119454;

Institute of Cybersecurity and Digital Technologies, Moscow, Russia; 20, Stromynka St., Moscow, Russia, 107076; titov_and@mail.ru

Natalia V. Grishina, Cand. of Sci. (Computer Science), associate professor, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; 6-6, Miusskaya Sq., Moscow, Russia, 125047;

Moscow State Linguistic University, Moscow, Russia; 38-1, Ostozhenka St., Moscow, Russia, 119034; grnat@rambler.ru

Daria N. Titova, Proton Educational Center, Moscow, Russia; 15-3, Barklaya St., Moscow, Russia, 121309; daratitovaa@gmail.com

Гибридные модели прогнозирования спроса
для управления складскими запасами:
дизайн, экспериментальная оценка
и интеграция с ERP/WMS

Джахед Рахмани

*Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ),
Россия, Москва, jahed@mail.ru*

Андрей Д. Рыбаков

*Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ),
Россия, Москва, Andrey_rybakov05@mail.ru*

Аннотация. В условиях высокой волатильности спроса традиционные методы управления запасами демонстрируют недостаточную точность из-за нелинейной динамики и сложных внешних факторов. Целью настоящего исследования является разработка, апробация и эмпирическая валидация гибридной системы прогнозирования спроса, интегрирующей методы прикладной информатики (*ARIMA*, *LSTM*, ансамблевые модели) для решения сложных задач прогнозирования и оптимизации управления запасами. Решение сложных задач прогнозирования спроса и управления запасами требует применения современных инструментальных средств прикладной информатики. В качестве методов использованы скользящий бектест на данных крупной логистической компании (1000 товарных позиций, 36 месяцев), оптимизация весов моделей по валидационной выборке и переход от точечного прогноза к квантильной политике пополнения запасов. Результаты показали снижение симметричной средней абсолютной процентной ошибки (*sMAPE*) на 18–19%, сокращение избыточных запасов на 12%, дефицита – на 40% и рост оборачиваемости на 19,5%. Научная новизна заключается в формализованной схеме взвешенной агрегации прогнозов и в интеграции оценок неопределенности в управленческую политику. Практическая значимость работы состоит в готовности решения к внедрению в системы *ERP/WMS* и обеспечении устойчивой эксплуатации через практики *MLOps*.

Ключевые слова: управление запасами, гибридные модели машинного обучения, прогнозирование спроса, авторегрессионная модель интегрированного скользящего среднего, долгосрочная краткосрочная память, градиентный бустинг, прикладная информатика

Для цитирования: Рахмани Д., Рыбаков А.Д. Гибридные модели прогнозирования спроса для управления складскими запасами: дизайн, экспериментальная оценка и интеграция с ERP/WMS // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2026. № 2. С. 59–67. DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-59-67

Hybrid models for demand forecasting in inventory management: design, experimental evaluation, and integration with ERP/WMS

Dzhakhed Rakhmani

*Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI),
Moscow, Russia, jahed@mail.ru*

Andrei D. Rybakov

*Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI),
Russia, Moscow, Andrey_rybakov05@mail.ru*

Abstract. Under conditions of high demand volatility, traditional inventory management methods demonstrate insufficient accuracy due to nonlinear dynamics and complex external factors. The aim of this study is to develop, test, and empirically validate a hybrid demand forecasting system that integrates applied informatics tools (ARIMA, LSTM, ensemble methods) to solve complex forecasting and inventory optimization problems. Solving complex demand forecasting and inventory management tasks requires the application of modern applied informatics tools. The methodology includes a rolling backtest on data from a major logistics company (1,000 stock-keeping units, 36 months), optimization of model weights on a validation set, and a shift from point forecasts to a quantile-based inventory replenishment policy. The results show an 18–19% reduction in symmetric mean absolute percentage error (sMAPE), a 12% decrease in excess inventory, a 40% reduction in stockouts, and a 19,5% increase in inventory turnover. The scientific novelty lies in a formalized weighted aggregation scheme and the integration of uncertainty estimates into managerial decision-making. The practical value consists of the solution's readiness for integration into ERP/WMS systems and its operational sustainability through MLOps practices.

Keywords: inventory management, hybrid machine learning models, demand forecasting, autoregressive integrated moving average, long short-term memory, gradient boosting, applied informatics

For citation: Rakhmani, D. and Rybakov, A.D. (2026), "Hybrid models for demand forecasting in inventory management: design, experimental evaluation, and integration with ERP/WMS", *RSUH/RGGU Bulletin. "Computer Science. Information Security. Mathematics" Series*, no. 2, pp. 59–67, DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-59-67

Введение

Современные цепочки поставок функционируют в условиях высокой неопределенности спроса, обусловленной как внутренними (изменения ассортимента, промоакции), так и внешними факторами (экономическая волатильность, геополитические риски). Традиционные методы управления запасами, такие как модель экономического размера заказа (*EOQ*) или экспоненциальное сглаживание, часто не справляются с нелинейной динамикой и многомерными зависимостями в данных [Хайндман, Атанасопулос 2021].

Обзор научной литературы подтверждает растущий интерес к гибридным подходам. Модель *ARIMA* эффективна при явной сезонности и стационарных трендах, но не улавливает нелинейные паттерны [Бокс, Дженкинс, Рейнсель 2015]. *LSTM* моделирует долгосрочные зависимости, однако чувствительна к выбросам и требует больших объемов данных [Chen, Guestrin 2016]. Ансамблевые методы, такие как *XGBoost*, успешно интегрируют категориальные и контекстные признаки [Zhang 2003]. Идея комбинирования линейных и нелинейных компонент для улучшения точности прогнозирования была предложена ранее [Лебедев, Петров 2023], однако ее практическая реализация и интеграция в корпоративные системы управления запасами остаются актуальной проблемой. Обзор современных гибридных подходов в логистике представлен в работе [Croston 1972].

Целью данного исследования является разработка, апробация и эмпирическая валидация гибридной системы прогнозирования спроса, сочетающей авторегрессионную модель интегрированного скользящего среднего (*ARIMA*), долгосрочную краткосрочную память (*LSTM*) и ансамблевые методы, для повышения эффективности управления складскими запасами. Исследовательские задачи формулируются следующим образом:

1. Оценить, улучшают ли гибридные модели точность (*sMAPE/MAE*) и устойчивость прогноза для товарных позиций с сезонностью и промоакциями по сравнению с традиционными и отдельными *ML*-моделями.

2. Определить, повышает ли использование квантильных прогнозов уровень сервиса при сопоставимых суммарных издержках хранения и дефицита.

3. Проанализировать, как изменяются бизнес-метрики (уровень сервиса, издержки, оборачиваемость) при переходе от точечного прогноза к политике пополнения на его основе.

Научная и методологическая основа

Формализуем гибридизацию. Прогноз формируется как взвешенная сумма:

$$y_t = w_1 \cdot y_t(ARIMA) + w_2 \cdot y_t(LSTM) + w_3 \cdot y_t(RF),$$

где веса w_i оптимизируются на валидационной выборке с минимизацией $sMAPE$. Альтернативно применяется стекинг с *Ridge*-регрессором в качестве метамоделей.

Для учета неопределенности используются квантильные версии *XGBoost* (*Quantile Regression*) и *QRNN*, оцениваемые по функции потерь *pinball-loss* [Gneiting 2011]. Для прерывистого спроса дополнительно тестируется модель *Croston/SBA* [Sambasivan 2021].

Предлагаемый подход реализован в виде следующих последовательных этапов:

1. Сбор и предобработка данных: консолидация исторических данных о продажах, промоакциях, ценах и внешних факторах; обработка пропусков и выбросов.

2. Генерация признаков: создание лаговых, статистических, календарных и событийных признаков для обучения моделей.

3. Обучение базовых моделей: независимое обучение моделей *ARIMA*, *LSTM* и градиентного бустинга (*XGBoost*).

4. Взвешенная агрегация прогнозов: оптимизация весов для линейной комбинации прогнозов базовых моделей или использование стекинга.

5. Формирование квантильных прогнозов: генерация интервальных прогнозов для оценки неопределенности спроса.

6. Интеграция с системой управления запасами: реализация политики пополнения (s, S) на основе квантильных прогнозов и подключение к *ERP/WMS* через *API* в соответствии со стандартом *ISA95*¹.

¹ ISA95 Standard: Enterprise-Control System Integration. Part 1–5 // International Society of Automation, 2022. URL: <https://www.isa.org/standards/isa95> (дата обращения: 18.10.2025).

Эксперимент и анализ результатов

Методика была апробирована на реальных данных крупной логистической компании (сфера розничной дистрибуции). Используются данные крупной логистической компании: 1000 товарных позиций, 36 месяцев истории, с разметкой промоакций, праздников, цен и событий вывода/ввода позиций. Применен скользящий бектест с окнами обучения $12 \rightarrow 1$, $18 \rightarrow 3$ и $24 \rightarrow 6$ месяцев. Позиции разделены на группы: сезонные, чувствительные к промоакциям, с прерывистым спросом.

Бейзлайны: *Naïve*, *ETS*, *Prophet*, чистая *LSTM*, чистый *XGBoost*. Сравнение выполнено с помощью теста Дибольда-Мариано и оценки эффекта (*Cliff's δ*); доверительные интервалы получены бутстрэпом по позициям (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение моделей по точности прогнозирования
(среднее $\pm 95\%$ доверительный интервал)

Модель	sMAPE, %	MAE
Naïve	$28,7 \pm 1,2$	$4,3 \pm 0,2$
ETS	$26,1 \pm 1,1$	$3,9 \pm 0,2$
Prophet	$25,8 \pm 1,0$	$3,8 \pm 0,2$
LSTM	$24,5 \pm 0,9$	$3,5 \pm 0,1$
XGBoost	$24,3 \pm 0,8$	$3,4 \pm 0,1$
Гибридная модель	$20,1 \pm 0,7$	$2,8 \pm 0,1$

Примечание: разница с бейзлайнами статистически значима при $\alpha = 0,05$.

Результаты показали, что гибридная модель снижает *sMAPE* на 18% против *ETS* и на 19% против *LSTM*. Наибольший эффект наблюдается для сезонных позиций (табл. 2).

Таблица 2

Экономический эффект
симуляции политики пополнения (s, S)

Метрика	До	После	Изменение
Fill rate	89,1%	92,3%	+3,2
Holding cost	1,25 млн руб.	1,20 млн руб.	−4,0
Stockout cost	0,87 млн руб.	0,52 млн руб.	−40,2
Оборачиваемость	4,1 млн руб.	4,9 млн руб.	+19,5

Квантильная политика пополнения повысила уровень сервиса на 3,2 процентных пункта при значительном снижении издержек дефицита.

Проблемы внедрения и предложения

Внедрение системы сопряжено с рядом вызовов. Разнородность источников данных и несогласованность кодов товарных позиций решаются через практики *DataOps* и автоматическую генерацию признаков с контролем утечки будущего. Архитектурная интеграция с *ERP/WMS* обеспечивается через *REST API* и стандартизированные *JSON*-схемы [Sambasivan 2021]. Для баланса точности и латентности применяются облегченные *LSTM* и пакетная обработка. Операционная устойчивость обеспечивается практиками *MLOps*, включая мониторинг дрейфа и механизмы отката [Najafabadi, Bogner, Gerostathopoulos, Lago 2024]. Важным аспектом является преодоление разрыва между логистами и специалистами по данным через интерпретируемые отчеты и обучение.

Заключение

Разработанная гибридная модель машинного обучения продемонстрировала статистически значимое улучшение точности прогнозирования спроса и экономически измеримый прирост эффективности управления запасами по сравнению с традиционными методами и одиночными моделями. Научная ценность работы заключается в формализованной архитектуре, сочетающей линейные [Бокс, Дженкинс, Рейнсель 2015], нелинейные [Chen, Guestrin

2016] и контекстные компоненты [Zhang 2003; Croston 1972], и в эмпирическом подтверждении их экономической эффективности. Практическая значимость состоит в решении ключевых проблем внедрения, таких как интеграция с *ERP/WMS* системами [Sambasivan 2021] и обеспечение операционной устойчивости через практики *MLOps* [Najafabadi, Bogner, Gerostathopoulos, Lago 2024].

Перспективы дальнейших исследований включают внедрение онлайн-обучения для адаптации к изменяющимся условиям, интеграцию внешних данных (погода, макроэкономические индексы) и апробацию более сложных архитектур, таких как *Temporal Fusion Transformer*.

Литература

- Бокс, Дженкинс, Рейнсель 2015 – Бокс Дж.Э.П., Дженкинс Г.М., Рейнсель Г.Ц. Анализ временных рядов. Прогнозирование и управление. М.: Вильямс, 2015. 768 с.
- Лебедев, Петров 2023 – Лебедев Д.С., Петров К.А. Гибридные модели машинного обучения в управлении цепями поставок: обзор современных подходов // Информационные технологии. 2023. № 5. С. 41–50.
- Хайндман, Атанасопулос 2021 – Хайндман Р.Дж., Атанасопулос Г. Прогнозирование: принципы и практика. М.: ДМК Пресс, 2021. 528 с.
- Chen, Guestrin 2016 – Chen T., Guestrin C. XGBoost: A scalable tree boosting system // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. San Francisco, CA, USA, 13–17 August 2016. New York: ACM, 2016. P. 785–794. DOI: 10.1145/2939672.2939785.
- Croston 1972 – Croston J.D. Forecasting and stock control for intermittent demands // Journal of the Operational Research Society. 1972. Vol. 23. No. 3. P. 289–303. DOI: 10.1057/jors.1972.50.
- Gneiting 2011 – Gneiting T. Quantiles as optimal point forecasts // International Journal of Forecasting. 2011. Vol. 27. No. 2. P. 197–207. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2009.12.015.
- Najafabadi, Bogner, Gerostathopoulos, Lago 2024 – Najafabadi F.A., Bogner J., Gerostathopoulos I., Lago P. An Analysis of MLOps Architectures: A Systematic Mapping Study // Software Architecture. ECSA 2024 Tracks and Workshops. Cham: Springer, 2024. P. 69–85.
- Sambasivan 2021 – Sambasivan N. et al. Everyone wants to do the model work, not the data work: Data cascades in high-stakes AI // Communications of the ACM. 2021. Vol. 65. No. 3. P. 78–87. DOI: 10.1145/3459123
- Zhang 2003 – Zhang G.P. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model // Neurocomputing. 2003. Vol. 50. P. 159–175. DOI: 10.1016/S0925-2312(01)00702-0.

