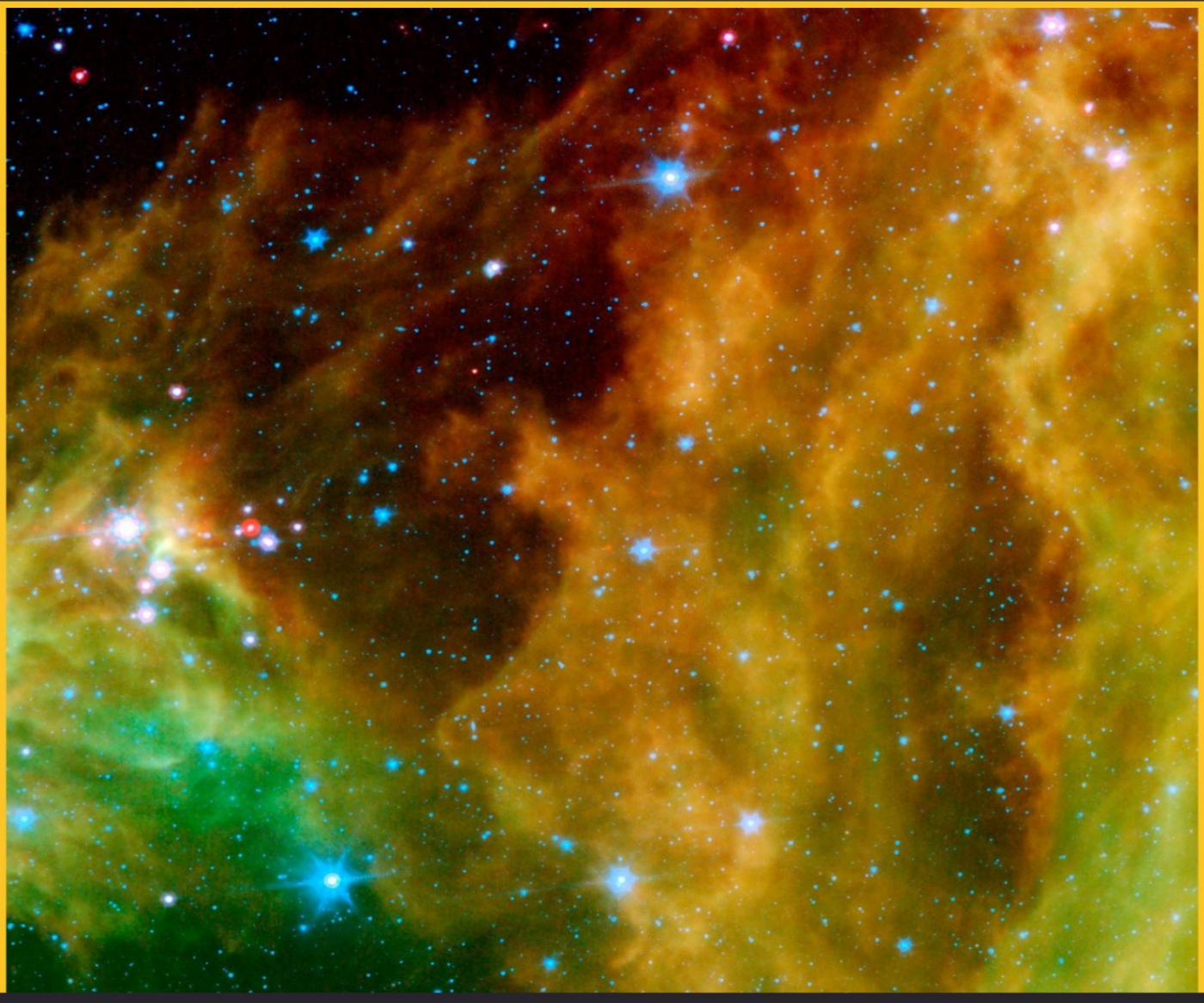
MARCH 2025 | ISSUE #3(2)

INTERNATIONAL JOURNAL OF PROFESSIONAL SCIENCE

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL



SCIPRO.RU
ISSN 2542-1085

SOCIAL SCIENCES AND HUMANITIES

UDC 001
LBC 72

International Journal Of Professional Science: international scientific journal, Nizhny Novgorod, Russia: Scientific public organization “Professional science”, №3(2) - 2026. 241 p.

ISSN 2542-1085

International journal of Professional Science is the research and practice edition which includes the scientific articles of students, graduate students, postdoctoral students, doctoral candidates, research scientists of Russia, the countries of FSU, Europe and beyond, reflecting the processes and the changes occurring in the structure of present knowledge.

It is destined for teachers, graduate students, students and people who are interested in contemporary science.

All articles included in the collection have been peer-reviewed and published in the form in which they were presented by the authors. The authors are responsible for the content of their articles.

The information about the published articles is provided into the system of the Russian science citation index – RSCI under contract № 2819-10/2015K from 14.10.2015

The electronic version is freely available on the website http://scipro.ru/ijps.html

UDC 001

LBC 72



Editorial team

Chief Editor – Krasnova Natalya, PhD, assistant professor of accounting and auditing the Nizhny Novgorod State University of Architecture and Construction. (mail@nkrasnova.ru)
Zhanar Zhanpeisova — Kazakhstan, PhD
Khalmatova Barno Turdyhodzhaeva — Uzbekistan, MD, Professor, Head of the Tashkent Medical Academy
Tursunov Dilmurat Abdullazhanovich — Kyrgyzstan, PhD, Osh State University
Ekaterina Petkova,Ph.D Medical University — Plovdiv
Stoyan Papanov PhD, Department of Pharmacognosy and pharmaceutical chemistry, Faculty of Pharmacy, Medical University — Plovdiv

Materials printed from the originals filed with the organizing committee responsible for the accuracy of the information are the authors of articles

Editors N.A. Krasnova, 2026

Article writers, 2026

Scientific public organization
“Professional science”, 2026

Table of contents

INTRODUCTION 6
BIOLOGY AND BIOMEDICINE 7
Ilyasov A.G. Evaluation of milk productivity of horses of the Bashkir and Russian heavy-weight breeds depending on the polymorphism of albumin, transferrin, and esterase enzymes in blood 7
CHEMISTRY AND MATERIALS SCIENCE 12
Piletskaya A.S. Comparative cost analysis of using modified and unmodified leaf litter for heavy metal sorption 12
Piletskaya A.S. The influence of ultrasonic treatment and electromagnetic radiation on the ion-exchange properties of leaf litter 19
Piletskaya A.S. Thermodynamic analysis of the sorption of heavy metal ions by leaf litter 25
ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES 32
Kozlov V.V., Lipatov M.S. Experience and prospects of low-potential wastewater heat utilization 32
ENVIRONMENT AND ECOLOGY 37
Asoyan S.T., Zyatikov I.D. Digital Transformation in the Electric Power Industry: Economic Impact of Implementing Digital Twins for Enterprise and Industry Management 37
Piletskaya A.S. From waste to valuable resource: ecological and biogeochemical role in the context of a circular economy 43
INDUSTRIAL RESEARCH AND PRODUCTION 49
Dgebuadze D.D., Chibisova E.I. State interactions with private partners and ways to overcome them through TRIZ 49
Lipatov M.S., Asoyan S.T. Industry 5.0: Digital Twins as the Basis for Sustainable Predictive Maintenance 59
Nashuk D. S., Kozlov V. V., Lipatov M. S. Integration of heat pumps into district heating systems 67
MEDICAL RESEARCH AND HEALTHCARE 74
Bryksina A.A., Galchuk K.V., Kuprikova P.A., Semenova E.V., Bogacheva E.V. Orthokeratology as an opportunity for vision correction in students 74
Eremina M.A., Eremina A.A., Ryabov A.A., Bogacheva E.V. Why Medical Students Fear the Exam: A Study of Anxiety and Its Mental Consequences 81
Kazakova S.R. Genetic and environmental factors in the development of diabetes mellitus.. 89
Petrova N.G., Murzabekova M.M. Personal characteristics of nurses and the effectiveness of their interactions with patients 98
Popov D.S., Perova A.O., Popytak E.A., Nemtsova M.I., Bogacheva E.V. Assessment of the level of awareness and knowledge of chronic glomerulonephritis among first- and third-year students of the N. N. Burdenko Voronezh State Medical University 103
Weber N.S., Zhdanova K.E., Bogacheva E.V. The role of effective communication between the doctor and the patient as a factor in successfully establishing a preliminary diagnosis for the patient 109
SCIENTIFIC METHODS AND TECHNOLOGIES 114
Volkov S.A. Analyzing user reviews using machine learning and sentiment analysis methods 114

