

СТАТЬИ

УДК 519.876.5:004.94:336
DOI

СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНАНСОВОЙ МЕТАВСЕЛЕННОЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО СЕКТОРА РОССИИ

Алюнов А.Н.

*ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»,
Москва, e-mail: alyunov@mail.ru*

Развитие цифровых государственных платформ требует комплексных подходов к оценке их эффективности, особенно в контексте внедрения финансовых метавселенных в государственный сектор России. Исследование направлено на создание научно обоснованной системы метрик для оценки эффективности финансовой метавселенной государственного сектора с применением математического моделирования и численных методов многокритериального анализа решений. Целью исследования является разработка комплексной системы оценки эффективности финансовой метавселенной государственного сектора России на основе математического моделирования, численных методов многокритериального анализа решений и методов валидации моделей с последующей реализацией в виде программного комплекса для поддержки принятия управленческих решений. В работе представлена разработка интегрированной математической модели, включающей семь критериев эффективности: технологическую зрелость, финансовую эффективность, безопасность и надежность, пользовательскую вовлеченность, нормативно-правовую гармонизацию, социально-экономическое воздействие и инфраструктурную устойчивость. В исследовании применены методы анализа иерархий (АНР), TOPSIS и PROMETHEE для многокритериального ранжирования альтернатив, а также методы валидации моделей включая бутстреп-анализ и кросс-валидацию. Разработан программный комплекс для вычислительного эксперимента на основе языка программирования Python с веб-интерфейсом для интерактивного анализа. Результаты показывают, что наибольший вес имеют критерии технологической зрелости (35,4%) и финансовой эффективности (24,0%). Оптимизация параметров системы позволила достичь максимальной эффективности 83,5% при коэффициенте согласованности АНР 0.025. Предложенная система может применяться для оценки готовности регионов к внедрению цифровых финансовых платформ и планирования цифровой трансформации государственного сектора.

Ключевые слова: математическое моделирование, многокритериальный анализ, численные методы, валидация моделей, метавселенная, государственный сектор, цифровая трансформация, финансовые технологии

EFFICIENCY EVALUATION SYSTEM FOR FINANCIAL METAVERSE OF RUSSIAN GOVERNMENT SECTOR BASED ON MATHEMATICAL MODELING AND NUMERICAL METHODS

Alyunov A.N.

*Financial University under the Government of the Russian Federation,
Moscow, e-mail: alyunov@mail.ru*

The development of digital government platforms requires comprehensive approaches to assess their effectiveness, especially in the context of implementing financial metaverses in the Russian government sector. The research is aimed at creating a scientifically grounded system of metrics for evaluating the effectiveness of the financial metaverse of the government sector using mathematical modeling and numerical methods of multi-criteria decision analysis. The purpose of the work is to develop an integrated mathematical model that includes seven efficiency criteria: technological maturity, financial efficiency, security and reliability, user engagement, regulatory harmonization, socio-economic impact and infrastructure sustainability. The study uses the methods of analytic hierarchy process (AHP), TOPSIS and PROMETHEE for multi-criteria ranking of alternatives, as well as model validation methods including bootstrap analysis and cross-validation. A software complex for computational experiment based on Python with a web interface for interactive analysis has been developed. The results show that the criteria of technological maturity (35.4%) and financial efficiency (24.0%) have the greatest weight. Optimization of system parameters made it possible to achieve maximum efficiency of 83.5% with AHP consistency ratio 0.025. The proposed system can be used to assess the readiness of regions for the implementation of digital financial platforms and planning the digital transformation of the government sector.

Keywords: mathematical modeling, multi-criteria analysis, metaverse, government sector, numerical methods, model validation, digital transformation, financial technologies

Введение

Цифровая трансформация государственного сектора России представляет собой стратегически важное направление развития публичного управления, требующее внедрения передовых информационных технологий [1, с. 20]. Концепция финансовой метавселенной государственного сектора формирует новую парадигму взаимодействия граждан,

бизнеса и государственных структур в виртуальном пространстве, обеспечивая повышение эффективности предоставления государственных услуг и оптимизацию бюджетных процессов [2].