References

- Boks, Dzh. E.P., Dzhenkins, G.M. and Reinsel G.Ts. (2015), *Analiz vremennykh ryadov. Prognozirovaniye i upravleniye* [Time Series Analysis: Forecasting and Control], Vil'yams, Moscow, Russia.
- Chen, T. and Guestrin, C. (2016), "XGBoost: A scalable tree boosting system", *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, San Francisco, CA, USA, 13–17 August 2016, ACM, New York, USA, pp. 785–794, DOI: 10.1145/2939672.2939785.
- Croston, J.D. (1972), "Forecasting and stock control for intermittent demands", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 23, no. 3, pp. 289–303. DOI: 10.1057/jors.1972.50.
- Gneiting, T. (2011), "Quantiles as optimal point forecasts", *International Journal of Forecasting*, vol. 27, no. 2, pp. 197–207. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2009.12.015.
- Hyndman R.J. and Athanasopoulos G. (2021), *Prognozirovaniye: printsipy i praktika* [Forecasting: Principles and Practice], DMK Press, Moscow, Russia.
- Lebedev, D.S. and Petrov, K.A. (2023), "Hybrid machine learning models in supply chain management: A review of modern approaches", *Informatsionnye tekhnologii*, vol. 5, pp. 41–50.
- Najafabadi, F.A., Bogner, J., Gerostathopoulos, I. and Lago, P. (2024), "An Analysis of MLOps Architectures: A Systematic Mapping Study", *Software Architecture. ECSA 2024 Tracks and Workshops*, Springer, Cham, Switzerland, pp. 69–85.
- Sambasivan, N. et al. (2021), "Everyone wants to do the model work, not the data work: Data cascades in high-stakes AI", *Communications of the ACM*, vol. 65, no. 3, pp. 78–87. DOI: 10.1145/3459123.
- Zhang, G.P. (2003) "Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model", *Neurocomputing*, vol. 50, pp. 159–175. DOI: 10.1016/S0925-2312(01)00702-0.

Информация об авторах

Джахед Рахмани, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), Москва, Россия; 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8А; jahed@mail.ru

Андрей Д. Рыбаков, студент, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), Москва, Россия; 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8А; Andrey_rybakov05@mail.ru

Information about the authors

Dzhakhed Rakhmani, Moscow technical university of communications and informatics (MTUCI), Moscow, Russia; 8A, Aviamotornaya St., Moscow, Russia, 111024; jahed@mail.ru

Andrei D. Rybakov, student, Moscow technical university of communications and informatics (MTUCI), Moscow, Russia; 8A, Aviamotornaya St., Moscow, Russia, 111024; Andrey_rybakov05@mail.ru

Информационная безопасность

УДК 004

DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-68-80

Динамика формирования кластера знаний в области применения искусственного интеллекта при решении задач обеспечения информационной безопасности

Валерий В. Арутюнов

*Независимый исследователь, Москва, Россия,
warut698@yandex.ru*

Наталия В. Гришина

*Российский государственный гуманитарный
университет, Москва, Россия;
Московский государственный лингвистический
университет, Москва, Россия, gmat@rambler.ru*

Аннотация. В работе выявлены особенности изменения наукометрических показателей (публикационной активности, цитируемости и др.) по итогам исследований ученых России в 2016–2024 гг. в области применения искусственного интеллекта (ИИ) при решении задач защиты информации; определены направления исследований в этом секторе науки, итоги работ по которым отличаются высокой востребованностью. В их числе выделяются: вопросы правового регулирования при использовании ИИ; влияние ИИ на сферу современного образования; возможности и границы применения ИИ в корпоративном управлении; опыт и перспективы использования ИИ в банках; проблемы квалификации и расследования преступлений, совершаемых с использованием ИИ.

Определены особенности изменения вышеуказанных показателей, в том числе их экстремумы, а также взрывной рост публикаций с 2018 г. в анализируемой сфере знаний; выявлены организации России, итоги исследований которых в области ИИ, используемого для обеспечения защиты информации, активно востребуются другими организациями страны.

Работа была выполнена с использованием баз данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Отмечается, что инструментарий РИНЦ позволяет выявлять ученых и специалистов, чьи результаты исследований за рассматриваемый период отличались повышенной востребованностью научного сообщества.

© Арутюнов В.В., Гришина Н.В., 2026

Приводятся некоторые данные (в том числе экономические) о применении ИИ в различных сферах экономики стран (металлургии, разведывательной деятельности и др.).

Ключевые слова: информационная безопасность, публикационная активность, защита информации, искусственный интеллект, цитируемость, востребованность результатов работ

Для цитирования: Арутюнов В.В., Гришина Н.В. Динамика формирования кластера знаний в области применения искусственного интеллекта при решении задач обеспечения информационной безопасности // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2026. № 2. С. 68–80. DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-68-80

Dynamics of the formation of a knowledge cluster in the field of applying Artificial Intelligence in solving information security problems

Valerii V. Arutyunov

Independent researcher, Moscow, Russia, warut698@yandex.ru

Natalia V. Grishina

Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia;

Moscow State Linguistic University, Moscow, Russia,

gmat@rambler.ru

Abstract. The paper identifies the features of changes in scient metric indicators (publication activity, citation and relevance) of research results of Russian scientists in 2016–2024 in the field of Artificial Intelligence (AI) application in solving information security problems; identifies research areas in the subject area, the results of which are in high demand. These include: issues of legal regulation in the use of AI; the impact of AI on modern education; the possibilities and limitations of using AI in corporate management; the experience and prospects of using AI in banks; problems of qualification and investigation of crimes committed using AI.

The features of changes in the above indicators, including their extremes, as well as the explosive growth of publications in the analyzed field of knowledge since 2018 have been identified; Russian organizations have been identified as those, whose results of AI research used to protect information are actively requested by other organizations in the country.

The work was carried out using database of Russian Science Citation Index (RSCI).

It is noted that the RSCI toolkit also makes it possible to identify scientists and specialists whose research results during the period under review were in high demand by the scientific community.

Some data (including economic data) on the use of AI in various sectors of the economy (metallurgy, intelligence activities, etc.) are presented.

Keywords: information security, publication activity, information protection, Artificial Intelligence, citation, relevance of research results

For citation: Arutyunov, V.V. and Grishina, N.V. (2026), “Dynamics of the formation of a knowledge cluster in the field of applying Artificial Intelligence in solving information security problems”, *RSUH/RGGU Bulletin. “Computer Science. Information Security. Mathematics” Series*, no. 2, pp. 68–80, DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-68-80

Введение

Основной целью выполненного исследования является выявление на основе наукометрических показателей результативности и востребованности итогов научной деятельности российских ученых в 2016–2024 гг. в области применения искусственного интеллекта при решении задач обеспечения информационной безопасности (ИБ).

В октябре 2019 г. указом Президента России была утверждена «Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года»¹. В ней приводится современное определение искусственного интеллекта как «комплекса технологических решений, позволяющего имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека». Этот комплекс включает информационно-коммуникационную инфраструктуру, специальное программное обеспечение (ПО) (в том числе ПО, в котором используются методы машинного обучения), процессы и сервисы по обработке данных и поиску решений. При этом в документе отмечается, что одним из основных направлений создания комплексной системы нормативно-правового регулирования общественных

¹ Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года (Указ Президента РФ от 10.10.2019, № 490) // СПС «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/ (дата обращения: 22.12.2025).

отношений, связанных с развитием и использованием технологий ИИ, является разработка требований информационной безопасности в отношении технологий ИИ.

К настоящему времени более 60 стран уже разработали и утвердили собственные национальные стратегии развития ИИ, и число их в дальнейшем с учетом современных реалий, когда ИИ начинает широко использоваться во многих секторах экономики и науки, естественно, будет только увеличиваться.

В наши дни при использовании ИИ можно осуществлять: выявление закономерностей, скрытно существующих в данных и знаниях; извлечение данных из изображений и знаний из больших массивов данных; распознавание и классификацию объектов, жестов и текстов; автоматические переводы, а также осуществлять прогнозирование в различных секторах экономики и науки на основе имеющихся больших объемов данных в соответствующем секторе [Авдеенко, Алетдинова 2017; Афанасьева 2020; Бутенко 2024; Варламов 2023; Гудков, Лаута, Иванов, Соловьев 2018; Итинсон, Чиркова 2021; Киселёв 2021; Москалев, Клименок-Кутина 2018; Кошкин 2019; Самсонович, Фокина 2018].

Анализ открытых публикаций в области ИИ за последние 10 лет показал, что основными сферами их применения в экономике, науке и технике являются следующие (в алфавитном порядке):

- анализ поведения граждан;
- военное дело и оборона;
- жилищно-коммунальное хозяйство;
- здравоохранение;
- криминалистика;
- образование;
- промышленность;
- спорт;
- судебная система.

Но иногда ИИ находит неожиданное применение и в других сферах. Так, например, в 2024 г. ИИ помог в Великобритании раскрыть тайну произведения Рафаэля «Мадонна с розой». Было обнаружено, что лицо святого Иосифа в левом верхнем углу картины написано не самим живописцем.

В 2024 г. Министерство внутренней безопасности США представило дорожную карту безопасного применения технологий ИИ. Мероприятия, описанные в карте, должны обеспечить ускоренное внедрение ИИ-систем для обеспечения высокого уровня национальной безопасности США.

Летом 2025 г. главой МИ-6 (службы внешней разведки Великобритании) была назначена Блейз Метревели. До этого назначения

она являлась генеральным директором отдела Q МИ-6 по технологиям и инновациям. В английской прессе отметили, что Метревели сумела еще до своего назначения главой МИ-6 превратить возглавляемый ею отдел из инженерной лаборатории в колыбель ИИ в МИ-6, владеющей набором специализированных ИИ-модулей, способных зафиксировать любую нестабильность в мире и сгенерировать соответствующий алгоритм реагирования на нее².

В сентябре 2025 г. на X Восточном экономическом форуме во Владивостоке были представлены первые разработки проекта цифрового стратегического планирования «ИИ-Госплан 2.0».

«ИИ-Госплан 2.0» конструируется на основе технологий ИИ и ставит целью построение цифровой модели стратегического планирования на уровне государства. В ее задачи должны войти распределение ресурсов между отраслями, определение приоритетов технологического развития и координация процессов импортозамещения. Система должна содействовать выявлению и устранению неэффективных технологических цепочек, планированию загрузки производственных мощностей, а также прогнозированию потребности в кадрах, оборудовании и сырье; важнейшим элементом системы является координация НИОКР и интеграция предприятий в кооперационные сети и промышленные кластеры.

Выделим некоторые конкретные финансовые достижения российских предприятий при активном использовании ИИ в промышленности с учетом обеспечения ИБ.

Компания «Норильский никель»: использование ИИ повысило долю извлечения металлов из руды на 2,5%, что привело к приросту прибыли в несколько млрд руб. ежегодно.

В Магнитогорском металлургическом комбинате при использовании ИИ для прогнозирования температуры в электросталеплавильном цехе полученный экономический эффект превысил 4,5 млрд руб. за последние пять лет за счет снижения простоев и оптимизации процессов³.

Важно упомянуть, что ИИ с 2016 г. начинает активно использоваться не только в металлургической сфере деятельности в России, но и в нефтегазовой промышленности, а именно, когда стали использоваться искусственные нейронные сети с учетом защиты

² Кондрашов А. Не наши люди // Аргументы недели. 2025. № 50 (998). С. 20. URL: <https://klan.argumenti.ru/product/argumenty-nedeli-998> (дата обращения 22.12.2025).

³ Чуйков А. Искусственный интеллект: мессия или молоток? // Аргументы недели. 2025. № 49 (997). С. 10. URL: <https://klan.argumenti.ru/product/argumenty-nedeli-997> (дата обращения: 22.12.2025).

данных в цифровых месторождениях страны [Иманов, Пономарева, Серебрянский 2018].

Активное использование ИИ во многих сферах экономики и науки объясняется рядом факторов. Во-первых, ИИ ускорил поиск необходимой информации если не в десятки раз, то во многое число раз. Во-вторых, он популяризирует грамотную речь и корректность в общении, что резко контрастирует с тем, как зачастую пользователи общаются в Интернете. При этом не стоит забывать, что ИИ не способен к творчеству, так как он может что-то создавать только на основе того, что создало человечество. И он не может направить людей по пути справедливости – это может сделать человечество, группа людей или даже отдельный человек.

Ускоренное развитие технологий ИИ за последние 10 лет обеспечило в наши дни значительный рост инвестиций в их разработку, реализацию и развитие, в том числе в сфере ИБ. Так, объем государственного финансирования в области ИИ в России в 2020–2025 гг. оценивается в 5 млрд руб. (для сравнения за этот же период: на США приходится около 300 млрд долларов, на Китай – 125 млрд, на страны Европейского союза – 45 млрд долларов)⁴.

Широкому внедрению ИИ в России препятствует ряд факторов, при этом ключевым препятствием на пути широкого использования систем, где используются ИИ (в том числе для обеспечения решения задач ИБ), можно считать высокую неоднородность данных информационных систем. Среди других барьеров, которые могут сдерживать широкое применение ИИ во многих российских компаниях, можно выделить отсутствие необходимой ИТ-инфраструктуры, недостаток полной информации о широком спектре возможностей ИИ, недостаточную подготовленность кадров в этой сфере и ряд других.

Наукометрические показатели итогов работ российских ученых в исследуемой области знаний

С конца XX в. итоги работ ученых в мире в различных сферах науки оцениваются в том числе по количественным результатам на базе наукометрических показателей результатов научной деятельности (публикационной активности P , цитируемости C и др.) [Арутюнов, Гришина 2020; Глушановский, Цветкова, Тютюнник 2021; Мазов, Гуреев, Эпов 2015; Цветкова, Мохначева 2019].

⁴ Там же.

На рис. 1 представлена динамика изменения количества публикаций российских ученых в 2016–2024 гг. и их цитируемости в области применения ИИ для обеспечения ИБ, полученная на основе сведений из созданных в Научной электронной библиотеке России баз данных Российского индекса научного цитирования⁵.

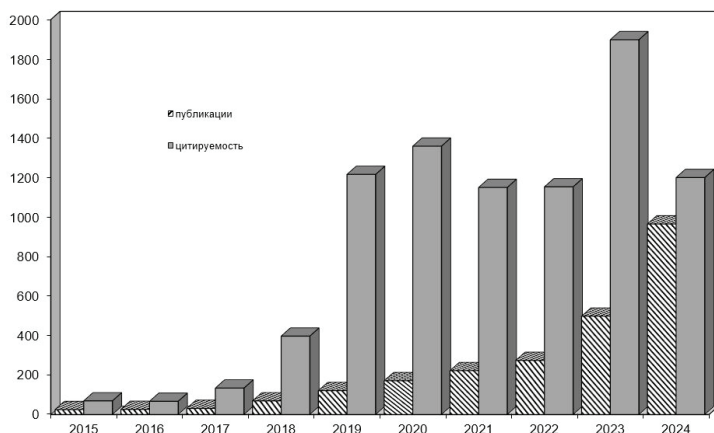


Рис. 1. Публикационная активность и цитируемость российских исследователей в области применения ИИ при решении задач обеспечения ИБ

Из рисунка видно, что показатель P вплоть до 2024 г. возрастал достаточно интенсивно, что является достаточно редким событием и свидетельствует о непрерывно нарастающем интересе ученых к анализируемой области исследований.