STANDARDIZATION AND QUALITY 121
Evseeva N.A., Dragina O.G. Digital transformation of metrological support as a key factor of technological sovereignty of the Russian engineering industry 121
Lezin K.A. Comparative analysis of accuracy and cost of flow meters for water accounting in automation systems 128
TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS 138
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifullina I.Yu., Dolbin I.D. Multiparametric modeling of mining systems to optimize mining processes in conditions of unstable demand for raw materials 138
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Sharov P.E. Prospects for using superhard composite materials to reinforce drilling tools for drilling rocks with a high hardness coefficient 146
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Lomakina N.E., Remizov N.A. Estimation of deformations of quarry walls and dumps based on real-time laser scanning and photogrammetry data..... 159
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Lomakina N.E., Sharov P.E. Mine survey control of rock movement during intensive underground mining of powerful ore bodies..... 167
Asoyan S.T. Additive Technologies in the Production and Repair of Heating Equipment 177
Boshchenko D.A. A comparative analysis of machine learning libraries in Java..... 182
Boshchenko D.A. The impact of artificial intelligence on the development of the modern world 190
Konovalov G.G. Comparative analysis of Java and Kotlin programming languages..... 197
Konovalov G.G. Integrating AI assistants into software development processes 205
Zaripova R.I. Application of big data and artificial intelligence technologies in public asset management..... 217
TRANSPORT AND MOBILITY 230
Khalikov R.M., Ivanova O.V., Latypova Z.B., Pavlov S.Y., Glazachev A.O. Optimized functioning of the intelligent transport infrastructure of high-speed highways 230
CONCLUSION 240

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

INTRODUCTION

The third issue of the International Journal of Professional Science (No. 3(2)) presents a comprehensive overview of contemporary interdisciplinary research, merging fundamental science and applied engineering solutions. In the context of rapid global digitalization and the need to transition to sustainable development models, the journal's pages provide a platform for discussing critical innovations in electric power, medicine, materials science, and industrial manufacturing.

The issue focuses on digital transformation and artificial intelligence. The authors explore the impact of AI assistants on software development, the application of Big Data in public administration, and the implementation of digital twins as the foundation of the "Industry 5.0" concept. Particular attention is paid to technological sovereignty and the modernization of metrological support in mechanical engineering, a key factor in the stability of modern industry.

The medical and biological research section covers a wide range of topics: from the genetic basis of diabetes and the psychology of student life to the effectiveness of communication in the doctor-patient system. The issue's environmental agenda focuses on the circular economy and the search for new methods of heavy metal sorption, highlighting the scientific community's commitment to finding harmony between industrial capacity and environmental conservation.

The articles presented in this issue reflect the synergy of various scientific fields, offering readers a comprehensive perspective on addressing pressing contemporary challenges.

With best wishes and warm regards,
Editor-in-Chief
International Journal of Professional Science
Krasnova N.A.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 636.1:636.082(575.2)

Ilyasov A.G. Evaluation of milk productivity of horses of the Bashkir and Russian heavy-weight breeds depending on the polymorphism of albumin, transferrin, and esterase enzymes in blood

Оценка молочной продуктивности лошадей башкирской и русской тяжеловозной породы в зависимости от полиморфизма белков альбумина, трансферрина и фермента эстеразы крови

Il'yasov Aydar Galievich
candidate of Agricultural Sciences, docent Departments of Beekeeping, Private Animal Husbandry, and Animal Breeding Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bashkir State Agrarian University"
Ильясов Айдар Галиевич
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры пчеловодства, частной зоотехнии и разведения животных ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

Abstract. *Research of genetically determined polymorphism systems of proteins, enzymes and blood groups Bashkir breed horses, as well as the formation of the genetic determinants of high milk production and use of genetic monitoring in the management selection process is relevant and is of fundamental importance in increasing production and reducing the cost of mare's milk and kumys.*

Keywords: *polymorphisms, proteins, enzymes, horses, productivity*

Аннотация. *Исследование генетически обусловленного полиморфизма систем белков, ферментов и групп крови лошадей башкирской породы, а также генетических детерминант формирования высокой молочной продуктивности и использования генетического мониторинга при управлении селекционным процессом является актуальным и имеет основополагающее значение в увеличении и удешевлении производства кобыльего молока и кумыса.*

Ключевые слова: *полиморфизм, белки, ферменты, лошади, продуктивность*

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Молочная продуктивность кобыл зависит от породы, индивидуальных особенностей, физиологического состояния, условий кормления и содержания. Более молочными считаются тяжеловозные кобылы, но они требовательны к кормам. В республике Башкортостан разводится одна из уникальных аборигенных пород лошадей - башкирская. Она создана методом народной селекции и отличается высокой плодовитостью, молочной и мясной продуктивностью, неприхотлива, хорошо приспособлена к условиям круглогодового пастбищного содержания. В связи с этим изучение генетически обусловленного полиморфизма систем белков, ферментов и

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

групп крови лошадей башкирской породы, а также генетических детерминант формирования высокой молочной продуктивности и использования генетического мониторинга при управлении селекционным процессом является актуальным и имеет основополагающее значение в увеличении и удешевлении производства кобыльего молока и кумыса[3].

Целью нашей работы являлось проведение сравнительного анализа удоев лошадей башкирской и русской тяжеловозной породы в зависимости от полиморфных вариантов по системам белков альбумина, трансферрина и ферменту эстеразе.

Объектом исследования служили лошади башкирской породы (n=46) ООО «Толпар» Баймакского района и русской тяжеловозной породы (n=31) хозяйства ООО «Стерлитамакский» Стерлитамакского района Республики Башкортостан.

Определение полиморфных вариантов белков и ферментов проводилось в соответствии с методическими рекомендациями по использованию систем белков и групп крови при контроле достоверности происхождения лошадей, разработанными ВНИИ коневодства [2].

Подсчет частот проводили, используя статистические методы популяционной генетики для множественных аллелей [1].

Результаты изучения полиморфных белков и ферментов крови племенных лошадей башкирской породы хозяйства и русской тяжеловозной породы для наглядности представлены в виде диаграмм на рисунках 1 и 2.

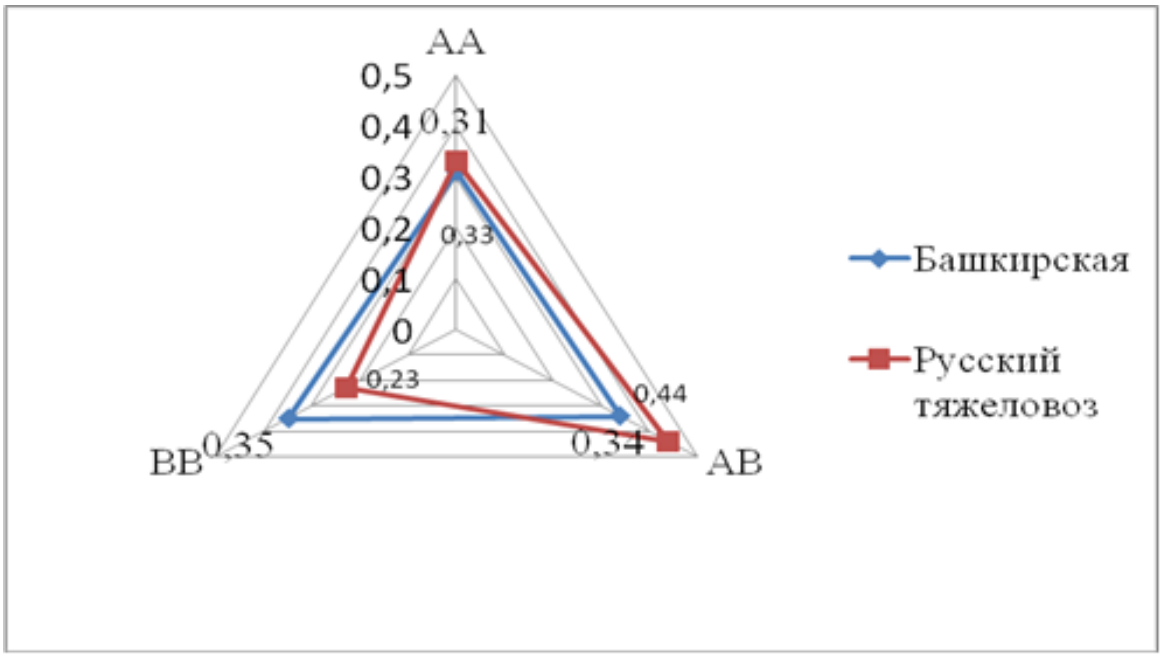


Рисунок 1. Частоты генотипов по полиморфной системе белка альбумина

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Анализируя частоты полиморфных вариантов белков и ферментов по обеим породам видно, что генетическая структура различается. Так, по башкирской породе видно, что по полиморфной системе альбумина частоты аллелей А и В отличаются незначительно и составляют 0,47 и 0,53 соответственно.

По русской тяжеловозной породе частота аллелей А составляет 0,58 и В – 0,42 соответственно. Животные с генотипом ВВ по башкирской породе встречаются чаще – 0,37, а по русской тяжеловозной породе больше животных с генотипом АВ– 0,43.