Современные исследования в области цифровых государственных платформ демонстрируют необходимость разработки комплексных систем оценки их эффектив-

ности [3]. Особую актуальность приобретает применение математического моделирования и численных методов для анализа сложных многокритериальных систем, какими являются финансовые метавселенные [4, 5].

Несмотря на активное развитие цифровых технологий в государственном секторе, в настоящее время отсутствует единая научно обоснованная методология оценки эффективности финансовых метавселенных. Существующие подходы носят фрагментарный характер и не учитывают комплексность воздействия различных факторов на общую эффективность системы [6].

Цель исследования – разработка комплексной системы оценки эффективности финансовой метавселенной государственного сектора России на основе математического моделирования, численных методов многокритериального анализа решений и методов валидации моделей с последующей реализацией в виде программного комплекса для поддержки принятия управленческих решений.

Материалы и методы исследования

Исследование базируется на системном подходе к анализу эффективности цифровых государственных платформ с применением математического аппарата теории принятия решений и численных методов оптимизации [7, с. 21; 8, с. 30]. Теоретическую основу составляют работы в области многокритериального анализа решений (T.L. Saaty, C.L. Hwang, J.P. Brans), теории математического моделирования сложных систем и методов валидации моделей [9; 10, с. 26]. Следует учитывать российские и международные стандарты в области цифровых технологий государственного сектора, включая ГОСТ Р 57700.37-2021 по цифровым двойникам и требования информационной безопасности [11].

В работе применены следующие математические методы:

1. Метод анализа иерархий (АИР) для определения весов критериев на основе матрицы попарных сравнений:

$$w = (a \cdot w) / \lambda_{\max},$$

где w – собственный вектор; A – матрица попарных сравнений; $\lambda_{\max}$ – максимальное собственное значение.

2. Метод TOPSIS для ранжирования альтернатив по относительной близости к идеальному решению:

$$C_i = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)},$$

где S_i^+ , S_i^- – расстояния до положительно-го и отрицательного идеальных решений.

3. Метод PROMETHEE для построения системы предпочтений:

$$\varphi^+ = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x);$$

$$\varphi^- = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a),$$

где φ^+ , φ^- – положительная и отрицательная оценки предпочтения; n – общее количество альтернатив; x – все остальные альтернативы, кроме исследуемой альтернативы a .

4. Методы валидации включают бутстреп-анализ, k-fold кросс-валидацию и анализ чувствительности по методу Морриса.

Программная реализация была выполнена на языке программирования Python с использованием библиотек NumPy, SciPy, Pandas, Scikit-learn для численных расчетов и создания веб-интерфейса на основе HTML5, CSS3, JavaScript с библиотекой Chart.js для визуализации результатов [12, с. 83].

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного исследования разработана комплексная система оценки эффективности, включающая семь ключевых критериев с соответствующими математическими моделями [13; 14].

1. Математические модели критериев эффективности

Модель технологической зрелости учитывает интеграцию критически важных компонентов:

$$TM(t) = \alpha_1 \cdot SC(t)^{\beta_1} + \alpha_2 \cdot IoT(t)^{\beta_2} + \alpha_3 \cdot TPS(t)^{\beta_3},$$

где $SC(t)$ – доля процессов через смарт-контракты, $IoT(t)$ – количество интегрированных IoT устройств, $TPS(t)$ – скорость обработки транзакций, α_i , β_i – калибруемые параметры модели.

Модель финансовой эффективности определяется как

$$FE = \gamma_1 \cdot \ln(1 + TG) + \gamma_2 \cdot PTR + \gamma_3 \cdot CS,$$

где TG – рост прозрачности бюджетных операций, %; PTR – сокращение времени обработки запросов, %; CS – экономия средств за счет оптимизации, %.

Модель безопасности и надежности:

$$SR = \delta_1 \cdot UP + \delta_2 \cdot EL - \delta_3 \cdot ASR,$$

где UP – время бесперебойной работы системы, %; EL – уровень криптографической защиты, %; ASR – доля успешных кибератак, %.