При этом в 2024 г. показатель P вырос более чем в 30 раз по сравнению с его значением в 2015 г.

В 2017–2023 гг. отмечался рост показателя C , когда в 2023 г. его значение достигло максимума и почти в 30 раз превысило C в 2015 г.; по сравнению с 2023 г. значение C в 2024 г. уменьшилось почти на треть.

На рис. 2 приводится динамика изменения за исследуемый период показателя востребованности V , определяемого соотношением C/P для результатов исследований в анализируемой области знаний [Арутюнов 2020].

⁵ Российский индекс научного цитирования. URL: <https://elibrary.ru/querybox.asp?score=newquery> (дата обращения: 22.12.2025).

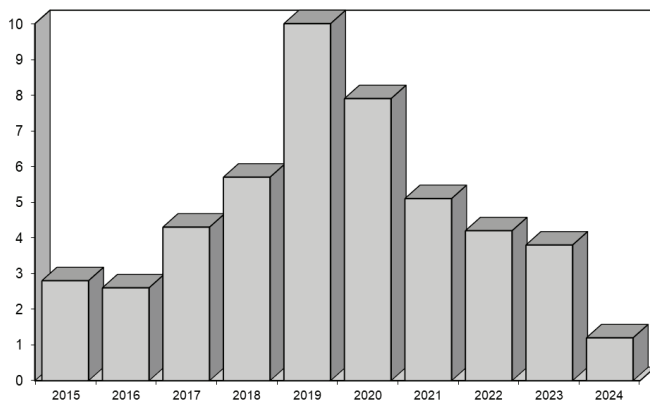


Рис. 2. Показатели востребованности итогов работ российских исследователей в области применения ИИ при решении задач обеспечения ИБ

Из рисунка следует, что максимум V наблюдался в 2019 г., когда он более чем в три раза превысил значение V в 2015 г.; с 2020 г. значение V уменьшалось, достигнув минимума в 2024 г.

По результатам анализа также выявлены основные направления работ в России в анализируемой области исследований, итоги которых вызывают повышенное внимание со стороны различных секторов научного сообщества.

В их число вошли:

1. Вопросы правового регулирования при использовании ИИ.
2. Влияние ИИ на сферу современного образования.
3. Возможности и границы применения ИИ в корпоративном управлении.
4. Опыт и перспективы использования ИИ в банках.
5. Проблемы квалификации и расследования преступлений, совершаемых с использованием ИИ.

По первому направлению у российского научного сообщества особый интерес вызывает организация системы внешнего аудита ИИ-решений для правоохранительной и судебной сфер.

При создании и внедрении ИИ в сфере образования важно, чтобы распространение технологий ИИ в областях от начального до высшего образования сопровождалось специальным социально-гуманитарным экспертным консультированием.

В третьем направлении исследований в качестве базовой сферы использования ИИ в корпоративном управлении определяется

процесс принятия управленческих решений на уровне совета директоров корпорации; при этом сами возможности ИИ фиксируются для определения повышения эффективности принятия управленческих решений.

При использовании ИИ для расчета эффективности инвестиций без воздействия человеческого фактора, принятия управленческих решений, в том числе для оптимизации работы с клиентами банков, целесообразно принятие решений без учета личностного подхода, который может наложить негативный отпечаток на отдельные элементы банковской деятельности.

В пятом направлении отмечается недостаточное количество специально подготовленных кадров в сфере разработки и использования ИИ в области криминалистики, слабая подготовленность правоприменителей в борьбе с непрерывно расширяющимся в последние годы спектром киберугроз.

По результатам анализа в исследуемой предметной области были выявлены следующие организации-лидеры в создании наиболее востребованных итогов работ российских исследователей, в числе которых выделяются следующие три организации:

- Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана;
- Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова;
- Московский государственный юридический университет им. О.Е. Кутафина.

Заключение

В работе рассмотрены особенности изменения наукометрических показателей итогов исследований российских ученых в 2016–2024 гг. в области применения ИИ для решения задач обеспечения ИБ, которые отражены в соответствующих публикациях и при их цитировании характеризуют динамику востребованности V этих результатов работ за указанный период; выявлены пять вышеуказанных направлений исследований в анализируемой области, результаты работ по которым отличаются высокими показателями V ; определена тройка российских организаций – лидеров в создании наиболее востребованных итогов работ российских исследователей. Необходимо отметить, что инструментарий РИНЦ позволяет также выявлять ученых и специалистов, чьи результаты исследований за рассматриваемый период пользовались повышенной востребованностью научного сообщества [Арутюнов 2020]. Так, например, в области правового регулирования вопросов при

использовании ИИ максимальной востребованностью отличались итоги работ П.М. Морхата [Морхат 2017].

Необходимо отметить, что развитие и активное применение ИИ при решении задач в области ИБ в мире и в России приводит к необходимости учета ряда этических проблем. Они затрагивают различные этические аспекты разработки и внедрения систем ИИ в различных сферах жизнедеятельности общества: в здравоохранении, судебной системе, образовании и жилищно-коммунальной сфере (в том числе в первую очередь при внедрении технологии «Умный дом»), а также при учете влияния проблемы защиты персональных данных на этические аспекты при внедрении ИИ-систем.

В то же время следует заметить, что по мнению авторов использование ИИ в сфере ИБ не сможет в течение многих ближайших десятилетий полностью заменить специалистов, обеспечивающих решение задач в области ИБ. Это связано с тем, что научить ИИ мыслить и принимать решения, как это делает человек, является задачей, которая и в этом столетии вряд ли еще будет решена, в том числе и потому, что в наши дни мозг человека – это не открытая книга даже для его исследователей, и далеко не все процессы мозговой деятельности человека представляют для специалистов ясную, например, биологическую картину.

Искусственному интеллекту также недоступно, например, распознавание настроения и эмоций клиента, с которым он может вступать во взаимодействие.

ИИ в вышеуказанном случае может выступать лишь в качестве помощника (автоматизированного инструмента) для сотрудника службы ИБ с целью более оперативного и эффективного выполнения основных задач по обеспечению ИБ организации.

Применение ИИ при решении задач ИБ может позволить лишь обеспечить более оперативный уровень реализации защиты соответствующих элементов защиты автоматизированных систем. При этом решение о реагировании на тот или иной инцидент ИБ принимает сотрудник службы ИБ.

Литература

- Авдеевко, Алетдинова 2017 – Авдеевко Т.В., Алетдинова А.А. Цифровизация экономики на основе совершенствования экспертных систем управления знаниями // Науч.-техн. вед. Санкт-Петербургского гос. политехн. ун-та. Экономические науки. 2017. Т. 10. № 1. С. 7–18.
- Арутюнов 2020 – Арутюнов В.В. Научометрические показатели исследователей-лидеров научной деятельности в области информационной безопасности //

- Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2020. № 2. С. 46–56.
- Арутюнов, Гришина 2020 – *Арутюнов В.В., Гришина Н.В.* Научные кластеры России в области информационных технологий // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2020. № 1. С. 8–24.
- Афанасьева 2020 – *Афанасьева Д.В.* Применение искусственного интеллекта в обеспечении безопасности данных // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 2. С. 151–154.
- Бутенко 2024 – *Бутенко Е.Д.* Искусственный интеллект в банках сегодня: опыт и перспективы // Финансы и кредит. 2018. Т. 24. № 1 (769). С. 143–153.
- Варламов 2023 – *Варламов О.О.* Создание больших знаний и расширение областей применения миварных технологий логического искусственного интеллекта // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. № 4 (32). С. 30–41.
- Глушановский, Цветкова, Тютюнник 2021 – *Глушановский А.В., Цветкова В.А., Тютюнник В.М.* Особенности потоков российских публикаций по отдельным научным направлениям // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2021. № 8. С. 31–37.
- Гудков, Лаута, Иванов, Соловьев 2018 – *Гудков М.А., Лаута О.С., Иванов Д.А., Соловьев Д.В.* Применение методов искусственного интеллекта в задачах обеспечения информационной безопасности // Современные информационные технологии. Теория и практика: Материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. / Отв. ред. Т.О. Петрова. Череповец: Череповецкий гос. ун-т, 2018. С. 162–166.
- Иманов, Пономарева, Серебрянский 2018 – *Иманов Р.А., Пономарева С.В., Серебрянский Д.И.* Развитие цифровой экономики: искусственный интеллект в отечественном промышленном производстве // Региональные проблемы преобразования экономики. 2018. № 6 (92). С. 5–11.
- Итинсон, Чиркова 2021 – *Итинсон К.С., Чиркова В.М.* К вопросу о влиянии искусственного интеллекта на сферу современного образования // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2021. Т. 10. № 1 (34). С. 299–301.
- Киселёв 2021 – *Киселёв А.С.* О необходимости правового регулирования в сфере искусственного интеллекта: дипфейк как угроза национальной безопасности // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Юриспруденция. 2021. № 3. С. 54–64.
- Кошкин 2019 – *Кошкин Р.П.* Искусственный интеллект и кибернетические угрозы национальной безопасности России в современных условиях // Стратегические приоритеты. 2019. № 2 (22). С. 13–26.
- Мазов, Гуреев, Эпов 2015 – *Мазов Н.А., Гуреев В.Н., Эпов М.И.* Российские публикации и журналы по наукам о Земле в международных базах данных // Вестник РАН. 2015. Т. 85. № 1. С. 26–31.
- Морхат 2017 – *Морхат П.М.* Искусственный интеллект: правовой взгляд. М.: КТ «Буки-Веди», 2017. 257 с.

- Москалев, Клименок-Кудинова 2018 – *Москалев С.М., Клименок-Кудинова Н.В.* Искусственный интеллект и интернет вещей как инновационные методы совершенствования агропромышленного сектора // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018. № 52. С. 121–130.
- Самсонович, Фокина 2018 – *Самсонович О.О., Фокина Е.А.* Искусственный интеллект – новые реалии // Междунар. журнал приклад. и фундамент. исслед. 2018. № 5. С. 257–263.
- Цветкова, Мохначева 2019 – *Цветкова В.А., Мохначева Ю.В.* Библиометрические оценки научной деятельности: особенности использования основных инструментов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2019. № 5. С. 25–36.

References

- Afanas'eva, D.V. (2020), "Application of Artificial Intelligence in Ensuring Data Security", *News of the Tula state university. Technical sciences*, no. 2, pp. 151–154.
- Arutyunov, V.V. (2020), "Scientometric Indicators of Leading Researchers in the Field of Information Security", *RSUH/RGGU Bulletin. "Computer Science. Information Security. Mathematics" Series*, vol. 2, pp. 46–56.
- Arutyunov, V.V. and Grishina, N.V. (2020), "Scientific Clusters of Russia in the Field of Information Technologies", *RSUH/RGGU Bulletin. "Computer Science. Information Security. Mathematics" Series*, vol. 1, pp. 8–24.
- Avdeenko, T.V. and Aletdinova, A.A. (2017), "Digitalization of the economy based on the improvement of expert knowledge management systems", *Saint Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, vol. 10, no. 1, pp. 7–18.
- Butenko, E.D. (2024), "Artificial Intelligence in Banks Today: Experience and Prospects", *Finance and Credit*, vol. 24, no. 1 (769), pp. 143–153.
- Glushanovskii, A.V., Tsvetkova, V.A. and Tyutyunnik, V.M. (2021), "Features of the Flows of Russian Publications in Selected Scientific Fields", *Devices and Systems. Management, control, diagnostics*, no. 8, pp. 31–37.
- Gudkov, M.A., Lauta, O.S., Ivanov, D.A. and Solov'ev, D.V. (2018), "Application of Artificial Intelligence methods in the tasks of ensuring information security", in Petrova, T.O. (ed.), *Modern information technologies. Theory and practice: Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference*, Cherepovets State University, Cherepovets, Russia, pp. 162–166.
- Imanov, R.A., Ponomareva, S.V. and Serebryanskii, D.I. (2018), "Development of the digital economy: Artificial Intelligence in domestic industrial production", *Regional problems of economic transformation*, no. 6 (92), pp. 5–11.
- Itinson, K.S. and Chirkova, V.M. (2021), "On the Influence of Artificial Intelligence on the Field of Modern Education", *Azimuth of Scientific Research: Pedagogy and Psychology*, vol. 10, no. 1 (34), pp. 299–301.

- Kiselev, A.S. (2021), "On the Need for Legal Regulation in the Field of Artificial Intelligence: Deepfake as a Threat to National Security", *Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Jurisprudence*, no. 3, pp. 54–64.
- Koshkin, R.P. (2019), "Artificial Intelligence and cybernetic threats to Russia's National Security in the current conditions", *Strategic Priorities*, no. 2 (22), pp. 13–26.
- Mazov, N.A., Gureev, V.N. and Epov, M.I. (2015), "Russian publications and journals on earth sciences in international databases", *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, vol. 85, no. 1, pp. 26–31.
- Morkhat P.M. (2017), *Iskusstvennyi intellekt: pravovoi vzglyad* [Artificial Intelligence: a legal view], КТ "Buki-Vedi", Moscow, Russia.
- Moskalev, S.M. and Klimenok-Kudinova, N.V. (2018), "Artificial Intelligence and the Internet of Things as innovative methods for improving the agro-industrial sector", *Izvestiya of the St. Petersburg State Agrarian University*, no. 52, pp. 121–130.
- Samsonovich, O.O. and Fokina, E.A. (2018), "Artificial Intelligence – new realities", *International Journal of Applied and Fundamental Research*, no. 5, pp. 257–263.
- Tsvetkova, V.A. and Mokhnacheva, Yu.V. (2019), "Bibliometric assessments of scientific activity: features of using the main tools", *Devices and Systems. Management, Control, Diagnostics*, no. 5, pp. 25–36.
- Varlamov, O.O. (2023), "Creation of big knowledge and expansion of the application areas of mivar technologies of logical Artificial Intelligence", *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*, no. 4 (32), pp. 30–41.