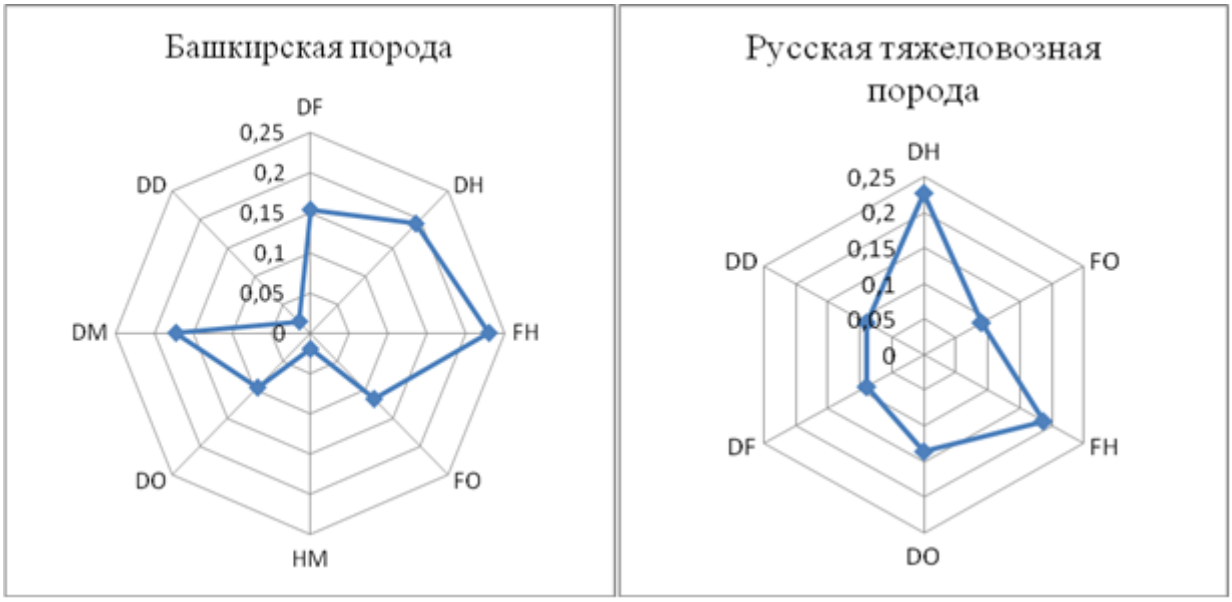


Рисунок 2. Частоты генотипов по полиморфной системе белка трансферрина у лошадей башкирской и русской тяжеловозной породы

По системе трансферрина у лошадей башкирской породы распределение частот аллелей было следующее: наибольшую частоту встречаемости имели аллели D и F – 0,25 и 0,22соответственно. Значительно меньшую частоту имели аллели O, M (0,06 и 0,08 соответственно). Наиболее часто встречающиеся генотипы FH и DH - 0,25 и 0,191; несколько меньше HM (0,03), DD (0,03) и DO (0,094).

По русской тяжеловозной породе наибольшую частоту встречаемости имели аллели D (0,36), H (0,25) и R (0,24). Также как и у лошадей башкирской породы наиболее высоко встречающиеся частоты отмечены для генотипов DH (0,231) и FH (0,192), несколько меньше FO , DF и DD – у всех по 0,08. Также следует отметить, что по данной выборке у лошадей башкирской породы встречается 15 вариантов генотипов, а среди лошадей русской тяжеловозной породы только 9.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Учитывая генетические особенности породы по наличию тех или иных аллелей полученные данные могут служить генетической характеристикой изученной популяции.

Далее провели небольшой анализ по комплексным полиморфным вариантам по системе альбумина и трансферрина на связь с молочной продуктивностью (рисунок 3 и 4).

По диаграмме на рисунке 3 можно увидеть, что наибольшие удои среди лошадей башкирской породы встречаются у животных с генотипами Alb^{AB}, трансферрина Tf^{DH} – 2133,7±64,1кг и Alb^{AB}, трансферрина Tf^{DO} – 2143,1±41,5кг.

Наименьшие средние удои наблюдались у лошадей с генотипами Alb^{AA}, трансферрина Tf^{DH} – 1692,8±73,4кг и Alb^{AA}, трансферрина Tf^{DM} – 1681,4±49,9кг.

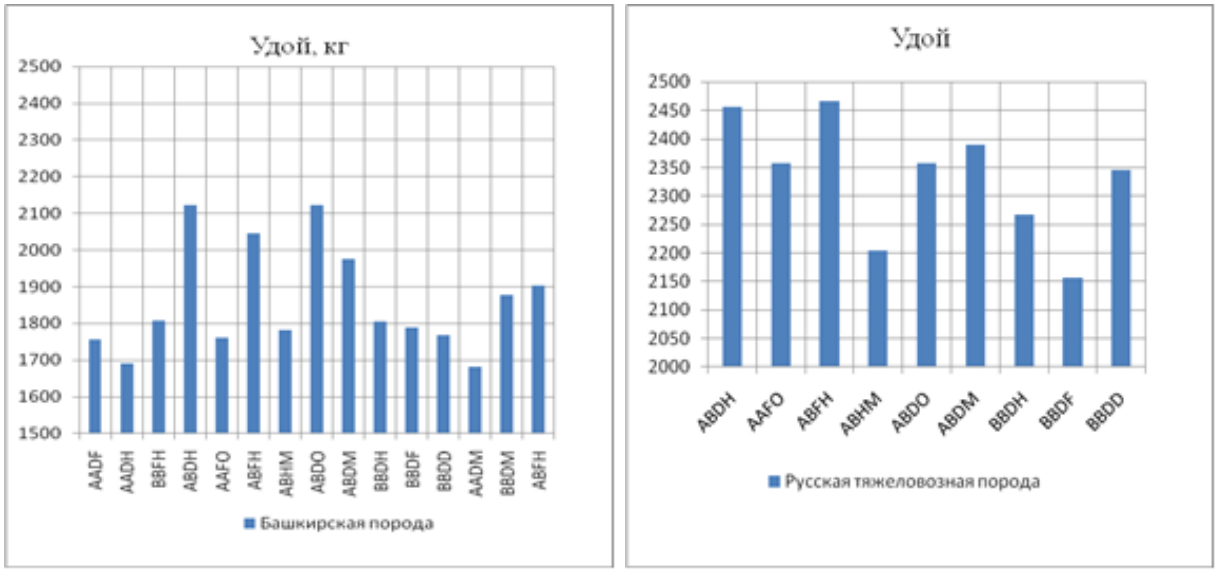


Рисунок 3. Молочная продуктивность кобыл башкирской и русской тяжеловозной породы в зависимости от комплексного генотипа по системе белка альбумина и трансферрина

По диаграмме на рисунке 3 также можно увидеть, что наибольшие удои среди лошадей русской тяжеловозной породы имели животные с генотипами Alb^{AB}, трансферрина Tf^{DH} – 2456,2±25,6кг и Alb^{AB}, трансферрина Tf^{FH} – 2477,2±37,12кг.

Наименьшие средние удои наблюдались у лошадей с генотипами Alb^{BB}, трансферрина Tf^{DF} – 2136,1±41,5кг и Alb^{AB}, трансферрина Tf^{HM} – 2257,2±43,7кг.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

References

1. Животовский Л.А. Популяционная биометрия. [Текст] / Л.А.Животовский // Учебник. – М.-: Наука, 1991.- 271с.

2. Храброва, Л.А. Методы генетической сертификации лошадей по полиморфным системам крови [Текст] / Л.А. Храброва и др. // Учебное пособие – Дивово, 2010. – 70с.

3. Храброва, Л.А. Мониторинг генетической структуры пород в коневодстве. [Текст] / Л.А. Храброва.// Доклады РАСХН /. - 2008. - №3. – С.42-44.

4. Юмагузина Э.Э. Молочная продуктивность и генетическая структура лошадей башкирской породы. [Текст]/ Э.Э. Юмагузина.//Материалы канд. дисс./. – С.3-10.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 504.062.2

Piletskaya A.S. Comparative cost analysis of using modified and unmodified leaf litter for heavy metal sorption

Сравнительный анализ затрат при использовании модифицированного и немодифицированного листового опада для сорбции тяжелых металлов

Piletskaya Anastasia Sergeevna,
fourth-year student
Research Advisor: **Smirnova Anastasia Igorevna**,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation
Пилецкая Анастасия Сергеевна,
студент 4 курса
Науч. рук.: Смирнова Анастасия Игоревна,
кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологий и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Abstract. *This article presents an economic analysis of the use of two types of leaf litter-based sorbents: native and physically modified (ultrasonic treatment, corona discharge). Based on experimental data on the sorption capacity for iron (II, III) ions, the specific costs of extracting 1 g of metal for each sorbent type are calculated. The additional capital and operating costs associated with modification are estimated. It is established that, despite the higher cost of modified samples, their use reduces specific treatment costs by increasing sorption capacity and reducing process time. The economic feasibility of modification for technology scaling is demonstrated.*

Keywords: *leaf litter, sorbent modification, ultrasonic treatment, corona discharge, economic efficiency, heavy metals, specific costs.*

Аннотация. *В статье представлен экономический анализ применения двух видов сорбентов на основе листового опада – нативного и подвергнутого физической модификации (ультразвуковая обработка, коронный разряд). На основе экспериментальных данных о сорбционной емкости по ионам железа (II, III) рассчитаны удельные затраты на извлечение 1 г металла для каждого типа сорбента. Оценены дополнительные капитальные и эксплуатационные расходы, связанные с модификацией. Установлено, что, несмотря на более высокую себестоимость модифицированных образцов, их применение позволяет снизить удельные затраты на очистку за счет повышения сорбционной емкости и сокращения времени процесса. Показана экономическая целесообразность модификации при масштабировании технологии.*

Ключевые слова: *листовой опад, модификация сорбентов, ультразвуковая обработка, коронный разряд, экономическая эффективность, тяжелые металлы, удельные затраты.*

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Загрязнение водных сред тяжелыми металлами является одной из актуальных экологических проблем, требующей разработки доступных и эффективных методов очистки. Синтетические сорбенты (активированный уголь, ионообменные смолы) обладают высокой сорбционной емкостью, однако их стоимость и необходимость регенерации ограничивают широкое применение, особенно при очистке больших объемов слабоконцентрированных сточных вод [1, 2]. В этой связи все большее внимание уделяется природным сорбентам из возобновляемого сырья, в частности листовому опаду, который в городах образуется в больших количествах и рассматривается как отход, требующий вывоза и захоронения[3].