Таблица 1

Веса критериев эффективности финансовой метавселенной
государственного сектора России

Критерий	Вес	Ранг	Целевые метрики
Технологическая зрелость	35,4%	1	≥ 80 % госзакупок через смарт-контракты
Финансовая эффективность	24,0%	2	Рост прозрачности на 40 %
Безопасность и надежность	15,9%	3	99,9 % бесперебойности работы системы
Пользовательская вовлеченность	10,4%	4	35 % населения использует платформу
Нормативно-правовая гармонизация	6,8%	5	5 новых ГОСТ к 2027 г.
Социально-экономическое воздействие	4,5%	6	Обучение 1 млн граждан
Инфраструктурная устойчивость	3,1%	7	95 % данных ЕГИС доступны в системе

Источник: составлено автором на основе результатов данного исследования.

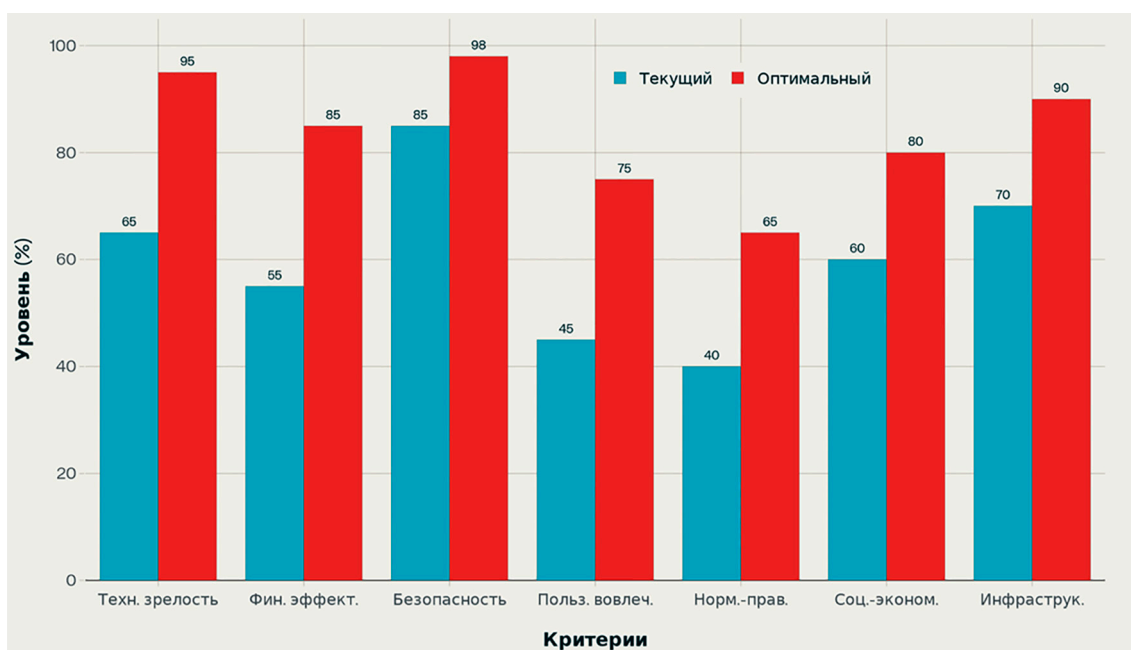


Рис. 1. Уровни эффективности критериев финансовой метавселенной
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Интегральная модель эффективности $E_{\text{сумм}}$ представляет собой взвешенную сумму критериев:

$$E_{\text{сумм}} = \sum (w_i \cdot C_i),$$

где w_i – веса критериев; C_i – нормализованные оценки критериев.

Критерии эффективности финансовой метавселенной, ранжированные по весу, а также исходные значения целевых метрик представлены в табл. 1.

2. Результаты многокритериального анализа

Применение метода анализа иерархий (АИР) показало высокую согласованность экспертных оценок с коэффициентом $CR = 0,025$, что значительно ниже критического

значения 0,10 и свидетельствует об отличном качестве результатов.

Сравнение текущих и оптимальных уровней эффективности демонстрирует значительный потенциал для улучшения по всем критериям. Наибольший разрыв наблюдается в области пользовательской вовлеченности и технологической зрелости (рис. 1).

Наибольший вес получили критерии технологической зрелости (35,4%) и финансовой эффективности (24,0%), что отражает приоритетность технологических и экономических аспектов при внедрении финансовых метавселенных.