Информация об авторах

Валерий В. Арутюнов, доктор технических наук, независимый исследователь, Москва, Россия; warut698@yandex.ru

Наталья В. Гришина, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; 125047, Россия, Москва, Миусская пл., д. 6, стр. 6;

Московский государственный лингвистический университет, Москва, Россия; 119034, Россия, Москва, ул. Остоженка, д. 38, стр. 1; grnat@rambler.ru

Information about the authors

Valerii V. Arutyunov, Dr. of Sci. (Computer Science), independent researcher, Moscow, Russia; warut698@yandex.ru

Natalia V. Grishina, Cand. of Sci. (Computer Science), associate professor, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; 6-6, Miusskaya Sq., Moscow, Russia, 125047;

Moscow State Linguistic University, Moscow, Russia; 38-1, Ostozhenka St., Moscow, Russia, 119034; grnat@rambler.ru

Автоматизированная проверка фактов с использованием технологий искусственного интеллекта в задачах информационной безопасности

Галина А. Шевцова

*Российский государственный гуманитарный университет,
Москва, Россия, shevtsova-g@mail.ru*

Кирилл П. Добринов

*Российский государственный гуманитарный университет,
Москва, Россия, kpdobrinov@gmail.com*

Аннотация. В условиях роста масштабов дезинформации и усложнения информационных угроз возрастает необходимость интеграции интеллектуальных технологий в контуры информационной безопасности. В статье рассматриваются теоретические и прикладные аспекты применения технологий искусственного интеллекта в автоматизированной проверке достоверности информации (*Automated Fact-Checking, AFC*). Цель исследования – разработка методологического и архитектурного подхода к проектированию *AFC*-систем, адаптированных к задачам защищенных информационных контуров. Проведен анализ зарубежных и отечественных решений в области автоматизированного фактчекинга, выявлены ограничения их использования в условиях русскоязычного информационного пространства и требований к информационному суверенитету. Особое внимание уделено вопросам объяснимости выводов языковых моделей, аудируемости решений и снижению рисков галлюцинаций генеративных систем. Предложена архитектурная модель *AFC*, основанная на гибридном принципе “*human-in-the-loop*”, модульной структуре, локальном развертывании языковых моделей и интеграции с инструментами *OSINT*-мониторинга. Обоснована необходимость использования отечественных моделей и контролируемых контуров обработки данных.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке интеллектуальных модулей мониторинга информационных угроз, систем поддержки принятия решений в сфере информационной безопасности, а также в учебных курсах по направлению «Искусственный интеллект в информационной безопасности».

Ключевые слова: искусственный интеллект, автоматизированная проверка фактов, информационная безопасность, мониторинг информационных

угроз, OSINT, языковые модели, объяснимый искусственный интеллект, гибридные аналитические системы, информационный суверенитет, дезинформация

Для цитирования: Шевцова Г.А., Добринов К.П. Автоматизированная проверка фактов с использованием технологий искусственного интеллекта в задачах информационной безопасности // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2026. № 2. С. 81–95. DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-81-95

Automated fact-checking using Artificial Intelligence technologies in information security tasks

Galina A. Shevtsova

*Russian State University for the Humanities,
Moscow, Russia, shevtsova-g@mail.ru*

Kirill P. Dobrinov

*Russian State University for the Humanities,
Moscow, Russia, kpdobrinov@gmail.com*

Abstract. In the context of rapidly growing digital communications and social media, the reliability of publicly circulating information has become a critical factor for information security. Increasing volumes of distorted and intentionally false content, including synthetic media, create risks for public trust, situational awareness, and decision-making. This article examines theoretical and applied aspects of Automated Fact-Checking (AFC) based on Artificial Intelligence and discusses how such solutions can be integrated into information security frameworks and secure analytical environments. The study aims to formulate a methodological and architectural approach to designing AFC systems suitable for protected infrastructures, with emphasis on explainability, auditability, and controlled data processing. The paper reviews key domestic and international approaches and platforms in automated fact verification, identifies limitations of deploying foreign-language and cloud-oriented solutions in Russian-language settings, and highlights security constraints typical for sensitive data environments. Particular attention is paid to the trustworthiness of Large Language Models (LLMs), mitigation of hallucinations, and the role of hybrid “human-in-the-loop” workflows for high-stakes verification tasks. As a result, the article proposes a modular AFC design methodology based on domestic language models and no-code/low-code orchestration tools, ensuring transparency of reasoning, traceability of evidence, and local deployment options.

The proposed approach can be applied to monitoring information threats, supporting analytical decision-making, and strengthening information sovereignty in secure information infrastructures, and can also be used in training courses in the field of “Artificial Intelligence in Information Security”.

Keywords: Artificial Intelligence, automated fact-checking, information security, information threat monitoring, OSINT, large language models, explainable Artificial Intelligence, hybrid systems, evidence retrieval, information sovereignty

For citation: Shevtsova, G.A. and Dobrinov, K.P. (2026), “Automated fact-checking using Artificial Intelligence technologies in information security tasks”, *RSUH/RGGU Bulletin. “Computer Science. Information Security. Mathematics” Series*, no. 2, pp. 81–95, DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-81-95

В условиях растущей зависимости общества от цифровых коммуникаций и социальных медиа проблема достоверности информации приобретает особую значимость. Потоки сообщений, ежедневно циркулирующие в открытых сетях, все чаще содержат искаженные или намеренно ложные сведения, создавая угрозу не только для общественного восприятия, но и для национальной безопасности. Манипуляции с фактами, публикация поддельных документов и использование синтетических медиа становятся инструментами информационного воздействия, направленного на подрыв доверия к государственным институтам, дискредитацию лидеров общественного мнения и дестабилизацию социального климата.

Традиционные формы проверки достоверности информации, основанные на ручной работе журналистов или аналитиков, оказываются недостаточно эффективными при современном темпе информационного обмена. В этой ситуации актуальным направлением становится автоматизация процедур фактчекинга с применением технологий искусственного интеллекта (ИИ). Языковые модели, основанные на архитектурах глубокого обучения, способны анализировать большие объемы текстов, выделять из них смысловые утверждения и сопоставлять найденные сведения с доверенными источниками. Таким образом, ИИ начинает играть роль фильтра, способного на ранней стадии выявлять признаки дезинформации и предупреждать распространение ложных сообщений.

На протяжении последних лет сформировалось направление автоматизированного фактчекинга (*Automated Fact-Checking, AFC*), которое активно развивается в академической и прикладной среде. В мире появились как исследовательские прототипы, так и коммер-

ческие системы, объединяющие машинное обучение, поиск доказательств и экспертную оценку. Наиболее известные из них – *Logically AI*, *Factiveverse*, *Full Fact* – реализуют принцип гибридности, при котором искусственный интеллект выполняет первичный анализ, а окончательное решение принимает человек-эксперт. В научной сфере активно исследуются архитектуры, обеспечивающие объяснимость результатов и устойчивость к ошибкам генеративных моделей.

Тем не менее в области информационной безопасности (ИБ) применение подобных решений пока ограничено. Большинство зарубежных систем ориентированы на англоязычные корпуса и не учитывают особенности русскоязычного пространства. Кроме того, при использовании ИИ в критических областях неизбежно встают вопросы доверия, ответственности и аудита решений. Для организаций, работающих с чувствительной информацией, важно не только определить истинность сообщения, но и понять контекст его распространения, мотивы источника, потенциальные последствия. Это требует интеграции процедур автоматизированного фактчекинга в более широкий контур обеспечения информационной безопасности и мониторинга угроз.

Цель исследования – разработать методологический и архитектурный подход к построению системы автоматизированной проверки фактов, интегрируемой в контур информационной безопасности, с учетом требований «объяснимости», локальности обработки данных и обеспечения информационного суверенитета.

Автоматизированная проверка достоверности информации (AFC), как исследовательская и прикладная область сформировалась на стыке информационного поиска, обработки естественного языка и аналитики данных. Переход от сугубо ручных практик журналистского фактчекинга к машинной верификации стал возможен после появления специализированных корпусов: сначала *FEVER* – масштабного набора утверждений с привязкой к доказательствам из англоязычной Википедии, который стал фактическим стандартом де-факто для обучения и сравнения моделей [Thorne et al 2018], затем *LIAR* – политико-ориентированного датасета коротких высказываний с многоуровневой разметкой правдоподобия [Wang 2017] – корпуса для анализа слухов и их эволюции в социальных сетях. Научный сегмент дополнил *SciFact*, сфокусированный на верификации научных утверждений на основе публикаций, что стимулировало работу не только с «общественно-политическими», но и со строго аргументируемыми доменными фактами [Vatolin et al 2025].

Конфигурация «утверждение → поиск доказательств → оценка истинности» стала базовым конвейером для большинства академи-

ческих работ и продуктовых реализаций, хотя конкретные алгоритмические решения внутри стадий варьируются.

В современном виде *AFC*-системы обычно включают модуль извлечения высказываний из произвольного текста (*claim extraction*), гибридный поиск релевантных фрагментов (словесно-статистический и семантический), а также классификатор достоверности, который, опираясь на найденные доказательства, выносит вердикт с сопровождающим объяснением. Появление больших языковых моделей (*Large Language Model, LLM*) позволило не только улучшить семантическое сопоставление утверждений и источников, но и формировать «человеко-читаемые» резюме логики решения, что критично для задач информационной безопасности, где без внятной аргументации доверие к автоматике неизбежно ограничено [Guo et al 2022].

На прикладном рынке заметны гибридные платформы, сочетающие машинную фильтрацию и экспертную валидацию. Британская *Logically AI* реализует принцип «*AI-in-the-loop*»: система автоматически извлекает потенциально спорные утверждения, компилирует доказательную базу из доверенных источников и присваивает предварительную оценку, после чего аналитик подтверждает либо корректирует вывод и публикует финальное заключение. Норвежская *Factive* развивает схожую логику, но делает больший акцент на прозрачности вывода: каждая оценка связывается с цитируемыми источниками и кратким пояснением, что удобно для редакций и исследовательских групп. В орбите журналистских и гражданских инициатив показателен опыт *Full Fact*, где ИИ-модули используются прежде всего для обнаружения повторяющихся мифов, перефразированных цитат и циклически возникающих «вбросов», а конечная верификация закрепляется за экспертами. Отдельную нишу заняли «легкие» встраиваемые модели, ориентированные на локальные развертывания без облачных зависимостей: показательно, что недавние работы демонстрируют сопоставимую с тяжелыми *LLM* точность на задачах проверки коротких утверждений при существенно меньшей ресурсоемкости, что открывает путь к микросервисной интеграции *AFC* в защищенные контуры ИБ [Tang et al 2024].

Академический ландшафт при этом движется в сторону интерпретируемости и устойчивости к ошибкам генеративных моделей. С одной стороны, обзоры фиксируют каноническую трехступенчатую схему «декомпозиция → извлечение доказательств → классификация» и подчеркивают, что именно качество и полнота доказательной выборки определяют верхнюю границу точности системы [Guo et al 2022]. С другой – нарастает запрос на объяс-

нимые методы: модели обязаны сопровождать вердикт краткой аргументацией и ссылками, чтобы обеспечить проверяемость и аудит решений – особенно когда *AFC* интегрируется в процессы мониторинга и реагирования на информационные угрозы, а выводы потенциально имеют правовые последствия [Carston, Williams 2023]. Параллельно развивается мультимодальный вектор: помимо текста, верификация охватывает изображение, видео и аудио, что позволяет выявлять несогласованности между визуальным рядом и словесным описанием, а также распознавать синтетические (*deepfake*) материалы – важный аспект в условиях эволюции инструментов информационно-психологических операций¹. Для русскоязычного пространства за последние годы появились первые опорные ресурсы; прежде всего выделяется *ruSciFact* – открытый бенчмарк верификации научных утверждений на русском языке, пригодный как для оценки качества моделей, так и для адаптации англоязычных архитектур под отечественные задачи [Vatolin et al 2025]. Это важный шаг к снижению языкового разрыва, поскольку перенос *AFC*-подходов с английского корпуса на русский обычно сопровождается падением качества из-за отличий морфологии, синтаксиса и стиля.

Несмотря на прогресс, у автоматизированного фактчекинга сохраняются ограничения, значимые именно с точки зрения информационной безопасности. Во-первых, генеративные модели склонны «галлюцинировать» – выдавать убедительные, но неверные обоснования при недостатке надежных источников; в критических доменах это требует жесткого принуждения моделей работать только с предоставленными документами и внедрения человеческой проверки спорных кейсов [Bender et al 2021]. Во-вторых, в русскоязычной экосистеме все еще не хватает больших доверенных корпусов с машиночитаемой структурой, аналогичных англоязычной Википедии или специализированным государственным реестрам, что усложняет построение устойчивого модуля извлечения доказательств. В-третьих, для производственных внедрений необходимы механизмы аудита: фиксация источников, версий документов, промежуточных шагов вывода, а также разграничение ответственности между оператором, разработчиком и владельцем данных – вопросы, которые выходят за рамки чисто алгоритмической повестки и требуют организационно-правовой регламентации. Именно поэтому в контуре ИБ наиболее жизнеспособной является

¹ Zhong M., Jiang Y., Zhou X. et al. De-Factify: A Multimodal Fact-Checking Framework (2023) // ACL Anthology. URL: <https://aclanthology.org/2023.defactify-1.3/> (дата обращения: 12.10.2025).

гибридная модель: ИИ автоматизирует рутинные стадии – извлечение утверждений, сбор и ранжирование доказательств, генерацию краткого объяснения, – а окончательное решение и управление рисками остаются за экспертом. Такая конфигурация обеспечивает баланс между масштабируемостью и контролируемостью, а при должной интеграции с системами *OSINT* (*Open Source Intelligence*, разведка на основе открытых источников) и мониторингом нарративов превращает *AFC* из «надстройки» для редакций в фундаментальный модуль инфраструктуры защиты информации.

Создание системы автоматизированной проверки фактов для задач информационной безопасности предполагает сочетание технологий искусственного интеллекта, методов *OSINT* и организационных принципов защищенной аналитики. В отличие от журналистских или академических решений, ориентированных на публичную коммуникацию, в контуре ИБ ключевыми становятся такие качества, как объяснимость результатов, доверенность источников, контроль за жизненным циклом данных и возможность аудита всех действий системы. Проектирование архитектуры *AFC* в этом контексте должно опираться на идею гибридности: искусственный интеллект автоматизирует наиболее ресурсоемкие процессы – извлечение утверждений, поиск доказательств и предварительную классификацию достоверности, – а эксперт по безопасности обеспечивает интерпретацию результатов, корректировку ошибок и формирование финального отчета. Такой подход соответствует современным концепциям «*human-in-the-loop*» и позволяет совмещать вычислительную эффективность машинных моделей с опытом человека в оценке контекста и рисков [Zanzotto 2019].