Листовой опад обладает способностью к сорбции ионов тяжелых металлов за счет функциональных групп в составе биополимеров (лигнина, целлюлозы, танинов) [4]. Однако его нативная сорбционная емкость ограничена, что делает целесообразным применение методов физической модификации – ультразвуковой обработки и воздействия коронным разрядом, которые повышают доступность активных центров и увеличивают скорость сорбции [5]. Введение дополнительных стадий обработки связано с затратами, поэтому необходимо оценить, насколько экономически оправдано применение модифицированного опада по сравнению с нативным.

Цель настоящей работы – провести сравнительный экономический анализ затрат на получение и использование нативного и модифицированного листового опада в качестве сорбента для извлечения тяжелых металлов и определить условия экономической целесообразности модификации.

В качестве базового сырья рассматривается листовой опад дуба черешчатого (*Quercus robur*), который, согласно литературным данным, обладает наибольшей сорбционной емкостью среди изученных пород и содержит максимальное количество лигнина и танинов [4, 6]. Сорбционная способность оценивается по отношению к ионам железа Fe^{2+} и Fe^{3+}, которые часто присутствуют в промышленных сточных водах. Значения сорбционной емкости нативного и модифицированного опада приняты на основе экспериментальных работ [2, 5, 7] и приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сорбционная емкость нативного и модифицированного листового опада по ионам железа.

Тип сорбента	Сорбционная емкость, мг/г
Нативный (дуб)	8,5
Ультразвуковая обработка (УЗ)	12,0
Коронный разряд (КР)	11,2

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Расчет затрат выполнен в рублях (по состоянию на 2024 г.) с использованием следующих допущений:

- Сбор и подготовка 1 кг воздушно-сухого опада включают затраты на транспортировку, сушку и измельчение.
- Ультразвуковая обработка проводится в водной суспензии при частоте 22 кГц, удельной мощности 1,5 кВт·ч/кг обрабатываемого материала (в пересчете на сухое вещество) [5].
- Обработка коронным разрядом осуществляется в сухом слое толщиной 1 см при напряжении 20 кВ, времени экспозиции 5 мин, энергозатраты составляют 0,2 кВт·ч/кг [7].
- Капитальные затраты на оборудование амортизируются линейно за 5 лет при годовой загрузке 2000 ч, производительность установок учитывается при расчете амортизационных отчислений на 1 кг продукта.
- Стоимость электроэнергии принята 6 руб./кВт·ч.
- Затраты на оплату труда, общепроизводственные расходы и транспортные издержки включены в сбор и подготовку опада.

Затраты на получение нативного опада:
Сбор, вывоз и первичная обработка листового опада в городских условиях оцениваются на основе средних тарифов на обращение с твердыми коммунальными отходами. Согласно данным по Санкт-Петербургу, стоимость сбора и вывоза 1 м³ листвы составляет около 600 руб. При насыпной плотности 150 кг/м³ удельные затраты на транспортировку и складирование равны 4 руб./кг. Сушка до воздушно-сухого состояния (влажность 10 %) и измельчение требуют дополнительно 2 руб./кг (энергия и амортизация оборудования). Таким образом, себестоимость 1 кг подготовленного нативного сорбента составляет:

$$C_{нат}=4+2=6 \text{ руб./кг}$$

Дополнительные затраты на ультразвуковую модификацию:
Для ультразвуковой обработки необходима установка мощностью 3 кВт с производительностью 2 кг/ч по сухому веществу. Капитальные затраты на оборудование – 150 000 руб. Амортизация в расчете на 1 кг:

$$A_{УЗ}=\frac{150000}{5*2000*2}=7,5 \text{ руб./кг}$$

Энергозатраты: при удельном расходе 1,5 кВт·ч/кг и тарифе 6 руб./кВт·ч – 9 руб./кг. Дополнительные расходы на воду и обслуживание – 0,5 руб./кг. Итого дополнительные затраты на модификацию:

$$\triangle C_{УЗ}=7,5+9+0,5= 17 \text{ руб./кг}$$

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Полная себестоимость УЗ-модифицированного опада:

$$C_{УЗ}=C_{нат}+\Delta C_{УЗ}= 6+17=23 \text{ руб./кг}$$

Дополнительные затраты на модификацию коронным разрядом: Установка коронного разряда с рабочей зоной 0,5 м², производительностью по слою 10 кг/ч. Капитальные затраты – 200 000 руб. Амортизация на 1 кг:

$$A_{KP} = \frac{200000}{5*2000*10} = 2 \text{ руб./кг}$$

Энергозатраты: 0,2 кВт·ч/кг × 6 руб./кВт·ч = 1,2 руб./кг. Обслуживание, замена электродов – 0,8 руб./кг. Итого:

$$\Delta C_{KP}=2+1,2+0,8=4 \text{ руб./кг}$$

Полная себестоимость опада, обработанного коронным разрядом:

$$C_{KP}=6+4=10 \text{ руб./кг}$$

Таблица 2

Себестоимость 1 кг сорбента, руб.

Сорбент	Сбор и подготовка	Модификация	Итого
Нативный	6	–	6
УЗ-обработанный	6	17	23
КР-обработанный	6	4	10

Удельные затраты на извлечение 1 г металла: Удельные затраты Z (руб./г) рассчитываются как отношение себестоимости сорбента C (руб./кг) к его сорбционной емкости Q (г/кг):

$$Z = \frac{C}{Q}$$

Для нативного опада: $Q_{нат}$=8,5 г/кг, но удобнее в г/кг: 8,5 г/кг.

Тогда: $Z_{нат}= \frac{6}{8,5} = 0,706$ руб./г

Для УЗ-модифицированного: $Q_{УЗ}$=12,0 г/кг

$Z_{УЗ}$=2312,0=1,917 руб./г

Для КР-модифицированного: Q_{KP}=11,2 г/кг:

Z_{KP}=1011,2=0,893 руб./г

Для сравнения приведем ориентировочные показатели для активированного угля (марка АГ-3) и слабокислотного катионита КБ-4 (таблица 3). Данные носят оценочный характер, основанный на рыночных ценах и литературных данных.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Таблица 3

Ориентировочные показатели промышленных сорбентов.

Сорбент	Цена, руб./кг	Сорбционная емкость по Fe^{3+}, г/кг	Удельные затраты, руб./г
Активированный уголь	150	25	6,0
Катионит КБ-4	300	40	7,5

Основные факторы, влияющие на экономику: масштаб производства, стоимость электроэнергии, срок службы оборудования. При увеличении объема переработки опада до промышленных масштабов (например, 1000 т/год) амортизационная составляющая в себестоимости модифицированных сорбентов снижается. Для УЗ-обработки при 10-кратном росте производительности амортизация на 1 кг может составить менее 1 руб., что уменьшит $C_{УЗ}$ до 16–17 руб./кг, а $Z_{УЗ}$ – до 1,4 руб./г, приближаясь к показателю КР-обработанного.

Кроме того, экономический эффект усиливается за счет сокращения времени сорбции при использовании модифицированных сорбентов (кинетика ускоряется в 3–5 раз), что позволяет уменьшить размеры сорбционных колонн и снизить капитальные затраты на очистные сооружения [5].

Результаты расчетов показывают, что нативный листовой опад обладает наименьшей себестоимостью, однако его низкая сорбционная емкость приводит к высоким удельным затратам на извлечение 1 г металла (0,71 руб./г). Модификация коронным разрядом увеличивает себестоимость сорбента до 10 руб./кг, но благодаря росту емкости удельные затраты составляют лишь 0,89 руб./г, что всего на 26 % выше, чем у нативного, и значительно ниже, чем у промышленных сорбентов (6–7,5 руб./г). Ультразвуковая обработка, несмотря на существенное повышение сорбционной емкости, приводит к наиболее высокой себестоимости (23 руб./кг) и, соответственно, наибольшим удельным затратам (1,92 руб./г), что делает ее в представленных условиях менее выгодной по сравнению с обработкой коронным разрядом.

Следует учитывать, что ультразвуковая обработка имеет важные преимущества, не учтенные в прямых экономических расчетах: она значительно ускоряет кинетику сорбции, позволяет проводить обработку в жидкой фазе, совместима с процессом очистки, а также обеспечивает очистку поверхности сорбента от легко десорбируемых компонентов [5]. В крупнотоннажных производствах, где амортизационные отчисления становятся незначительными, а скорость процесса критична, УЗ-модификация может оказаться конкурентоспособной.