Метод TOPSIS позволил ранжировать 50 сценариев развития системы по степени близости к идеальному решению. Лучшие

сценарии демонстрируют интегральную эффективность в диапазоне 77,0–83,0%, что указывает на высокий потенциал оптимизации системы при правильном выборе параметров.

Валидация методом бутстрепа с 1000 итерациями подтвердила статистическую значимость результатов [15, с. 45]. Доверительный интервал для средней эффективности составил [76,6; 78,6%] при уровне доверия 95%. Тест Шапиро – Уилка показал нормальность распределения остатков ($p\text{-value} = 0,608$), что подтверждает адекватность разработанных моделей.

3. Оптимизация параметров системы

Применение алгоритма дифференциальной эволюции для оптимизации параметров системы позволило достичь максимальной эффективности 83,5%. Оптимальные параметры включают: долю смарт-контрактов 100%, количество IoT устройств 500 000, скорость обработки транзакций 1,110 TPS, рост прозрачности 44,8%, время работы системы 99,95%. Полученные оптимальные значения параметров финансовой метавселенной сведены в табл. 2.

4. Программный комплекс и вычислительный эксперимент

Разработанный программный комплекс включает модули математических моделей, численных методов MCDA, системы валидации и веб-интерфейс для интерактивного анализа [16–18]. Архитектура системы обеспечивает модульность и масштабируемость решения.

Вычислительный эксперимент проведен на выборке из 50 сценариев с различными значениями параметров системы. Статистический анализ результатов показал:

- средняя эффективность: $77,5 \pm 3,7\%$;
- коэффициент вариации: 4,8% (низкая вариабельность);
- коэффициент детерминации $R^2 = 0,89$ (высокое качество модели).

На рис. 2 представлен внешний вид вкладки «Критерии» разработанного программного комплекса, а на рис. 3 – внешний вид вкладки «Моделирование».

Анализ чувствительности выявил наибольшее влияние параметров технологической зрелости и финансовой эффективности на общий результат, что согласуется с весами критериев, полученными методом АНР. Вкладка «Оптимизация» на рис. 4, демонстрирует потенциал улучшения системы.

Таблица 2

Результаты оптимизации параметров системы

Параметр	Оптимальное значение	Целевое значение
Доля смарт-контрактов	100 %	$\geq 80\%$
IoT устройств	500,000	500,000
Скорость транзакций (TPS)	1,110	$\geq 1,000$
Рост прозрачности (%)	44,8	40
Время работы системы (%)	99,95	99,9

Источник: составлено автором по результатам оптимизации методом дифференциальной эволюции.

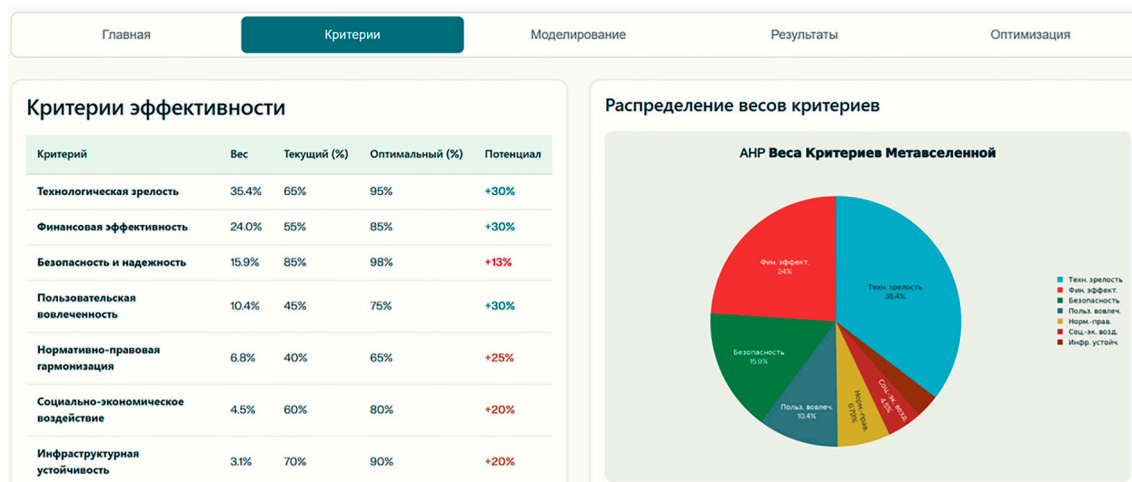


Рис. 2. Внешний вид вкладки «Критерии»