Методологическая основа предлагаемой системы включает три взаимосвязанных принципа: прозрачность, модульность и локальность. Прозрачность подразумевает обязательное документирование всех решений модели, фиксацию ссылок на источники и аргументов, на которых основано заключение. Модульность обеспечивает возможность независимого обновления и масштабирования компонентов без переработки ядра, что особенно важно при эксплуатации системы в изолированных инфраструктурах. Локальность же означает, что обработка данных выполняется в пределах контролируемого контура, без передачи информации во внешние облака. В этом случае *AFC* может функционировать даже при ограниченном доступе к сети, используя локальные языковые модели, такие как *GigaChat* или *ruGPT-3.5*, что соответствует требованиям к защите критической информации. Архитектура системы строится вокруг последовательного цикла: сбор данных, извлечение утверждений, поиск доказательств, оценка достоверности и экспертная

валидация. На этапе сбора система обращается к открытым источникам – медиаплатформам, социальным сетям, форумам, агрегаторам новостей. Для предотвращения искажения выборки применяется тематическая фильтрация и временная сегментация. Далее поток сообщений поступает в модуль выделения утверждений, где на основе синтаксического анализа текста выделяются фразы, содержащие потенциально фактологические конструкции: «сообщается, что», «по данным источника», «утверждает». Этот этап может выполняться с использованием библиотек синтаксического анализа русского языка, таких как *spaCy* или *DeepPavlov*, которые уже применяются в отечественных *NLP*-системах. Полученные утверждения переводятся в структурированную форму и направляются в модуль поиска доказательств, который обращается к внутренним индексам или внешним базам данных, включая государственные реестры, открытые архивы СМИ и тематические базы.

Для поиска доказательств используется гибридная стратегия, сочетающая классический полнотекстовый поиск (алгоритм BM25) и семантический поиск по векторным представлениям, что позволяет находить не только дословные совпадения, но и логические эквиваленты. Векторизация выполняется при помощи эмбедингов, обученных на русскоязычных корпусах, например *SBER-Sentence* или *RuBERT* [Kuraton, Arkhipov 2019]. Результаты ранжируются по степени релевантности, и наиболее информативные фрагменты передаются в модуль анализа достоверности, где вступает в работу языковая модель. Она получает утверждение, выдержки из найденных документов и метаданные, после чего формулирует вывод в трехклассовой шкале – «истинно», «ложно», «неопределенно» – с кратким текстовым пояснением. Для снижения риска галлюцинаций контекст модели жестко ограничен переданными материалами, а сеть Интернет недоступна.

Особое внимание уделяется «объяснимости» вывода. Модель не только выносит оценку, но и возвращает цепочку логических шагов, ведущих к ней, а также ссылки на документы, из которых взяты аргументы. Это позволяет эксперту провести повторную проверку и исключить случайные ошибки. Далее результаты попадают в модуль экспертной валидации, где аналитик информационной безопасности подтверждает или уточняет вывод ИИ. При необходимости он может добавить комментарий о рисках – например, указать, что даже достоверное утверждение может использоваться в деструктивном контексте. После проверки данные сохраняются в журнале аудита, что обеспечивает возможность последующего анализа и обучения системы на обратной связи. Такой контур соответствует стандартам прослеживаемости

и журналирования, установленным отечественными нормативами по защите информации.

Технологическая реализация системы может базироваться на открытых или *no-code*-платформах. Для автоматизации потоков данных используются сервисы *Make* или *n8n*, визуальное проектирование логики – *Langflow* или *Flowise*, хранение векторных представлений – *ChromaDB* либо *Weaviate*, визуализация результатов – *Grafana* или *Metabase*. Такой стек позволяет создать прототип без глубокого программирования, что делает разработку доступной для исследовательских лабораторий и служб безопасности среднего уровня. При промышленном внедрении *AFC*-модуль интегрируется с системами мониторинга угроз: сообщения с высоким риском автоматически передаются в аналитические панели, а спорные случаи – в экспертный режим проверки.

Интеграция системы автоматизированной проверки фактов в процессы информационной безопасности открывает новые возможности для проактивного реагирования. Система способна отслеживать появление деструктивных нарративов, фиксировать первые публикации сомнительных сообщений и уведомлять ответственных лиц до того, как информация получит массовое распространение. Таким образом, *AFC* превращается из инструмента журналистского контроля достоверности в элемент комплексной защиты информационной среды. Подобная архитектура, основанная на принципах «объяснимости», модульности и гибридности, обеспечивает баланс между автоматизацией и ответственностью, создавая основу для разработки отечественных систем интеллектуальной аналитики в сфере ИБ.

Развитие автоматизированных систем проверки фактов в сфере информационной безопасности требует устойчивой архитектурной основы, которая сочетала бы гибкость, масштабируемость и устойчивость к изменениям информационной среды. Принципиальной особенностью проектируемой системы является модульность. Она обеспечивает возможность независимого обновления компонентов без необходимости перестройки всей инфраструктуры и позволяет адаптировать систему под различные типы данных и уровни доверия к источникам. Модульная структура особенно важна для работы в изолированных или закрытых контурах, где одни и те же алгоритмы могут быть развернуты как в ведомственной среде, так и в открытой исследовательской лаборатории. В ее ядре находятся три взаимосвязанных уровня – данные, аналитика и взаимодействие. На уровне данных выполняется сбор, хранение и нормализация информации, поступающей из открытых источников. Использование технологий контролируемого распределенного хранения

и дублирования обеспечивает целостность и независимость данных от единичных сбояв. Все документы проходят дедупликацию и верификацию формата, что снижает риск ложных совпадений и повышает качество анализа.

Аналитический уровень формирует «интеллектуальное ядро» системы. Здесь функционируют модули извлечения утверждений, поиска доказательств, анализа достоверности и генерации объяснений. Языковые модели работают в ограниченном контексте, не обращаясь к внешним сетевым ресурсам. Это исключает влияние непроверенных данных и обеспечивает предсказуемость поведения системы. В архитектуру заложен механизм трассировки рассуждений: при каждом анализе система фиксирует промежуточные шаги логики модели и сохраняет их в журнале событий, что делает возможным последующую проверку и воспроизведение вывода. Такая схема соответствует современным требованиям к искусственному интеллекту и повышает доверие к автоматическим решениям [Samek et al 2017].

Верхний уровень – уровень взаимодействия – отвечает за интерфейс и интеграцию с существующими ИБ-платформами. Он обеспечивает обмен данными между системой фактчекинга и внешними сервисами мониторинга угроз, визуализацию результатов и маршрутизацию сообщений по степени риска. Для критических случаев предусмотрен режим экспертной проверки: аналитик может уточнить вывод модели, добавить контекст или комментарий. Система регистрирует все правки, формируя историю изменений и обратную связь для последующего обучения моделей. Такой принцип совместной работы человека и машины обеспечивает контроль над рисками и снижает вероятность ошибок, особенно в ситуациях, где возможны юридические или репутационные последствия [Zan-zotto 2019].

Важным направлением развития архитектуры является расширяемость. Информационные потоки постоянно усложняются, появляются новые форматы данных – от коротких сообщений до аудиовизуального контента. Поэтому *AFC* должна быть адаптивной и поддерживать подключение дополнительных модулей без остановки работы ядра. Это достигается за счет использования контейнеризации и унифицированных интерфейсов обмена данными (*API*). Каждый модуль – сбор, анализ, визуализация, хранение – функционирует как отдельный сервис, который можно обновить или заменить независимо от остальных. Такая архитектура обеспечивает горизонтальное масштабирование и устойчивость к отказам. Кроме того, *AFC* должна обладать способностью к самообучению. Система накапливает результаты проверок, классифицирует ошибки и посте-

пенно корректирует параметры поиска и классификации на основе экспертной обратной связи. Этот механизм превращает *AFC* в живую, саморазвивающуюся систему, которая со временем повышает точность и снижает число ложных срабатываний.

Не менее важны требования к качеству и безопасности данных. Для обеспечения доверия каждая операция сопровождается метаданными, фиксирующими источник, время получения и хеш содержимого. Это создает возможность аудита и защищает от подмены данных. Источники оцениваются по шкале репутации: официальные порталы, научные публикации, СМИ с подтвержденной редакционной политикой получают высокий вес; анонимные или не верифицированные ресурсы – минимальный. При этом *AFC* не отбрасывает сомнительные источники полностью, а учитывает их в статистическом анализе, что позволяет отслеживать появление координированных кампаний. Обработка всех данных должна происходить с соблюдением норм российского законодательства о защите информации и персональных данных, включая Федеральный закон № 152-ФЗ и стандарты по криптографической защите. С точки зрения технологической независимости, приоритетом остается использование отечественных языковых моделей. Зависимость от зарубежных облачных решений, особенно в контуре госструктур и оборонных предприятий, создает риски для информационного суверенитета. Поэтому архитектура *AFC* проектируется с возможностью гибкой замены ИИ-модулей. В качестве основы могут использоваться *GigaChat*, *YandexGPT* или модели семейства *Mistral*, адаптированные под русский корпус данных. Эти системы обеспечивают приемлемый баланс между качеством анализа и безопасностью инфраструктуры. При локальном развертывании модели функционируют без выхода в Интернет, что исключает утечку служебной информации и сохраняет контроль над обучающими выборками.

В долгосрочной перспективе развитие *AFC*-систем в России и странах ЕАЭС должно идти в направлении создания национальных корпусов проверенных данных, аналогичных *FEVER* и *LIAR*, но на русском языке и с разметкой по типам утверждений. Еще одной задачей становится интеграция таких систем в государственные платформы мониторинга общественных настроений и контентных угроз. В перспективе *AFC* может служить не только инструментом технической фильтрации, но и элементом стратегического управления информационной средой. Комбинируя методы машинного анализа, когнитивного моделирования и *OSINT*-разведки, она способна выявлять зарождающиеся деструктивные нарративы и прогнозировать последствия их распространения. Таким образом, развитие *AFC* напрямую связано с обеспечением инфор-

мационного суверенитета и укреплением национальной системы информационной безопасности.

Технологии искусственного интеллекта радикально меняют представления о том, как можно обеспечивать информационную безопасность в условиях растущих потоков данных и информационных атак. Автоматизированная проверка фактов – одно из направлений, где этот потенциал реализуется особенно наглядно. Сегодня такие системы перестают быть экспериментами и постепенно превращаются в важный элемент цифровой инфраструктуры: они позволяют быстрее реагировать на вбросы, распознавать дезинформационные кампании и отслеживать источники недостоверных сообщений.

Проведенный анализ показал, что существующие зарубежные решения в области систем автоматизированной проверки фактов уже демонстрируют высокую точность и зрелость, но их использование в отечественной практике ограничено. Основные барьеры связаны с языковыми различиями, отсутствием локальных корпусов достоверных данных и необходимостью соблюдения требований безопасности при обработке информации. В этих условиях развитие собственных, адаптированных под российские реалии систем автоматизированного фактчекинга становится не только технологической, но и стратегической задачей.

Заключение

Проведенный анализ показал, что автоматизированная проверка фактов становится значимым элементом современной инфраструктуры информационной безопасности. Предложенная в работе архитектура *AFC* ориентирована на практическое применение в контуре ИБ ее гибридная структура объединяет машинный анализ и экспертную оценку, что позволяет одновременно ускорить процесс обработки данных и сохранить контроль за достоверностью выводов. В основе модели лежат принципы «объяснимости» и прозрачности, а также возможность локального развертывания с использованием отечественных языковых моделей. Такой подход обеспечивает независимость от внешних платформ и создает условия для безопасного внедрения ИИ-технологий в критические инфраструктуры.

Дальнейшее развитие подобных систем связано с созданием национальных корпусов проверенных данных, совершенствованием русскоязычных моделей обработки текста и развитием правовой базы для использования ИИ в сфере информационного анализа. Перспективным направлением можно считать интеграцию *AFC* с когнитивными аналитическими системами, которые не только про-

веряют факты, но и прогнозируют последствия распространения ложной информации. В долгосрочной перспективе такие решения могут стать одним из опорных инструментов обеспечения информационного суверенитета и доверия к цифровой среде в целом.

Литература

- Bender et al 2021 – *Bender E.M., Gebru T., McMillan-Major A., Shmitchell S.* On the dangers of stochastic parrots: can language models be too big? // Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT). New York: ACM, 2021. P. 610–623.
- Carston, Williams 2023 – *Carston A., Williams R.* Explainable AI for fact verification // Journal of Applied Informatics. 2023. Vol. 9, no. 2. P. 33–47.
- Guo et al 2022 – *Guo Z., Schlichtkrull M., Vlachos A.* A Survey on automated fact-checking // Transactions of the association for computational linguistics. 2022. Vol. 10. P. 178–206.
- Kuraton, Arkhipov 2019 – *Kuraton Y., Arkhipov M.* Adaptation of deep bidirectional multilingual transformers for Russian language // Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of the International Conference “Dialogue 2019”. Moscow, 2019. P. 1–7.
- Samek et al 2017 – *Samek W., Montavon G., Müller K.-R.* Explainable artificial intelligence: understanding, visualizing and interpreting deep learning models, 2017. URL: http://www.ndl.gov.in/re_document/arxiv/arxiv/oai_arxiv_org_1708_08296 (дата обращения: 12.10.2025).
- Tang et al 2024 – *Tang L., Laban P., Durrett G.* Minicheck: Efficient fact-checking of LLMs on grounding documents // Proceedings of the 2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Stroudsburg, PA: Association for Computational Linguistics, 2024. P. 8818–8847.
- Thorne et al 2018 – *Thorne J., Vlachos A., Christodoulopoulos C., Mittal A.* FEVER: a large-scale dataset for fact extraction and VERification // Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. 2018. Vol. 1 (Long Papers). P. 809–819.
- Vatolin et al 2025 – *Vatolin A., Gerasimenko N., Loukachevitch N., Ianina A., Vorontsov K.* ruSciFact: open benchmark for verifying scientific facts in Russian // Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of the International Conference “Dialogue 2025” 23–25 April 2025. Moscow, 2025. P. 1–25. DOI: 10.28995/2075-7182-2025-23-435-459.
- Wang 2017 – *Wang W.Y.* Liar, liar pants on fire»: a new benchmark dataset for fake news detection // Proceedings of the 55th annual meeting of the Association for Computational Linguistics. 2017. Vol. 2. (Short papers). P. 422–426.
- Zanzotto 2019 – *Zanzotto F.M.* Human-in-the-loop artificial intelligence // Journal of Artificial Intelligence Research. 2019. Vol. 64. P. 243–252.