Обработка коронным разрядом демонстрирует лучшее соотношение «затраты – эффект» благодаря низкому энергопотреблению и высокой производительности. Этот

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

метод особенно привлекателен для централизованной обработки больших объемов сухого опада.

Важным дополнительным эффектом является снижение затрат города на вывоз и захоронение листового опада. Если 1 кг собранного опада вместо отправки на полигон (стоимость захоронения около 3–5 руб./кг) используется для производства сорбента, то эти затраты можно рассматривать как предотвращенные, что еще более улучшает экономические показатели. Включение этой составляющей снижает эффективную себестоимость сорбентов на 3–5 руб./кг.

Проведенный сравнительный анализ затрат на получение и применение нативного и модифицированного листового опада для сорбции тяжелых металлов показал, что себестоимость нативного сорбента составляет 6 руб./кг, модифицированного коронным разрядом – 10 руб./кг, ультразвуковой обработкой – 23 руб./кг. Однако при расчете удельных затрат на извлечение 1 г ионов железа нативный опад обеспечивает 0,71 руб./г, обработка коронным разрядом – 0,89 руб./г, а ультразвуковая модификация – 1,92 руб./г. Оба метода модификации обеспечивают многократное снижение удельных затрат по сравнению с промышленными сорбентами (6,0–7,5 руб./г), что подтверждает высокий экономический потенциал использования листового опада. При масштабировании технологии и учете предотвращенных затрат на вывоз и захоронение опада экономическая эффективность модифицированных сорбентов возрастает. Рекомендуется выбирать нативный опад для небольших объемов очистки, обработку коронным разрядом – для средних и крупных масштабов, а ультразвуковую модификацию – в случаях, критичных к скорости процесса. Таким образом, использование листового опада в качестве сорбента является экономически обоснованной альтернативой синтетическим аналогам, позволяющей одновременно решить проблему утилизации городских растительных отходов и снизить затраты на очистку сточных вод от тяжелых металлов.

References

1. Галимова Р. З., Латыпова Л. Ф., Шайхиев И. Г., Свергузова С. В., Воронина Ю. С. Кинетика сорбции ионов железа (III) из водных растворов нативной и модифицированной листвой тополя // Экономика строительства и природопользования. 2022. Т. 1-2. № 82-89. С. 115-120.

2. Шаймарданова А. Ш., Степанова С. В., Шайхиев И. Г. Исследование возможности многократного использования листового опада в качестве сорбционного материала по отношению к ионам железа // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. № 7. С. 164-172.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

3. Иванова Е. А. Формирование и разложение древесного опада в лесных экосистемах в фоновых условиях и при аэротехногенном загрязнении // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4. № 3. Ст. 87.

4. Fengel D., Wegener G. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1984. 613 c.

5. Никифорова Т. Е., Козлов В. А., Модина Е. А. Сольватационно-координационный механизм сорбции ионов тяжелых металлов целлюлозосодержащим сорбентом из водных сред // Химия растительного сырья. 2010. № 4. С. 23-30.

6. Рябов Н. А. Фармакогностическое исследование дуба черешчатого (Quercus robur L.): автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Самара, 2022. 24 с.

7. Shaimardanova A. S., Shaikhiev I. G., Galikhanov M. F., Stepanova S. V., Nizameev I. R., Guzhova A. A. Influence of the corona discharge parameters on the sorption properties of birch litter with respect to iron ions // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2017. Vol. 53. No. 5. P. 501-507.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 628.33

Piletskaya A.S. The influence of ultrasonic treatment and electromagnetic radiation on the ion-exchange properties of leaf litter

Влияние ультразвуковой обработки и электромагнитного излучения на ионообменные свойства листового опада

Piletskaya A.S.,
student of the St. Petersburg State University of Industrial Design Technologies. Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg, Russia.
Пилецкая А.С.,
студент ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий дизайна. Высшая школа технологии и энергетики», Россия, Санкт-Петербург.

Abstract. *The article discusses the physical methods of modification of natural sorbents using the example of leaf litter of tree species. The mechanisms of the effect of ultrasonic treatment based on the effects of cavitation and electromagnetic radiation (corona discharge) on the structure and surface properties of plant material are analyzed in detail. It is shown that ultrasonic treatment helps to clean the surface, open micropores, increase the interfacial surface and intensify diffusion processes, which leads to accelerated sorption and increased sorbent capacity. Treatment in the corona discharge field causes surface polarization and an increase in the number of available active centers, without changing the fundamental sorption mechanism. A comparative analysis of the advantages and limitations of each method is carried out. The prospects of using both approaches to modify the leaf litter of various tree species and the need for further research, taking into account differences in their chemical composition, are substantiated.*

Keywords: *leaf litter, natural sorbent, modification, ultrasonic treatment, cavitation, electromagnetic radiation, corona discharge, ion exchange properties, heavy metals.*

Аннотация. *В статье рассматриваются физические методы модификации природных сорбентов на примере листового опада древесных пород. Подробно проанализированы механизмы воздействия ультразвуковой обработки, основанной на эффектах кавитации, и электромагнитного излучения (коронного разряда) на структуру и поверхностные свойства растительного материала. Показано, что ультразвуковая обработка способствует очистке поверхности, раскрытию микропор, увеличению межфазной поверхности и интенсификации диффузионных процессов, что приводит к ускорению сорбции и повышению емкости сорбента. Обработка в поле коронного разряда вызывает поляризацию поверхности и увеличение числа доступных активных центров, не изменяя принципиального механизма сорбции. Проведен сравнительный анализ преимуществ и ограничений каждого метода. Обоснована перспективность применения обоих подходов для модификации листового опада различных древесных пород и необходимость дальнейших исследований с учетом различий в их химическом составе.*

Ключевые слова: *листовой опад, природный сорбент, модификация, ультразвуковая обработка, кавитация, электромагнитное излучение, коронный разряд, ионообменные свойства, тяжелые металлы.*

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Природные сорбенты на основе растительного сырья, включая листовой опад, обладают рядом неоспоримых преимуществ: доступностью, возобновляемостью, низкой стоимостью и экологической безопасностью. Однако их сорбционная способность, обусловленная наличием функциональных групп в составе целлюлозы,

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

лигнина и танинов, часто уступает синтетическим аналогам [1, 2]. Это связано с ограниченной удельной поверхностью, частичной блокировкой активных центров и относительно медленной кинетикой сорбции. Для устранения этих недостатков и повышения эффективности извлечения загрязнителей применяют различные методы модификации, направленные на изменение структуры и поверхностных свойств материала. Среди физических методов воздействия особого внимания заслуживают ультразвуковая обработка и обработка электромагнитным излучением, которые позволяют модифицировать материал без использования химических реагентов, что соответствует принципам «зеленой химии» [3, 4]. Целью настоящей работы является анализ влияния ультразвуковой обработки и электромагнитного излучения на ионообменные свойства листового опада и оценка перспектив использования этих методов для получения эффективных сорбционных материалов.

Ультразвуковая обработка является одним из наиболее эффективных физических методов интенсификации химико-технологических процессов. Ультразвуковые колебания представляют собой упругие механические волны с частотой выше порога слышимости человеческого уха (более 20 кГц), способные распространяться в различных средах и оказывать на них специфическое воздействие [3]. При распространении интенсивных ультразвуковых колебаний (1–2 Вт/см²) в жидкости возникает явление, называемое ультразвуковой кавитацией. Кавитация представляет собой процесс образования, роста и захлопывания парогазовых пузырьков в жидкой среде под действием переменного акустического давления. При захлопывании кавитационных пузырьков возникают локальные мгновенные давления, достигающие сотен и тысяч атмосфер, а также наблюдаются локальные повышения температуры и электрические разряды. Интенсивность, соответствующая порогу кавитации, зависит от природы жидкости, частоты звука, температуры и других факторов. В воде на частоте 20 кГц она составляет около 0,3–1 Вт/см². Ультразвуковая кавитация является основным инициатором физико-химических процессов, возникающих в жидкости под действием ультразвука [3].

Воздействие ультразвука на гетерогенные системы «твердое тело — жидкость» приводит к ряду эффектов, значимых для модификации сорбционных материалов. Кавитационные явления способствуют очистке поверхности сорбента от загрязнений и продуктов деструкции, а также более полному раскрытию микропор, что увеличивает доступную для сорбции поверхность. Под действием ультразвука может происходить изменение пористой структуры материала, включая увеличение объема микропор и появление новых пор. Ультразвуковая обработка обеспечивает сверхтонкое диспергирование материала, что приводит к увеличению площади межфазной

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

поверхности и, соответственно, числа доступных активных центров. Кроме того, кавитационные явления обусловливают интенсивное перемешивание жидкости в макро- и микрообъемах, что снижает градиенты концентрации на границе твердой и жидкой фаз и уменьшает толщину диффузионного слоя. Это приводит к ускорению массообменных процессов и сокращению времени достижения сорбционного равновесия [3].