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

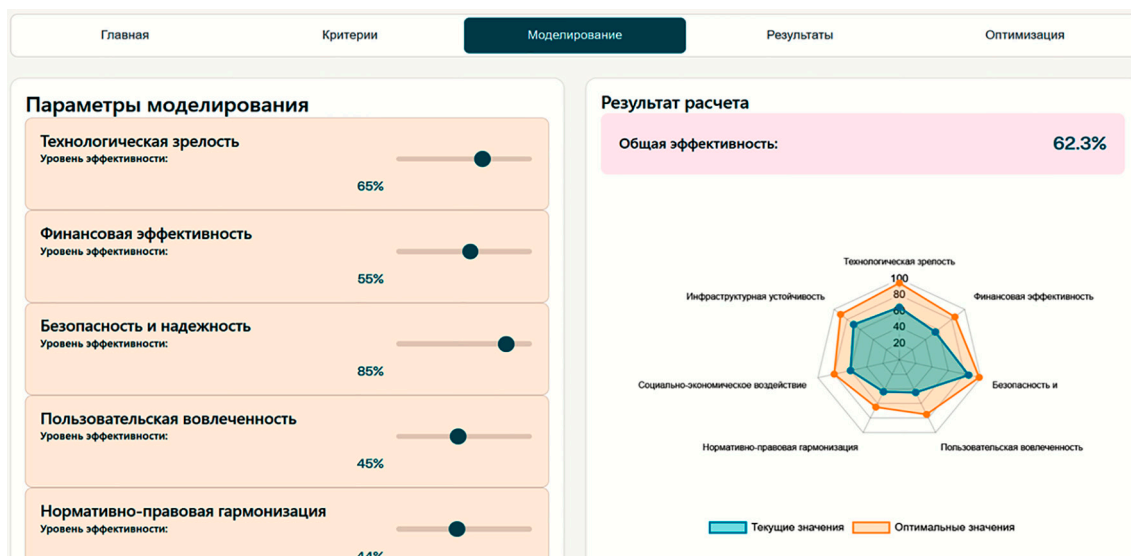


Рис. 3. Внешний вид вкладки «Моделирование»
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования



Рис. 4. Внешний вид вкладки «Оптимизация»
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

5. Практическое применение и внедрение
 Предложенная система может применяться:

– для оценки готовности регионов к внедрению финансовых метавселенных;

– планирования цифровой трансформации государственного сектора;
 – мониторинга эффективности государственных IT-проектов;
 – сравнительного анализа международного опыта;
 – оптимизации распределения бюджетных ресурсов.

Система соответствует требованиям национального проекта «Цифровая экономика» и учитывает лучшие практики развитых стран в области цифрового государственного управления.

Заключение

Разработанная комплексная система оценки эффективности финансовой метавселенной государственного сектора России представляет собой научно обоснованное решение актуальной задачи цифровой трансформации публичного управления. Система включает семь критериев эффективности с соответствующими математическими моделями, методы многокритериального анализа решений и валидации, а также программный комплекс для практического применения.

Достиженные результаты подтверждают возможность повышения эффективности государственных цифровых платформ до 83,5% при оптимальных параметрах конфигурации. Высокая согласованность экспертных оценок ($CR = 0,025$) и статистическая значимость результатов валидации свидетельствуют о качестве разработанных моделей.

Предложенная методология может служить основой для принятия обоснованных

управленческих решений при внедрении финансовых метавселенных в российском государственном секторе и способствовать укреплению цифрового суверенитета страны.

1. Разработана комплексная система тематических моделей для оценки эффективности финансовой метавселенной государственного сектора, включающая семь ключевых критериев с научно обоснованными весовыми коэффициентами.

2. Применение численных методов многокритериального анализа решений (АНР, TOPSIS, PROMETHEE) обеспечило высокую точность и надежность результатов оценки с коэффициентом согласованности 0,025.

3. Методы валидации моделей подтвердили статистическую значимость результатов и адекватность разработанных математических моделей с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,89$.