References

- Bender, E.M., Gebru, T., McMillan-Major, A., and Shmitchell, S. (2021), “On the dangers of stochastic parrots: can language models be too big?”, *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT'2021)*, ACM, New York, USA, pp. 610–623.
- Carston, A. and Williams, R. (2023), “Explainable AI for fact verification”, *Journal of Applied Informatics*, vol. 9, no. 2, pp. 33–47.
- Guo, Z., Schlichtkrull, M. and Vlachos, A. (2022), “A survey on automated fact-checking”, *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, vol. 10, pp. 178–206.
- Kuratov, Y. and Arkhipov, M. (2019), “Adaptation of deep bidirectional multilingual transformers for Russian language”, *Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of the International Conference “Dialogue 2019”*, Moscow, Russia.
- Samek, W., Montavon, G. and Müller, K.-R. (2017), “Explainable artificial intelligence: understanding, visualizing and interpreting deep learning models”, available at: http://www.ndl.gov.in/re_document/arxiv/arxiv/oai_arxiv_org_1708_08296 (Acceded 12 October 2025).
- Tang, L., Laban, P. and Durrett, G. (2024), “Minicheck: efficient fact-checking of LLMs on grounding documents”, *Proceedings of the 2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, PA, USA, pp. 8818–8847.
- Thorne, J., Vlachos, A., Christodoulopoulos, C. and Mittal, A. (2018), “FEVER: a large-scale dataset for fact extraction and VERification”, *Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (NAACL-HLT 2018)*, vol. 1 (Long papers), pp. 809–819.
- Vatolin, A., Gerasimenko, N., Loukachevitch, N., Ianina, A. and Vorontsov, K. (2025), “ruSciFact: open benchmark for verifying scientific facts in Russian”, *Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of the International Conference “Dialogue 2025”*, 23–25 April, Moscow, Russia, pp. 1–25. DOI: 10.28995/2075-7182-2025-23-435-459.
- Wang, W.Y. (2017), “Liar, Liar Pants on Fire”: A New Benchmark Dataset for Fake News Detection”, *Proceedings of the 55th Annual Meeting of The Association for Computational Linguistics*, vol. 2 (Short papers), pp. 422–426.
- Zanzotto, F.M. (2019), “Human-in-the-loop Artificial Intelligence”, *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 64, pp. 243–252.

Информация об авторах

Галина А. Шевцова, кандидат исторических наук, доцент, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; 125047, Россия, Москва, Миусская пл., д. 6, стр. 6; shevtsova-g@mail.ru

Кирилл П. Добринов, аспирант, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; 125047, Россия, Москва, Миусская пл., д. 6, стр. 6; kpdobrinov@gmail.com

Information about the authors

Galina A. Shevtsova, Cand. of Sci. (History), associate professor, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; 6-6, Miusskaya Sq., Moscow, Russia, 125047; shevtsova-g@mail.ru

Kirill P. Dobrinov, postgraduate student, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; 6-6, Miusskaya Sq., Moscow, Russia, 125047; kpdobrinov@gmail.com

Математические модели локального рынка сельскохозяйственной продукции с ограниченным спросом

Олег Л. Бозиев

*Институт информатики и проблем регионального управления
Кабардино-Балкарского научного центра РАН, Нальчик, Россия;
Кабардино-Балкарский государственный университет,
Нальчик, Россия, boziev@yandex.ru*

Алим О. Гуртуев

*Институт информатики и проблем регионального управления
Кабардино-Балкарского научного центра РАН, Нальчик, Россия;
Кабардино-Балкарский государственный университет,
Нальчик, Россия, alemao@mail.ru*

Аннотация. В локальных экономических сообществах часто наблюдаются особые случаи организации рыночных систем, для которых внешние факторы задают ограничения эффективности модели совершенной конкуренции и связанного с ней механизма свободного рынка. Одним из распространенных видов такой специфики является ограничение емкости рынка – максимальной величины спроса. Особенно подобные рынки распространены в аграрных регионах с неразвитой либо дорогостоящей в использовании транспортной инфраструктурой. В России такие системы наблюдаются в регионах Северного Кавказа. Из-за высоких издержек выхода на внешние рынки и бюджетных ограничений здесь регулярно наблюдается сезонное перепроизводство отдельных сельскохозяйств. Это происходит из-за несоответствия существующего механизма организации рынка в условиях неполной информации реалиям локального рынка с ограниченной емкостью. Эффективность и устойчивость равновесия на таком рынке определяется его институциональной структурой. Целью статьи является игровое моделирование локального рынка сельхозпродукции с ограниченным спросом с учетом вариативности механизма согласования поведения участников рынка. В работе представлены игровые модели подобных рыночных систем, в том числе – многоматричная игра,

моделирующая локальную олигополию и байесовская игра с природой для ситуации локального конкурентного рынка многих производителей. Для полученных моделей представлены оптимальные стратегии риск-нейтрального игрока. Построен и проанализирован механизм информационного обмена с нулевыми затратами. Показано, что он является выявляющим и согласованным по предпочтениям и приводит к равновесию с отсутствием перепроизводства по каждой сельхозкультуре.

Ключевые слова: кооперативные игры, статистические игры, стратегическое взаимодействие, локальный рынок, неопределенность

Для цитирования: Бозиев О.Л., Гуртупев А.О. Математические модели локального рынка сельскохозяйственной продукции с ограниченным спросом // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2026. № 2. С. 96–114. DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-96-114

Mathematical models of the local market of agricultural products with limited demand

Oleg L. Bozиеv

*Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy
of Sciences, Nalchik, Russia;*

*Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia,
bozиеv@yandex.ru*

Alim O. Gurtuev

*Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian
Academy of Sciences, Nalchik, Russia;*

*Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia,
alemao@mail.ru*

Abstract. Local economic communities often experience unique market systems in which external factors limit the effectiveness of the perfect competition model and the associated free market mechanism. One common example of this is a limit on market capacity – the maximum demand. Such markets are particularly common in agricultural regions with underdeveloped or expensive transportation infrastructure. In Russia, such systems are found in the North Caucasus. Due to high costs of entering foreign markets and budget constraints, seasonal overproduction of certain agricultural crops is regularly observed. This occurs because the existing market organization mechanism, under conditions of incomplete information, is inconsistent with the realities

of a local market with limited capacity. This article examines the development of mechanisms for coordinating the behavior of participants in local markets with limited capacity, as the efficiency and stability of equilibrium in such a market are determined by the institutional structure. The paper presents game models of such market systems, including a multimatrix game simulating a local oligopoly and a Bayesian game with nature for a local competitive market with many producers. Optimal strategies for a risk-neutral player are presented for the resulting models. A zero-cost information exchange mechanism is constructed and analyzed, demonstrating that it reveals and aligns preferences, leading to an equilibrium with no overproduction for each crop.

Keywords: cooperative games, statistic games, market equilibrium, strategic interaction, local market, uncertainty

For citation: Boziev, O.L. and Gurtuev, A.O. (2026), “Mathematical models of the local market of agricultural products with limited demand”, *RSUH/RGGU Bulletin. “Information Science. Information Security. Mathematics” Series*, no. 2, pp. 96–114, DOI: 10.28995/2686-679X-2026-2-96-114

Введение

В работе [Гуртуев, Бозиев 2024] была сформулирована проблема формализации и моделирования локальных рынков с ограниченной емкостью спроса применительно к рынку продукции растениеводства (однолетних сельскохозяйственных культур). Для таких рынков условия существования и устойчивости равновесия определяются институциональной конфигурацией, характером стратегического взаимодействия производителей и особенностями организации обмена. В отличие от классической модели совершенной конкуренции, такие рынки характеризуются целым комплексом институциональных и технологических ограничений: высокими транзакционными издержками (включая издержки входа и выхода, поиска информации и заключения контрактов), ограниченной гибкостью производственных функций, несовершенством и асимметричностью информации, а также отсутствием эффективных механизмов координации ожиданий и стратегий [Bădulescu et al. 2022]. Сочетание этих особенностей приводит к ухудшению функционирования институтов распределения и формирует устойчивые дисфункции, ведущие к потерям эффективности и падению общественного благосостояния [Liu et al. 2020].

Подобные рыночные структуры наблюдаются в значительном числе локальных аграрных экономических систем как в развитых, так и в развивающихся странах. Их характерной чертой является

высокая плотность независимых малых производителей, действующих в условиях ограниченного доступа к рынкам сбыта, низкой степени организованности цепочек поставок и слабой инфраструктуры обмена. В регионах СКФО, для которых характерно относительно малоземелье и высокий уровень предпринимательской активности в сельских районах, эти факторы проявляются особенно явно. Эмпирические исследования показывают, что отсутствие согласованных производственных планов приводит к сезонному перепроизводству отдельных сельскохозяйственных культур, подрывающему доходность хозяйств и стимулирующему неэффективное использование земельных и трудовых ресурсов [Prudnikov 2016; Chavas, Nauges 2020; Szczepańska-Przekota 2023; Swinnen, Kuijpers 2019].

С точки зрения теории такие ситуации могут быть концептуализированы как структурно схожие с «трагедией общин» (*tragedy of the commons*), возникновению которой способствует отсутствие надежных механизмов внутренней координации и коллективного управления общими ресурсами или общими рынками сбыта. Еще в классической работе Г. Хардина [Hardin 1968] было показано, что при отсутствии координационных институтов рациональные агенты могут вырабатывать стратегии, систематически приводящие к коллективно неэффективным результатам. Современная институциональная экономическая теория существенно уточнила эту картину: исследования Э. Остром и последователей продемонстрировали, что устойчивые системы кооперации и самоорганизации могут формироваться даже при отсутствующей сильной внешней власти, при условии наличия совместно разработанных и соблюдаемых правил, механизмов мониторинга и санкций, а также каналов коммуникации между участниками [Остром 2011; Poteete et al. 2010]. Эти результаты позволяют рассматривать локальные аграрные рынки не как атомизированные рыночные структуры, а как сложные социально-экономические системы, для эффективной работы которых требуется формирование особой системы правил взаимодействия.

С учетом этих условий особое значение приобретает задача разработки устойчивых механизмов согласования стратегий независимых производителей в условиях неопределенности, информационной неполноты и несовпадения индивидуальных стимулов. Проблема координации становится особенно сложной в системах с ограниченной емкостью рынка, где решения отдельных агентов могут существенно влиять на общие объемы предложения, цены и устойчивость равновесия. Эти ситуации характерны для рынков, где отсутствуют централизованные системы планирования

и прогнозирования, а горизонтальные формы кооперации развиты недостаточно.

Современная теория построения экономических механизмов предлагает широкий инструментарий для анализа подобных ситуаций, демонстрируя, что даже в условиях информационной асимметрии возможно проектирование правил взаимодействия, обеспечивающих правдоподобное сообщение информации и внедрение стратегий, согласующих индивидуальные и общественные интересы. В контексте локальных рынков сельскохозяйственной продукции перспективными оказываются механизмы распределенного планирования, аукционные и контрактные схемы коллективного выбора, системы кооперативного управления и цифровые платформы координации производства, которые становятся важнейшим элементом институционального дизайна локального развития. Применительно к локальным рынкам с ограниченной емкостью спроса в [Гуртуев, Бозиев 2024] заложена основа для моделирования и систематического анализа взаимодействия субъектов и исследования условий возникновения равновесий. Настоящее исследование развивает эти идеи, применяя теоретико-игровые модели для изучения стратегических взаимодействий производителей с учетом асимметрии информации и моделирования коллективных действий и механизмов координации в локальных аграрных системах с ограниченной максимальной величиной спроса.

Объектом исследования в данной работе выступает локальная аграрная система, состоящая из группы небольших фермерских хозяйств, располагающих земельными участками в непосредственной близости от автотранспортной магистрали, соединяющей несколько региональных розничных рынков сельскохозяйственной продукции. Такая пространственная конфигурация определяет как структуру рыночных связей, так и характер конкуренции между производителями, для которых данные рынки являются основными каналами сбыта.

Фермерские хозяйства в данной системе специализируются на выращивании однолетних сельскохозяйственных культур, что обеспечивает им определенную гибкость: производственные планы могут изменяться из года в год в зависимости от ожиданий относительно цен, погодных условий и стратегических соображений, связанных с поведением соседних производителей. Однако эта гибкость одновременно повышает чувствительность системы к ошибкам в прогнозировании и слабости координации, что нередко приводит к значительным колебаниям совокупного предложения. В условиях высокой специализации на одной культуре в такой системе нередко возникают эпизоды сезонного перепроизводства.

Как подтверждают эмпирические данные по подобным системам в регионах Северного Кавказа, если значительная часть производителей одновременно выбирает одну и ту же культуру, совокупный объем произведенного урожая значительно превышает емкость локального рынка сбыта. В подобных ситуациях часть урожая оказывается нереализуемой даже при значительном снижении цен. Эти потери не только отражают прямой экономический ущерб для производителей, но и указывают на структурные провалы координации в локальной рыночной системе. Напротив, при более равномерном распределении производства между несколькими культурами, а также при наличии определенного уровня диверсификации, подобные резкие дисбалансы встречаются значительно реже. Диверсифицированная структура производства позволяет системе лучше согласовывать совокупное предложение с фактическим спросом на региональных рынках, снижая вероятность насыщения рынка и смягчая ценовые колебания. В силу этого цель работы состоит в построении математических моделей локального рынка сельскохозяйственной продукции с ограниченным спросом и разработке на их основе механизмов согласования поведения участников локального рынка.

1. Формализация проблемы

Задача согласования планов производства между независимыми конкурирующими фермерами на локальном рынке с ограниченным спросом поставлена ранее в работе [Гуртуев, Бозиев 2024]. Приведем здесь кратко постановку задачи, принимая, что каждый из m фермеров имеет возможность выращивать любую из n сельхозкультур ($i = 1, m, j = 1, n$).

Для каждой из возможных для производства сельхозкультуры предполагается известная производственная функция [Sickles, Zelenyuk 2019] вида

$$PF_{ij} = c_{ij} / a_{ij}, \quad (1)$$

отражающая зависимость между объемом выпуска продукции и величиной затрат на производство этого объема, где c_{ij} – удельные капитальные и трудовые затраты на производство, a_{ij} – урожайность j -й сельхозкультуры. Задача i -го фермера сводится к выбору производственной функции вида (1), другими словами – к выбору j -й сельхозкультуры, максимизирующему прибыль

$$P_{ij} = \max \{p_{ij}q_{ij} - a_{ij} \cdot PF_{ij} \cdot l_{ij}\}$$

или

$$P_{ij} = \max \{p_{ij}q_{ij} - c_{ij}l_{ij}\}, \quad (2)$$

где l_{ij} – количество земли, занятой у i -го фермера под j -ю сельхозкультуру (га), p_{ij} – цена за кг продукции j -й сельхозкультуры, q_{ij} – объем продаж на рынке j -й сельхозкультуры.

Кроме того, вводится параметр Q_j – емкость рынка j -й сельхозкультуры.