В ряде работ показано, что ультразвуковое воздействие позволяет значительно повысить эффективность сорбционных процессов. При исследовании кинетики сорбции ионов натрия на катионите КУ-2 под действием ультразвука частотой 16,4 кГц установлено, что равновесное состояние достигалось за 2,5–3 ч, тогда как без ультразвука — лишь за 16 ч. Действие ультразвука приводило к увеличению скорости сорбции в 3–5 раз. Исследования влияния ультразвуковой обработки на доломит показали, что время удаления примесей тяжелых металлов сократилось в 1,4–12,1 раз при обработке в течение 5 с. При обработке сорбента на основе диоксида титана ультразвуком остаточная концентрация примесей железа и марганца уменьшалась в несколько раз по сравнению с необработанным сорбентом. Запатентован способ интенсификации молекулярной сорбции из водных растворов в динамическом режиме воздействием ультразвука (30–60 мин), увеличивающий емкость угольных сорбентов в 1,2–1,5 раза и скорость сорбции в 1,3–1,5 раза. Важно отметить, что ультразвуковое воздействие эффективно не только для активации исходных сорбентов, но и для их регенерации. Показано, что ультразвуковая обработка позволяет регенерировать сорбенты с эффективностью 88–94 % при сохранении их структуры [3].

Модификация с помощью электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение различных частотных диапазонов также находит применение для модификации свойств природных и синтетических материалов. В зависимости от частоты и интенсивности воздействия могут реализовываться различные механизмы влияния на структуру и свойства сорбентов. Одним из видов электромагнитного воздействия является обработка в поле коронного разряда. Коронный разряд представляет собой самостоятельный электрический разряд, возникающий в резко неоднородных полях и сопровождающийся образованием ионов и активных частиц в газовой фазе [4].

В работе [4] исследовано влияние обработки березового опада в поле коронного разряда на его сорбционные свойства по отношению к ионам Fe^{2+} и Fe^{3+}. Установлено, что обработка коронным разрядом приводит к увеличению сорбционной емкости березовых листьев. Определены оптимальные параметры обработки (напряжение и время поляризации), при которых достигается максимальная сорбционная способность.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Расчет термодинамических параметров показал, что полученные значения энергии активации (13,39 кДж/моль для ионов Fe^{2+} и 14,56 кДж/моль для ионов Fe^{3+}) соответствуют закономерностям физической сорбции [4, 5]. Это свидетельствует о том, что обработка коронным разрядом не изменяет принципиального механизма сорбции, но увеличивает количество доступных активных центров или их сродство к сорбируемым ионам.

Влияние электромагнитного поля на свойства сорбционных материалов может реализовываться через несколько механизмов. Под действием электрического поля происходит перераспределение заряда на поверхности материала, что может влиять на его взаимодействие с заряженными частицами (ионами) в растворе. Электромагнитное поле может влиять на пространственную структуру макромолекул биополимеров (целлюлозы, лигнина), изменяя доступность функциональных групп. Воздействие коронного разряда сопровождается образованием озона и активных форм кислорода, которые могут окислять поверхность материала, увеличивая содержание кислородсодержащих функциональных групп. Кроме того, изменение электронного состояния поверхности может влиять на энергию взаимодействия с сорбируемыми ионами [6].

Сравнительный анализ подходов к модификации

Рассмотренные методы физической модификации имеют свои преимущества и ограничения, которые необходимо учитывать при выборе способа обработки для конкретного типа сорбента и целевого применения. Ультразвуковая обработка характеризуется высокой эффективностью в жидкофазных системах и возможностью обработки непосредственно в среде, где будет применяться сорбент. Она обеспечивает многофакторное воздействие (очистка поверхности, раскрытие пор, диспергирование, интенсификация массообмена) и допускает комбинирование с химической модификацией (сонохимический синтез). Аппаратурное оформление ультразвуковых установок относительно просто. Однако эффективность ультразвуковой обработки снижается с увеличением толщины слоя обрабатываемого материала (наиболее эффективно озвучивание слоя толщиной до 1 см), возможно разрушение структуры материала при избыточной интенсивности, а кавитационные эффекты проявляются в ограниченной зоне, что обусловливает локальный характер воздействия [3].

Обработка электромагнитным излучением (коронным разрядом) осуществляется в газовой фазе, что удобно для «сухих» материалов. Она позволяет обрабатывать большие объемы материала при оптимизации параметров, а отсутствие контакта с жидкостью исключает дополнительное загрязнение. Доказана эффективность этого метода для березового опада [4,6]. К ограничениям можно отнести необходимость

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

специального высоковольтного оборудования, сильную зависимость эффективности от влажности материала и параметров обработки, а также менее детальную изученность механизмов воздействия по сравнению с ультразвуком.

Выбор обоих методов для модификации листового опада представляется обоснованным по нескольким причинам. Оба метода являются физическими, что исключает необходимость использования химических реагентов и соответствует принципам «зеленой химии». Ультразвуковая обработка позволяет воздействовать на материал в жидкой среде, моделируя условия последующего применения сорбента, и может способствовать не только модификации поверхности, но и удалению легкодесорбируемых компонентов, которые могли бы вносить вклад в загрязнение очищаемой воды. Обработка коронным разрядом представляет собой альтернативный подход, позволяющий модифицировать «сухой» материал и сравнивать эффективность разных типов воздействия. Имеющиеся литературные данные подтверждают перспективность обоих методов для растительных материалов, однако сравнительных исследований на одном типе сырья (листовой опад разных пород) недостаточно, что определяет научную новизну работы [1, 4].

Важно подчеркнуть, что эффективность модификации будет зависеть от исходного химического состава опада. Как было показано ранее [7], различные древесные породы существенно различаются по содержанию лигнина, целлюлозы и танинов. Опад дуба, богатый лигнином и танинами, может по-разному реагировать на ультразвуковое воздействие по сравнению с опадом осины или липы, клеточные стенки которых лигнифицированы в меньшей степени. Это открывает широкое поле для экспериментальных исследований по подбору оптимальных режимов модификации для каждого типа сырья.

Проведенный анализ литературных данных позволяет сделать следующие выводы. Ультразвуковая обработка и электромагнитное излучение являются эффективными физическими методами модификации природных сорбентов, позволяющими улучшить их ионообменные свойства без использования химических реагентов. Ультразвуковая обработка, основанная на эффектах кавитации, способствует очистке поверхности, раскрытию пор, диспергированию материала и интенсификации диффузионных процессов, что в конечном итоге увеличивает сорбционную емкость и скорость сорбции. Обработка в поле коронного разряда приводит к поляризации поверхности и увеличению числа доступных активных центров, что также повышает сорбционную способность, как это было доказано на примере березового опада. Каждый из методов имеет свои преимущества и ограничения, что обусловливает целесообразность их применения в зависимости от конкретных задач и типа обрабатываемого материала. Перспективным направлением дальнейших

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

исследований является сравнительное изучение влияния ультразвуковой обработки и электромагнитного излучения на ионообменные свойства листового опада различных древесных пород с учетом их химического состава, что позволит разработать научно обоснованные подходы к получению высокоэффективных сорбционных материалов на основе возобновляемого растительного сырья.

References

1. Иванова Е. А. Формирование и разложение древесного опада в лесных экосистемах в фоновых условиях и при аэротехногенном загрязнении // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4. № 3. Ст. 87.

2. Шаймарданова А. Ш., Степанова С. В., Шайхиев И. Г. Исследование возможности многократного использования листового опада в качестве сорбционного материала по отношению к ионам железа // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. № 7. С. 164-172.

3. Никифорова Т. Е., Козлов В. А., Модина Е. А. Сольватационно-координационный механизм сорбции ионов тяжелых металлов целлюлозосодержащим сорбентом из водных сред // Химия растительного сырья. 2010. № 4. С. 23-30.

4. Shaimardanova A. S., Shaikhiev I. G., Galikhanov M. F., Stepanova S. V., Nizameev I. R., Guzhova A. A. Influence of the corona discharge parameters on the sorption properties of birch litter with respect to iron ions // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2017. Vol. 53. No. 5. P. 501-507.

5. Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.

6. Hagerman A. E. Extraction of tannin from fresh and preserved leaves // Journal of Chemical Ecology. 1988. Vol. 14. No. 2. P. 453-461.