4. Оптимизация параметров системы методом дифференциальной эволюции позволила достичь максимальной эффективности 83,5% при определенных оптимальных значениях параметров.

5. Создан программный комплекс с веб-интерфейсом, обеспечивающий практическое применение разработанной методологии для поддержки принятия управленческих решений.

Список литературы

1. Концепция цифрового рубля / Банк России. М.: Центральный банк РФ, 2021. 68 с. Электронный ресурс. URL: https://storage.consultant.ru/ondb/attachments/202104/08/concept_2YF.pdf (дата обращения: 16.07.2025).
2. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». Электронный ресурс. URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201705100002.pdf> (дата обращения: 16.07.2025).
3. Двинских Д.Ю., Дмитриева Н.Е., Жулин А.Б. и др. Цифровая трансформация государственного управления: мифы и реальность [Текст]: докл. к XX Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества (Москва, 9–12 апреля 2019 г.). / под общ. ред. Н.Е. Дмитриевой. М.: Изд. дом ВШЭ, 2019. 43 с. ISBN 978-5-7598-1980-6.
4. Карапетов А.С., Чкадуа Н.Ю., Мирончук В.А. Математическое моделирование в государственном управлении // Региональная и отраслевая экономика. 2024. № S1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematiceskoe-modelirovanie-v-gosudarstvennom-upravlenii> (дата обращения: 16.07.2025).
5. Петросян М.О., Зеленков П.В., Ковалев И.В., Ефремова С.В. Методы многокритериального анализа решений // Решетневские чтения. 2016. № 20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-mnogokriterialnogo-analiza-resheniy> (дата обращения: 16.07.2025).
6. Кудина М.В., Воронов А.С., Гаврилюк А.В. Внедрение цифровых платформ для принятия решений в государственном управлении // Государственное управление. Электронный вестник. 2023. № 100. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-tsifrovyyh-platform-dlya-prinyatiya-resheniy-v-gosudarstvennom-upravlenii> (дата обращения: 16.07.2025).
7. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p. ISBN 10: 0070543712.
8. Hwang C.L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Berlin: Springer-Verlag, 1981. 259 p. ISBN 10: 0387105581.
9. Brans J.P., Vincke P. A preference ranking organisation method: The PROMETHEE method for MCDM // Management Science. 1985. Vol. 31. № 6. P. 647–656. DOI: 10.1287/mnsc.31.6.647.
10. Roy B. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. 293 p. ISBN: 978-1-4757-2500-1.
11. ГОСТ Р 57700.37-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Москва: Стандартинформ, 2021, 16 с.
12. McKinney W. Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2017. 547 p. ISBN: 978-1491957660.
13. Сальников А.В., Французов М.С., Виноградов К.А., Пятунин К.Р., Никулин А.С. Верификация и валидация компьютерных моделей // Известия вузов. Машиностроение. 2022. № 9 (750). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/verifikatsiya-i-validatsiya-kompyuternyh-modeley> (дата обращения: 16.07.2025).
14. Хачумов М.В., Емельянова Ю.Г. Многослойные искусственные нейронные сети с функцией активации типа s-парабола и их приложения // Искусственный интеллект и принятие решений. 2024. № 3. С. 42–53. DOI: 10.14357/20718594240304.
15. Efron B., Tibshirani R.J. An Introduction to the Bootstrap. New York: Chapman & Hall, 1993. 436 p. ISBN 978-0412042317.
16. ГОСТ Р 34.12-2015. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Блочные шифры. М.: Стандартинформ, 2018, 16 с.
17. Vladimirskaia A., Kolosnitsyna M. Factors in Life Expectancy: A Cross-Country Analysis // Voprosy statistiki. 2023. № 30. P. 70–89. DOI: 10.34023/2313-6383-2023-30-1-70-89.
18. Медведева С.Н., Гавриков А.С., Газизова Г.Р., Сорокина А.В. Разработка программных комплексов для проведения исследований эффективности статистических методов // Образовательные технологии и общество. 2020. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-programmykh-kompleksov-dlya-provedeniya-issledovaniy-effektivnosti-statisticheskikh-metodov> (дата обращения: 16.07.2025).