2. Моделирование локального рынка методами бескоалиционных матричных игр

В простейшем случае, соответствующем положительности прибыли получаемой i -м фермером при производстве j -й сельхозкультуры, математической моделью локального рынка с ограниченным спросом является матрица

$$B = (b_{ij}), \\ b_{ij} = p_{ij}q_{ij} - c_{ij}l_{ij}.$$

Для решения задачи максимизации прибыли фермеров необходимо в каждой строке матрицы B выбрать максимальный элемент, что соответствует ситуации, когда i -й фермер выбирает оптимальную j -ю стратегию, дающую наибольшую прибыль. На практике это означает, что каждый i -й фермер интуитивно выбирает производственную функцию (1), позволяющую получить от производства j -й сельхозкультуры наибольшую прибыль в размере (2). Подобный способ выбора фермерами сельхозкультур для производства не учитывает выбор других сельхозпроизводителей. Это приводит к дисбалансу производства однолетних культур, выражающемуся в избытке предложения одних и недостатке предложения других сельхозкультур. При этом избыточность производства j -й сельхозкультуры всеми сельхозпроизводителями выражается равенством

$$\sum_{i=1}^m a_{ij}l_{ij} > Q_j. \quad (3)$$

Очевидно, что данная модель сильно упрощена и не является полностью адекватной ситуации на локальном рынке.

Для построения более адекватной модели рассмотрим ситуацию выбора как игру m лиц с произвольной суммой, в котором каждый из m игроков (т. е. фермеров) имеет n стратегий, соответствующих n сельхозкультурам. При этом игроки могут образовывать коалиции. В нашем случае это означает, что участники рынка (все или часть) могут взаимодействовать при принятии решения о производимых сельхозкультурах. В бескоалиционном (некооперативном) случае фермеры действуют самостоятельно без обмена информацией друг с другом. Если в такой игре участвует только два игрока, то она называется биматричной и задаются либо двумя матрицами, указывающими выигрыши каждого игрока, либо одной блочной матрицей, представляющей выигрыши сторон при применении ими выбранных стратегий. Для учета того, что общая емкость рынка ограничена и выигрыш одного фермера может зависеть от выбора сельхозкультуры другим, введем параметр μ_{ij} ($0 < \mu < 1$) – долю ожидаемой прибыли b_{ij} , получаемую фермером i при выборе обоими фермерами одной и той же сельхозкультуры j , когда часть урожая по данной культуре останется нераспроданной.

Пусть, например, первый фермер рассматривает возможность производства трех сельхозкультур, а второй – четырех, т. е. $m = 3$, $n = 4$. В этом случае моделью локального рынка будет блочная матрица

$$(B_1, B_2) = \begin{pmatrix} (\mu_{11}b_{11}, \mu_{21}b_{21}) & (b_{11}, b_{22}) & (b_{11}, b_{23}) & (b_{11}, b_{24}) \\ (b_{12}, b_{21}) & (\mu_{12}b_{12}, \mu_{22}b_{22}) & (b_{12}, b_{23}) & (b_{12}, b_{24}) \\ (b_{13}, b_{21}) & (b_{13}, b_{22}) & (\mu_{13}b_{13}, \mu_{23}b_{23}) & (b_{13}, b_{24}) \end{pmatrix}. \quad (4)$$

В частности, блок (b_{12}, b_{23}) означает, что при производстве первым фермером второй сельхозкультуры, а вторым – третьей, их прибыли составят b_{12} и b_{23} соответственно, а при производстве обоими фермерами второй сельхозкультуры блок $(\mu_{12}b_{12}, \mu_{22}b_{22})$ означает, что их прибыли уменьшаться на величину, определяемую коэффициентами μ_{12} и μ_{22} .

Как известно, процесс решения биматричной игры сводится к поиску ситуации равновесия [Есипов 2021], которую создает пара смешанных стратегий игроков, удовлетворяющих неравенствам

$$\begin{cases} B_1 y \leq x B_1 y, \\ x B_2 \leq x B_2 y, \end{cases} \quad (5)$$

где x и y – вектора вероятностей выбора игроками своих стратегий:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_m), y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T, \\ \sum_{i=1}^m x_i = 1, \sum_{j=1}^n y_j = 1, x_i, y_j \geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}.$$

В случае модели (4) условия (5) принимают вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{11}b_{11}x_1 + \mu_{12}b_{12}x_2 + \mu_{13}b_{13}x_3 \geq b_{11}, \\ \mu_{11}b_{11}x_1 + \mu_{12}b_{12}x_2 + \mu_{13}b_{13}x_3 \geq b_{12}, \\ \mu_{11}b_{11}x_1 + \mu_{12}b_{12}x_2 + \mu_{13}b_{13}x_3 \geq b_{13}, \\ \mu_{21}b_{21}y_1 + \mu_{22}b_{22}y_2 + \mu_{23}b_{23}y_3 + b_{24}y_4 \geq b_{21}, \\ \mu_{21}b_{21}y_1 + \mu_{22}b_{22}y_2 + \mu_{23}b_{23}y_3 + b_{24}y_4 \geq b_{22}, \\ \mu_{21}b_{21}y_1 + \mu_{22}b_{22}y_2 + \mu_{23}b_{23}y_3 + b_{24}y_4 \geq b_{23}, \\ \mu_{21}b_{21}y_1 + \mu_{22}b_{22}y_2 + \mu_{23}b_{23}y_3 + b_{24}y_4 \geq b_{24}. \end{array} \right.$$

Выполнение приведенных неравенств свидетельствует о том, что соответствующие смешанные стратегии игроков создают ситуацию равновесия. Однако данная система неравенств не позволяет определить ситуацию равновесия биматричной игры. Для решения биматричной игры вида (4) целесообразно использовать вычислительный алгоритм Лемке-Хоусона (см., например, [Набатова 2009]).

В общем случае с большим количеством участников рынка и произвольным числом сельхозкультур ситуация сводится к игре m лиц с произвольной суммой. Математическая модель содержит m матриц или одну m -мерную блочную матрицу со значениями прибылей каждого фермера при производстве выбранной сельхозкультуры, рассчитываемых по формуле (2). Решение соответствующей задачи также состоит в нахождении ситуации равновесия.

Игроки могут образовывать коалиции, т. е. производители могут объединяться для достижения общей цели максимизации прибыли каждого из них. Главным преимуществом коалиции является возможность обмена информацией игроками. Это позволяет координировать выбор частных стратегий и объединять ресурсы. Образование коалиций на локальном рынке сельхозпродукции должно привести к выработке соглашения о распределении сельхозкультур между производителями и объемах их производства, а также, возможно, о совместной обработке земли и других действиях. Кроме этого условием коалиции может быть совершение побочных платежей, влияющих на значения выигрышей игроков, что делает их частью используемых игроками стратегий. К подобным платежам относятся плата за вступление в коалицию, штраф за выход из нее или уклонение от кооперации.

Рассмотрим простейший пример локального рынка двух фермеров B_1 и B_2 , каждый из которых имеет возможность производить одну из двух сельскохозяйственных культур: помидоры или огурцы. Пусть общая емкость рынка по обеим культурам равна среднему урожаю с площади 200 га, каждый из фермеров располагает земельным участком площадью 150 га, а оптовые цены реализации помидоров и огурцов равны, соответственно, 50 тыс. и 40 тыс. руб. за урожай с 1 га. Таким образом, блочная матрица выигрышей игры имеет вид

$$(B_1, B_2) = \begin{pmatrix} (5, 5) & (7.5, 6) \\ (6, 7.5) & (4, 4) \end{pmatrix},$$

где первая стратегия для каждого игрока – выращивание помидоров, вторая – выращивание огурцов, а элементы блоков матрицы измеряются в миллионах руб.

Данная игра имеет три ситуации равновесия, причем в первых двух игроки имеют чистые стратегии, а в третьей – смешанные:

- 1) фермер B_1 придерживается второй стратегии, т. е. производит огурцы, а фермер B_2 – первой – помидоры. Тогда их выигрыши составят 6 и 7,5 млн рублей соответственно;
- 2) фермер B_1 придерживается первой стратегии, т. е. производит помидоры, а фермер B_2 – второй – огурцы. Тогда их выигрыши составят 7,5 и 6 млн рублей соответственно;
- 3) первую стратегию (помидоры) оба фермера выбирают с вероятностью $7/9$, а вторую (огурцы) – с вероятностью $2/9$. Тогда средний выигрыш каждого из них будет составлять $50/9 \approx 5,556$ млн рублей.

Очевидно, что третий случай приводит к меньшему совокупному доходу и требует образования коалиции с целью выработки договоренности на длительный период о производимых сельскохозяйственных культурах и их чередовании. Подобная договоренность будет казаться сторонам справедливой, однако ее соблюдение представляется весьма затруднительным без разработки и внедрения специальных механизмов согласования стратегических решений.

Можно представить такую игру и как игру с внешними эффектами, где выигрыш игрока зависит не только от его собственного выбора, но и от распределения выборов других игроков по культурам, что близко к модели игры переполнения с отрицательными внешними эффектами.

Заметим, что в общем случае равновесие в чистых стратегиях может не существовать или их может быть множество (два фермера, две одинаково прибыльные культуры). Если ввести возможность образования коалиций, то можно трансформировать игру в двухэтапную – с этапами формирования коалиционной структуры

и производства. При этом игра внутри коалиций будет кооперативной, а между ними – некооперативной, а создание коалиций – это механизм координации для избегания взаимной конкуренции. Основной вопрос здесь заключается в нахождении механизмов создания устойчивых коалиций.

В отсутствие коалиций смешанное равновесие отражает хроническую нестабильность локального рынка с ограниченной емкостью. Фермерам со схожими сравнительными преимуществами сложно объединяться, так как они конкурируют за одни и те же ниши. Частным случаем устойчивой структуры при некоалиционной игре может быть полная координация всех m игроков, которая максимизирует суммарную прибыль, распределяя культуры оптимальным образом.

3. Моделирование рынка методами статистических игр

Как показывает практика, производители сельхозпродукции по отдельности не усматривают выгоды в кооперации и отказываются от образования коалиций. Это позволяет представить множество решений всех остальных фермеров как совокупность неопределенных обстоятельств, т. е. природу. В таком случае можно говорить о том, что отдельный фермер находится в состоянии байесовской игры с природой. Такая некооперативная статистическая игра состоит из множества периодов, в каждом из которых фермер выбирает стратегию j (сельхозкультуру j), в условиях, когда природа принимает одно из своих состояний $k = \overline{1, s}$. При этом оценка распределения вероятностей возможных состояний природы p_k субъективна для каждого фермера.

Обозначим через u_{ijk} прибыль i -го фермера, выращивающего j -ю сельхозкультуру при k -м состоянии природы. Тогда матрица выигрышей для фермера i при n различных вариантах выбора сельхозкультуры и s различных вариантах состояния природы имеет вид

$$U_i = (u_{ijk}).$$

Очевидно, что различные состояния природы имеют различные оценки вероятности p_k . Тогда ожидаемый выигрыш риск-нейтрального фермера с неограниченным бюджетом, выбирающего стратегию j при s состояниях природы, составит

$$\bar{U}_{ij} = \sum_{k=1}^s u_{ijk} p_k,$$

а матрица выигрышей примет вид

$$U_i = (\bar{U}_{i1} \quad \bar{U}_{i2} \quad \dots \quad \bar{U}_{in})^T.$$

Выбор оптимальной стратегии становится тривиальным – она соответствует $\max_j \bar{U}_{ij}$.

Рассмотрим возможные рациональные стратегии фермера в более реалистичном случае, учитывающем бюджетное ограничение β .

1. Осторожная стратегия (модифицированный критерий Вальда).

Согласно критерию Вальда в статистической игре оптимальной является чистая стратегия, гарантирующая максимальный выигрыш в наихудших условиях, т. е. дающая $S = \max_j \min_k u_{jk}$. В нашей задаче состояния природы не равновероятны и, вообще говоря, неизвестны. Поэтому ожидаемые значения выигрышей должны быть скорректированы с учетом информации, которой обладает фермер. При этом вероятность исходов, для которых убыток превысит бюджетное ограничение, должны быть минимизированы. С этой целью исключим из рассмотрения стратегии, ведущие к получению убытка, превышающего бюджетное ограничение, что приводит к матрице

$$U_i = (u_{ijk}), u_{ijk} \geq -\beta. \quad (6)$$

Если упрощенная таким образом матрица выигрышей существует, то

$$S = \max_j \min_k u_{jk},$$

в противном случае фермер минимизирует вероятность банкротства,

$$S = \min_j \sum_{k=1}^s p_k, u_{ijk} \leq -\beta. \quad (7)$$

2. Ориентированная на прибыль стратегия (модифицированный критерий Гурвица).

Критерий Гурвица используется для принятия решения в большом количестве экономических задач. Он позволяет получить

компромиссное решение, зависящее от индивидуальной склонности игрока к риску. Отношение к риску при принятии решения о выборе сельхозкультуры выразим с помощью параметра $\lambda \in [0,1]$. Значение $\lambda = 0$ соответствует абсолютному неприятию риска, а $\lambda = 1$ – абсолютной толерантности к риску. Если при учете бюджетного ограничения существует матрица (6), то выигрыш фермера будет определяться величиной

$$S = \max_j (\lambda \max_k u_{jk} + (1 - \lambda) \min_k u_{jk}),$$

в противном случае по формуле (7) находим стратегию, уменьшающую вероятность банкротства.

Заметим, что при $\lambda = 0$ критерий Гурвица переходит в критерий Вальда.

4. Алгоритм принятия решения при наличии коалиции

В локальных сельскохозяйственных системах каждый фермер сталкивается с неопределенностью в выборе сельхозкультуры для посева, так как он может иметь информацию о выборе сельхозкультуры только для участков, находящихся в непосредственной близости своего. Подобной информацией об удаленных участках фермер не обладает при том, что состояния природы определяются совокупностью стратегий всех фермеров.

Предположим, что существует некоторая система обмена информацией между всеми фермерами локального рынка. Это может быть, например, интернет-ресурс, где фермеры могут согласовывать и объявлять о своих решениях без обязательства им следовать. Фермеры, зарегистрированные в подобной системе, могут изменять свой выбор сельхозкультуры с учетом выбора других фермеров произвольное количество раз. При этом пользователи данной системы обладают всей информацией о принятых ранее решениях всех участников, а обмен информацией не требует транзакционных издержек. Таким образом, подобная система дает возможность кооперирования многочисленных независимых участников рынка. Каждый из них принимает решение о выборе производимой сельхозкультуры самостоятельно, но это решение вырабатывается в результате итерационного процесса с учетом текущего наблюдаемого распределения выборов сельхозкультур другими участниками локального рынка и может меняться под влиянием данного распределения.