7. Fengel D., Wegener G. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1984. 613 c.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 544.723.21

Piletskaya A.S. Thermodynamic analysis of the sorption of heavy metal ions by leaf litter

Термодинамический анализ сорбции ионов тяжелых металлов листовым опадом

Piletskaya A.S.,
student of the St. Petersburg State University of Industrial Design Technologies. Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg, Russia
Пилецкая А.С.,
студент ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий дизайна. Высшая школа технологии и энергетики», Россия, Санкт-Петербург

Abstract. *The article presents the results of thermodynamic studies of the sorption of heavy metal ions by leaf litter of five tree species (hanging birch, aspen, holly maple, petiolate oak, small-leaved linden). Based on experimental data obtained in the temperature range of 293-333 K, the values of the Gibbs energy, enthalpy, and entropy of the process are calculated. It was found that sorption is spontaneous (ΔG < 0) for all the studied systems, with the most negative values of ΔG typical for oak leaf litter. It is shown that the process is exothermic (ΔH < 0), and the enthalpy values indicate the predominance of the physico-chemical mechanism of sorption with elements of ion exchange and complexation. The thermodynamic parameters obtained make it possible to predict the efficiency of purification under various temperature conditions and justify the choice of a sorbent for specific technological tasks.*

Keywords: *leaf litter, thermodynamics of sorption, Gibbs energy, enthalpy, entropy, heavy metals, wood species.*

Аннотация. *В статье представлены результаты термодинамических исследований сорбции ионов тяжелых металлов листовым опадом пяти древесных пород (береза повислая, осина обыкновенная, клен остролистный, дуб черешчатый, липа мелколистная). На основе экспериментальных данных, полученных в температурном диапазоне 293–333 К, рассчитаны значения изменения энергии Гиббса, энтальпии и энтропии процесса. Установлено, что сорбция носит самопроизвольный характер (ΔG < 0) для всех исследованных систем, причем наиболее отрицательные значения ΔG характерны для опада дуба. Показано, что процесс является экзотермическим (ΔH < 0), а значения энтальпии указывают на преобладание физико-химического механизма сорбции с элементами ионного обмена и комплексообразования. Полученные термодинамические параметры позволяют прогнозировать эффективность очистки в различных температурных условиях и обосновать выбор сорбента для конкретных технологических задач.*

Ключевые слова: *листовой опад, термодинамика сорбции, энергия Гиббса, энтальпия, энтропия, тяжелые металлы, древесные породы.*

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Понимание термодинамических параметров сорбции имеет ключевое значение для оценки самопроизвольности процесса, выбора оптимальных температурных режимов и прогнозирования эффективности очистки в реальных условиях эксплуатации. Листовой опад, рассматриваемый как перспективный природный сорбент для извлечения ионов тяжелых металлов из водных сред, требует детального изучения механизмов взаимодействия с загрязнителями. Термодинамический подход позволяет количественно описать эти взаимодействия, определить вклад физической и

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

химической составляющих, а также установить связь между составом сорбента и его сорбционными характеристиками [1, 2]. Целью настоящей работы является проведение термодинамического анализа сорбции ионов тяжелых металлов (Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cu^{2+}, Pb^{2+}) листовым опадом различных древесных пород, расчет основных термодинамических параметров и на их основе определение природы и механизма сорбционного процесса.

Термодинамический анализ сорбционных процессов базируется на расчете изменений энергии Гиббса (ΔG), энтальпии (ΔH) и энтропии (ΔS). Изменение энергии Гиббса является критерием самопроизвольности процесса: если $\Delta G < 0$, сорбция протекает самопроизвольно; если $\Delta G > 0$, процесс требует подвода энергии извне. Величина ΔG рассчитывается по уравнению:

$$\Delta G = -RT \ln K$$

где R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль·К)), Т – абсолютная температура (К), К – константа равновесия сорбции [3, 4].

Изменение энтальпии ΔH характеризует тепловой эффект процесса. Отрицательные значения ΔH указывают на экзотермический характер сорбции (выделение тепла), положительные – на эндотермический (поглощение тепла). Величина ΔH позволяет судить о механизме взаимодействия: при $|\Delta H| < 20$ кДж/моль преобладает физическая адсорбция, при $20 < |\Delta H| < 80$ кДж/моль – физико-химическая сорбция (ионный обмен, водородные связи), при $|\Delta H| > 80$ кДж/моль – химическая сорбция с образованием ковалентных связей [5, 6].

Изменение энтропии ΔS отражает степень упорядоченности системы в процессе сорбции. Положительные значения ΔS указывают на увеличение беспорядка (например, при десорбции молекул растворителя с поверхности сорбента), отрицательные – на упорядочивание системы (фиксация ионов на активных центрах).

Расчет ΔH и ΔS выполняется с использованием линейной формы уравнения Вант-Гоффа:

$$\ln K = -\Delta H / (RT) + \Delta S$$

Построение графика зависимости ln K от 1/T позволяет определить ΔH по углу наклона прямой, а ΔS – по отсекаемому отрезку на оси ординат [3, 4].

Объектами исследования служили образцы листового опада пяти древесных пород, широко распространенных в озеленении Санкт-Петербурга и Ленинградской области: березы повислой (Betula pendula), осины обыкновенной (Populus tremula), клена остролистного (Acer platanoides), дуба черешчатого (Quercus robur) и липы мелколистной (Tilia cordata). Сбор опада производился в период массового листопада, образцы высушивались до воздушно-сухого состояния и измельчались. В качестве сорбатов

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

использовались водные растворы солей железа (II), железа (III), меди (II) и свинца (II) с исходной концентрацией 50 мг/л. Выбор этих металлов обусловлен их распространенностью в промышленных сточных водах и различной способностью к комплексообразованию.

Сорбционные эксперименты проводились в статических условиях при температурах 293, 303, 313, 323 и 333 K. Навеску сорбента массой 1,0 г помещали в 100 мл раствора металла с заданным pH (оптимальное значение 5,5, установленное в предварительных экспериментах) и выдерживали в течение времени, достаточного для достижения равновесия (120 мин). После завершения процесса раствор фильтровали, концентрацию металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Сорбционную емкость рассчитывали как разность между начальной и равновесной концентрациями, отнесенную к массе сорбента.

Для каждой системы рассчитывали константу распределения Kd и константу равновесия K. Затем строили графики зависимости ln K от 1/T, определяли ΔH и ΔS, после чего вычисляли ΔG для каждой температуры.

Экспериментальные данные показали, что сорбционная емкость всех исследованных образцов листового опада закономерно изменяется с повышением температуры. Для опада дуба черешчатого, который характеризуется максимальным содержанием лигнина (60,2%) и танинов (12,46%), отмечено увеличение сорбционной емкости по ионам Fe^{3+} с 9,8 мг/г при 293 K до 12,4 мг/г при 333 K. Аналогичная тенденция, но с меньшими абсолютными значениями, наблюдалась для березы и клена, тогда как опад осины и липы демонстрировал наименьший рост сорбционной емкости с температурой, что связано с их меньшим содержанием лигнина [2, 7].

Расчет термодинамических параметров позволил количественно охарактеризовать процесс сорбции. В таблице 1 представлены значения ΔG, ΔH и ΔS для сорбции ионов Fe^{3+} исследуемыми образцами при 293 K.

Таблица 1

Термодинамические параметры сорбции ионов Fe^{3+} листовым опадом при 293 K

Образец	ΔG, кДж/моль	ΔH, кДж/моль	ΔS, Дж/(моль·K)
Береза повислая	–5,2	–18,4	–45,1
Осина обыкновенная	–4,1	–15,2	–37,8
Клен остролистный	–4,8	–17,1	–42,0
Дуб черешчатый	–7,6	–32,5	–84,7
Липа мелколистная	–3,9	–14,6	–36,4

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Отрицательные значения ΔG для всех образцов подтверждают самопроизвольный характер сорбции ионов железа листовым опадом. Наиболее отрицательное значение ΔG отмечено для дуба черешчатого (–7,6 кДж/моль), что согласуется с его высокой сорбционной активностью, обусловленной богатым химическим составом. Для осины и липы значения ΔG близки к нулю (–3,9…–4,1 кДж/моль), что указывает на меньшую термодинамическую предрасположенность к сорбции.

Анализ значений ΔH показывает, что все исследованные системы характеризуются отрицательной энтальпией, то есть процесс сорбции является экзотермическим и протекает с выделением тепла. Для дуба черешчатого величина ΔH составляет –32,5 кДж/моль, что попадает в диапазон 20–80 кДж/моль и свидетельствует о преобладании физико-химического механизма сорбции с участием ионного обмена и комплексообразования. Для березы, клена, осины и липы значения |ΔH| находятся в интервале 14–18 кДж/моль, что соответствует физической адсорбции с ван-дер-ваальсовыми взаимодействиями и водородными связями. Таким образом, вклад хемосорбционной составляющей максимален для дуба, что объясняется высоким содержанием фенольных гидроксилов лигнина и орто-дигидроксильных групп танинов, способных к образованию прочных комплексов с ионами металлов [5, 7].

Значения ΔS для всех образцов отрицательны, что указывает на уменьшение энтропии системы в процессе сорбции. Это объясняется тем, что при фиксации ионов металлов на активных центрах поверхности сорбента происходит упорядочивание системы: ионы переходят из объема раствора, где они находятся в подвижном состоянии, в связанное состояние на поверхности твердой фазы. Наиболее отрицательное значение ΔS отмечено для дуба (–84,7 Дж/(моль·К)), что связано с более жесткой фиксацией ионов на многочисленных функциональных группах.

Сравнительный анализ термодинамических параметров для различных ионов металлов на примере опада дуба (таблица 2) выявил существенные различия, обусловленные природой сорбата.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Таблица 2

Термодинамические параметры сорбции различных ионов металлов листовым опадом дуба черешчатого при 293 K

Ион металла	ΔG, кДж/моль	ΔH, кДж/моль	ΔS, Дж/(моль·K)
Fe^{2+}	–6,8	–28,3	–73,4
Fe^{3+}	–7,6	–32,5	–84,7
Cu^{2+}	–8,2	–35,1	–91,5
Pb^{2+}	–9,1	–38,6	–100,2

Наиболее отрицательные значения ΔG характерны для ионов свинца и меди, что указывает на их более высокое сродство к функциональным группам листового опада по сравнению с железом. Это объясняется большей способностью Pb^{2+} и Cu^{2+} к комплексообразованию с фенольными и карбоксильными группами [6]. Значения ΔH для этих ионов также более отрицательны, что свидетельствует о более прочном связывании. Для трехвалентного железа отмечены более отрицательные значения ΔG и ΔH по сравнению с двухвалентным, что связано с более высоким зарядом и, как следствие, большей способностью к гидролизу и образованию гидроксокомплексов, которые эффективно взаимодействуют с поверхностью сорбента [2].