На рисунке 1 приведен обобщенный алгоритм принятия решения о выборе сельхозкультуры фермером, обладающим бюджетным ограничением β и склонностью к риску λ при неизменной емкости рынка Q_j по каждой сельхозкультуре j .

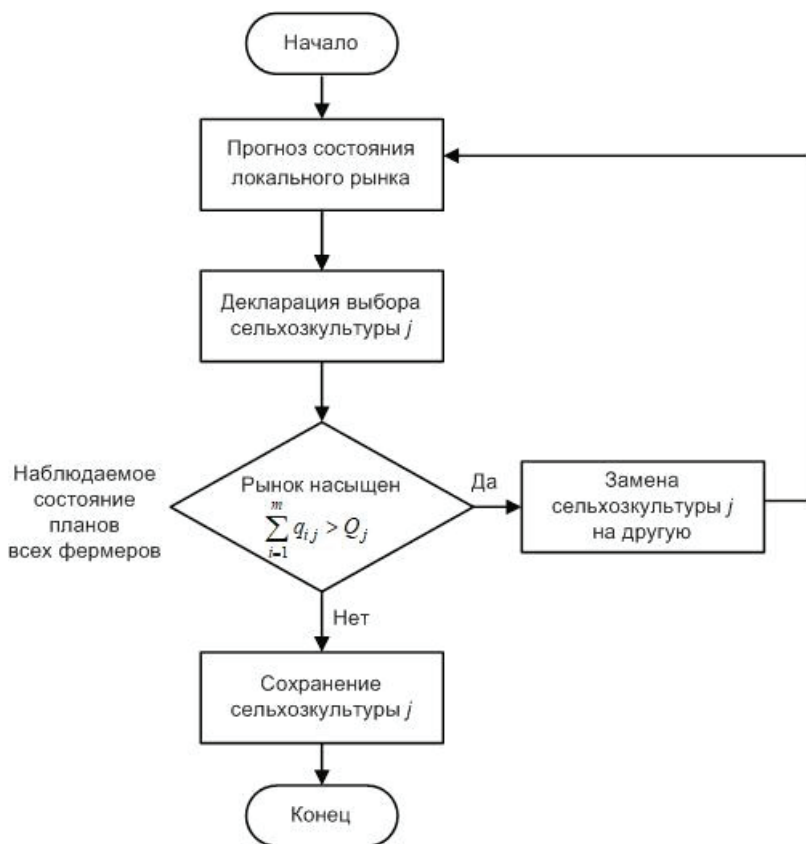


Рис. 1. Обобщенный алгоритм принятия решения о выборе сельхозкультуры фермером i

Как видно из представленной схемы, каждый фермер, раскрывая свои планы производства, получает доступ к информации о планах других фермеров. Соответственно, для каждого фермера становится известно планируемое на данный момент распределение площадей посевов разных сельхозкультур. В свете данной

информации фермер может лучше прогнозировать вероятность достижения ситуации ненасыщенности рынка по каждой конкретной сельхозкультуре. Представляется очевидным, что рациональный участник рынка не имеет стимулов вводить в заблуждение других участников, раскрывая в качестве своего плана культуру j_0 , а планируя посадить культуру j_1 , так как такой обман приведет к снижению показателя относительной насыщенности рынка $Q_j^{-1} \sum_{i=1}^n q_{ij}$

для j_1 и повышению его для j_0 , что потенциально уменьшает ожидаемую прибыль. Равновесие при использовании подобного механизма информационного обмена с нулевыми затратами будет достигнуто, когда условие ненасыщения рынка будет выполняться для всех сельхозкультур j . Заметим, что достижение равновесия далеко не всегда ведет к приблизительно равному распределению площадей под конкретные сельхозкультуры. Это распределение зависит и от сравнительной рентабельности сельхозкультур, и от их количества, и от относительного размера рынка, и от склонности фермеров к риску.

Заключение

Предложены математические модели механизмов координации участников локального рынка продукции растениеводства в условиях ограниченной емкости рынка, что позволило формализовать и проанализировать механизмы стратегического поведения в различных институциональных конфигурациях на подобных рынках. В частности, показано, что локальная олигополия может быть смоделирована в виде многоматричной игры. Предложена и рассмотрена подобная игра для исследуемого рынка. Рассмотрена также байесовская игра с природой в качестве способа моделирования локального рынка в условиях, приближенных к совершенной конкуренции (с учетом ранее описанной специфики данного рынка). Эти подходы позволили выявить ключевые закономерности формирования равновесных стратегий в условиях информационной неполноты и ограничений со стороны рыночного спроса.

Для многоматричной игры получены неравенства для расчета равновесия в смешанных стратегиях, что дает возможность анализировать устойчивость стратегий участников при различной степени координации. Обсужден вариант коалиционной игры с побочными платежами, показано, как создание коалиций между

производителями может изменять распределение ожидаемой прибыли и влиять на согласованность действий в условиях ограниченной емкости рынка. Для игры с природой получены выражения для расчета стратегии рационального игрока на основе модифицированных критерием Вальда и Гурвица, позволяющие формализовать учет производителем неопределенности относительно состояния окружающей среды и реакции рынка при принятии решений.

Предложен механизм, реализующий информационный обмен с нулевыми затратами между производителями на рассматриваемом рынке. Показано, что если фермеры ведут себя как рациональные, не склонные к риску (риск-нейтральные или избегающие риска), максимизирующие прибыль экономические субъекты, данный механизм обеспечивает согласованность стратегий и предотвращает перепроизводство по каждой из сельскохозяйственных культур. Изложенный механизм демонстрирует, каким образом институциональные инструменты и снижение информационной неполноты могут стабилизировать локальные рынки и повышать эффективность распределения ресурсов.

Формализована и исследована ключевая дилемма малого конкурентного сельскохозяйственного рынка: конфликт между индивидуальной рациональностью (выбор самой прибыльной культуры) и коллективной эффективностью (разнообразие предложения). Показано, как децентрализованное некооперативное равновесие ведет к рандомизации и потерям. При этом поиск устойчивых коалиционных структур является нетривиальной задачей, решение которой зависит от специфики параметров рынка и способности игроков к связывающим соглашениям. Представленный подход может использоваться как основа для изучения подобных проблем не только в аграрном секторе, но и в любых олигополистических отраслях с ограниченной емкостью рыночных ниш и отрицательными внешними эффектами выбора ассортимента.

Представленные модели обладают как теоретическим, так и прикладным значением. Теоретически они позволяют глубже понять динамику локальных сельскохозяйственных рынков и влияние ограниченного спроса на стратегические решения участников. С практической точки зрения результаты исследования могут быть использованы при разработке механизмов организации конкретных локальных рынков с ограниченной емкостью, обеспечивая инструменты координации и способствуя более эффективной интеграции малых производителей в локальные и региональные экономические системы.

Литература

- Гуртуев, Бозиев 2024 – *Гуртуев А.О., Бозиев О.Л.* Моделирование стратегического поведения производителей на локальном рынке сельскохозяйственной продукции с ограниченным спросом // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. № 26. № 6. С. 280–290. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-280-290.
- Есинов 2021 – *Есинов Б.А.* Методы исследования операций. СПб.: Лань, 2022. 304 с.
- Набатова 2009 – *Набатова Д.С.* О формировании процесса обучения решению биматричных игр с помощью алгоритма Лемке-Хоусона // Электронный журнал «Труды МАИ». 2009. № 35. URL: <https://mai.ru/science/publications/publish/#> (дата обращения: 12.01.2025).
- Остром 2011 – *Остром Э.* Управляя общим. Эволюция институтов коллективной деятельности. М.: Мысль, ИРИСЭН, 2011. 447 с.
- Bădulescu et al. 2022 – *Bădulescu D., Al-Smadi H.M., Bădulescu A-V.* To what extent do demand-related difficulties influence the density of SMEs. A panel data study on Romanian development regions // Proceedings of the 16th International Management Conference “Management and resilience strategies for a post-pandemic future” 3–4 November, Bucharest, Romania. 2022. Vol. 16 (1). P. 510–521. DOI: 10.24818/IMC/2022/03.10.
- Chavas, Nauges 2020 – *Chavas J.P., Nauges C.* Uncertainty, learning, and technology adoption in agriculture // Applied Economic Perspectives and Policy. 2020. Vol. 42 (1). P. 42–53. DOI: 10.1002/aep.13003.
- Hardin 1968 – *Hardin G.* The tragedy of the commons // Science. 1968. Vol. 162 (3859). P. 1243–1248.
- Liu et al. 2020 – *Liu Y., Chen X., Rabinowitz A., Campbell B.* Demand, challenges, and marketing strategies in the retail promotion of local brand milk // Agricultural Economics. 2020. Vol. 51. P. 655–668. DOI: 10.1111/agec.12584.
- Poteete et al. 2010 – *Poteete A., Janssen M., Ostrom E.* Working Together: Collective Action, the Commons, and Multiple Methods in Practice. Princeton: Princeton University Press, 2010.
- Prudnikov 2016 – *Prudnikov Yu.* Functioning of the system of local agricultural markets: institutional aspects // Baltic Journal of Economic Studies. 2016. Vol. 2 (5). P. 55–61. DOI: 10.30525/2256-0742/2016-2-5-55-61.
- Sickles, Zelenyuk 2019 – *Sickles R., Zelenyuk V.* Measurement of Productivity and Efficiency: Theory and Practice. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. 626 p.
- Swinnen, Kuijpers 2019 – *Swinnen J., Kuijpers R.* Value chain innovations for technology transfer in developing and emerging economies // Food Policy. 2019. Vol. 83. P. 89–292.
- Szczepańska-Przekota 2023 – *Szczepańska-Przekota A.* Are Small Agricultural Markets Recipients of World Prices? The Case of Poland // Agriculture. 2023. Vol. 13. P. 1–16. DOI: 10.3390/agriculture13061214.

References

- Bădulescu, D., Al-Smadi, H.M., and Bădulescu, A.-V. (2022), "To what extent do demand-related difficulties influence the density of SMEs. A panel data study on Romanian development regions", *Proceedings of the 16th international management conference "Management and resilience strategies for a post-pandemic future"* 3–4 November, Bucharest, Romania, vol. 16 (1), pp. 510–521, DOI: 10.24818/IMC/2022/03.10.
- Chavas, J.P. and Nauges, C. (2020), "Uncertainty, learning, and technology adoption in agriculture", *Applied Economic Perspectives and Policy*, vol. 42 (1), pp. 42–53, DOI: 10.1002/aep.13003
- Gurtuev, A.O. and Boziev, O.L. (2024), "Modeling the strategic behavior of producers in a local agricultural market with bounded demand", *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*, vol. 26, no. 5, pp. 280–290, DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-280-290.
- Hardin, G. (1968), The tragedy of the commons, *Science*, vol. 162 (3859), pp. 1243–1248.
- Liu, Y., Chen, X., Rabinowitz, A., and Campbell, B. (2020), "Demand, challenges, and marketing strategies in the retail promotion of local brand milk", *Agricultural Economics*, vol. 51, pp. 655–668, DOI: 10.1111/agec.12584
- Nabatova, D. S. (2009), "On the formation of the learning process for solving bimatrix games using the Lemke-Howson algorithm", *The electronic journal "Proceedings of MAI"*, no. 35, available at: <https://mai.ru/science/publications/publish/#> (Accessed 12 Jan. 2025).
- Ostrom E. (2011), *Upravlyaya obshchim. Evolyutsiya institutov kollektivnoy deyatelnosti* [Managing the Common. Evolution of Institutions of Collective Activity]. Mysl IRISEN, Moscow, Russia, 447 p.
- Poteete, A., Janssen, M., and Ostrom, E. (2010), *Working Together: Collective Action, the Commons, and Multiple Methods in Practice*. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA.
- Prudnikov, Yu. (2016), "Functioning of the system of local agricultural markets: institutional aspects", *Baltic Journal of Economic Studies*, vol. 2 (5), pp. 55–61, DOI: 10.30525/2256-0742/2016-2-5-55-61.
- Sickles, R., and Zelenyuk, V. (2019), *Measurement of Productivity and Efficiency: Theory and Practice*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Swinnen, J., and Kuijpers, R. (2019), Value chain innovations for technology transfer in developing and emerging economies, *Food Policy*, vol. 83, pp. 289–292.
- Szczepańska-Przekota, A. (2023), "Are Small Agricultural Markets Recipients of World Prices? The Case of Poland", *Agriculture*, vol. 13, pp. 1–16, DOI: 10.3390/agriculture13061214.
- Yesipov, B.A. (2022), *Metody issledovaniya operatsyi* [Methods of operations research], Lan', Saint-Petersburg, Russia.

Информация об авторах

Олег Л. Бозиев, кандидат физико-математических наук, доцент, Институт информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского научного центра РАН, Нальчик, Россия; 360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, д. 37-а;

Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик, Россия; 360004, Россия, Нальчик, ул. Чернышевского, д. 173; bozиеv@yandex.ru

Алим О. Гуртуев, кандидат экономических наук, Институт информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского научного центра РАН, Нальчик, Россия; 360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, д. 37-а;

Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик, Россия; 360004, Россия, Нальчик, ул. Чернышевского, д. 173; alemao@mail.ru

Information about the author

Oleg L. Bozиеv, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), associate professor, Institute of Informatics and Problems of Regional Management, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia; 37-a, I. Armand St., Nalchik, Russia, 360000;

Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia; 173, Chernyshevsky St., Nalchik, Russia, 360004; bozиеv@yandex.ru

Alim O. Gurtuev, Cand. of Sci. (Economics), associate professor, Institute of Informatics and Problems of Regional Management, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia; 37-a, I. Armand St., Nalchik, Russia, 360000;

Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia; 173, Chernyshevsky St., Nalchik, Russia, 360004; alemao@mail.ru

Научный журнал
Вестник РГГУ
Серия «Информатика.
Информационная безопасность. Математика»
№ 2
2026

Дизайн обложки
Е.В. Амосова

Корректор
Ж.П. Григорьева

Компьютерная верстка
Н.В. Москвина

Учредитель и издатель
Российский государственный гуманитарный университет
125047, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Тверской,
Миусская пл., д. 6, стр. 6

Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № ФС77-72977 от 25.05.2018 г.
Периодическое печатное издание

Подписано в печать 30.06.2026
Выход в свет 07.07.2026
Формат 60×90^{1/16}
Уч.-изд. л. 7,0. Усл. печ. л. 7,3
Тираж 1050 экз. Свободная цена
Заказ № 2388

Отпечатано в типографии Издательского центра
Российского государственного гуманитарного университета
125047, Москва, Миусская пл., д. 6, стр. 6
www.rsuh.ru