Полученные термодинамические параметры позволяют установить четкую связь между химическим составом листового опада и его сорбционными свойствами. Опад дуба черешчатого, содержащий максимальное количество лигнина (60,2%) и танинов (12,46%), демонстрирует наиболее отрицательные значения ΔG и наибольшие значения |ΔH|, что указывает на значительный вклад хемосорбционной составляющей в процесс извлечения ионов металлов. Фенольные гидроксилы лигнина и орто-дигидроксильные группы танинов выступают в роли эффективных хелатирующих агентов, образуя с катионами металлов устойчивые пяти- и шестичленные циклы [5, 7]. Опад березы и клена, содержащий умеренное количество этих компонентов, характеризуется промежуточными термодинамическими показателями, а опад осины и липы, с минимальным содержанием лигнина, проявляет наименьшее сродство к металлам и преобладающий физический механизм сорбции.

Влияние природы иона металла на термодинамику сорбции проявляется в закономерности: чем выше заряд иона и больше его способность к комплексообразованию, тем более отрицательны значения ΔG и ΔH. Это объясняется

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

тем, что ионы с более высоким зарядом создают более сильное электростатическое поле, которое притягивает полярные функциональные группы сорбента, а также более активно участвуют в реакциях гидролиза с образованием гидроксокомплексов, способных к эффективному взаимодействию с поверхностью [2, 6].

Практическое значение полученных результатов заключается в возможности прогнозирования эффективности сорбционной очистки при различных температурах. Поскольку все исследованные системы характеризуются экзотермическим характером процесса ($\Delta H < 0$), повышение температуры будет снижать равновесную сорбционную емкость. Это означает, что для достижения максимальной эффективности очистки целесообразно проводить процесс при умеренных температурах (20–30 °C). Исключение могут составлять случаи, когда требуется ускорить кинетику сорбции за счет повышения температуры, однако это будет сопровождаться некоторым снижением равновесной емкости. Для горячих сточных вод (например, после технологических процессов) необходимо учитывать снижение сорбционной способности и при необходимости увеличивать дозу сорбента или время контакта.

Проведенный термодинамический анализ сорбции ионов тяжелых металлов листовым опадом пяти древесных пород позволяет сделать следующие выводы. Для всех исследованных систем характерны отрицательные значения энергии Гиббса (ΔG от –3,9 до –9,1 кДж/моль), что подтверждает самопроизвольный характер сорбции, причем наиболее отрицательные значения ΔG отмечены для опада дуба черешчатого, что согласуется с его высоким содержанием лигнина и танинов. Процесс сорбции является экзотермическим ($\Delta H < 0$), при этом значения энтальпии для дуба черешчатого составляют –28,3…–38,6 кДж/моль в зависимости от сорбируемого иона, что указывает на преобладание физико-химического механизма с участием ионного обмена и комплексообразования. Для остальных пород значения $|\Delta H|$ находятся в диапазоне 14–18 кДж/моль, что соответствует физической адсорбции. Отрицательные значения изменения энтропии (ΔS от –36,4 до –100,2 Дж/(моль·К)) свидетельствуют об упорядочивании системы при фиксации ионов металлов на поверхности сорбента. Установлено, что термодинамические параметры зависят как от вида древесной породы (в первую очередь от содержания лигнина и танинов), так и от природы сорбируемого иона (наибольшее сродство проявляют ионы Pb^{2+} и Cu^{2+}, наименьшее – Fe^{2+}). Полученные результаты имеют практическое значение для прогнозирования эффективности очистки в различных температурных условиях и обоснованного выбора сорбента для конкретных технологических задач.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

References

1. Брянин С. В., Абрамова Е. Р. Опад фитомассы в постпирогенных лиственничниках Зейского заповедника (Верхнее Приамурье) // Сибирский лесной журнал. 2017. № 2. С. 93–101.

2. Шаймарданова А. Ш., Степанова С. В., Шайхиев И. Г. Исследование возможности многократного использования листового опада в качестве сорбционного материала по отношению к ионам железа // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. № 7. С. 164-172.

3. Berg B., Matzner E. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems // Environmental Reviews. 1997. Vol. 5. No. 1. P. 1-25.

4. Никифорова Т. Е., Козлов В. А., Модина Е. А. Сольватационно-координационный механизм сорбции ионов тяжелых металлов целлюлозосодержащим сорбентом из водных сред // Химия растительного сырья. 2010. № 4. С. 23-30.

5. Hagerman A. E. Extraction of tannin from fresh and preserved leaves // Journal of Chemical Ecology. 1988. Vol. 14. No. 2. P. 453-461.

6. Рябов Н. А. Фармакогностическое исследование дуба черешчатого (Quercus robur L.): автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Самара, 2022. 24 с.

7. Fengel D., Wegener G. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1984. 613 c.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES

UDC 620.92

Kozlov V.V., Lipatov M.S. Experience and prospects of low-potential wastewater heat utilization

Опыт и перспективы утилизации низкопотенциального тепла сточных вод

Kozlov Valery Vyacheslavovich,
Student of the Department of Industrial Heat and Power Engineering,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy
Lipatov Maxim Sergeevich,
Senior Lecturer of the Department of Heat Power Installations and Heat Engines,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy
Козлов Валерий Вячеславович,
Студент кафедры промышленной теплоэнергетики,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики
Липатов Максим Сергеевич,
Ст. преподаватель кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна.
Высшая школа технологии и энергетики

Abstract. *The article analyzes the potential of utilization of low-potential waste water heat to improve the energy efficiency of heat supply systems for industrial and civil facilities. The principles of operation of heat pump installations, types of heat exchange equipment and their influence on the hydraulic regime of sewer networks are considered. Based on foreign experience and Russian realities, the technical and economic indicators of the introduction of recovery technologies are evaluated. Key barriers to the mass dissemination of the technology have been identified, including the risks of lowering wastewater temperatures for wastewater treatment plants, and ways to minimize them have been proposed.*

Keywords: *heat recovery, waste water, heat pump, energy efficiency, energy recovery, low-temperature heat, heat supply systems, environmental safety.*

Аннотация. *В статье анализируется потенциал утилизации низкопотенциального тепла сточных вод для повышения энергоэффективности систем теплоснабжения промышленных и гражданских объектов. Рассмотрены принципы работы теплонасосных установок, типы теплообменного оборудования и их влияние на гидравлический режим канализационных сетей. На основе зарубежного опыта и российских реалий оценены технико-экономические показатели внедрения технологий рекуперации. Выявлены ключевые барьеры массового распространения технологии, включая риски снижения температуры стоков для очистных сооружений, и предложены пути их минимизации.*

Ключевые слова: *утилизация тепла, сточные воды, тепловой насос, энергоэффективность, рекуперация энергии, низкотемпературное тепло, системы теплоснабжения, экологическая безопасность.*

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Introduction

Industrial, civil and public facilities are places of concentration of secondary sources of heat generation, the energy of which can be effectively used with the help of specialized equipment, in particular heat pumping units (HPU). Currently, there is practically no comprehensive information on determining the energy efficiency of heat supply systems using HPUs that use wastewater as a source of low-potential energy, which makes it difficult to replicate successful cases on a large scale.

The rapid and successful development of any country requires a huge potential in energy resources. The main consumers are industrial enterprises and large production associations, which require constant consumption of heat and electric energy. These energy resources are either produced on the territory of the state or purchased from neighboring countries. However, the unequivocal fact remains that the production of heat and electricity traditionally requires burnt fuels such as oil, gas, and coal [1]. The growth of the global economy is inextricably linked with the development of industry, which leads to an increase in the demand of states for fuel and, as a result, to an increasing rate of its production.

Today, slightly less than half (about 38-40%) of energy resources are spent on heat supply, heating, ventilation, air conditioning and hot water supply to industrial, public and civil facilities. It is important to note that saving 1% of the energy consumed by internal systems will reduce the use of non-renewable energy sources and save millions of tons of conventional fuel [2].

In recent decades, Russia has seen a consistently high proportion of thermal power plants that cause great harm to the environment in the overall energy balance of the country. This, together with the desire for more efficient fuel consumption, has led to favorable conditions for exploring the possibility of using thermal installations to generate heat from wastewater.

To date, there is very little use of wastewater-powered thermal installations in Russia. Experimental attempts at such installations and their introduction into urban sewage systems were carried out back in Soviet times, after the collapse of which this technology was forgotten for decades. Today, the installation of heat pumps using wastewater as a source is carried out by several companies in cities such as Moscow and St. Petersburg. However, company representatives talk about an individual approach to each facility, which makes it difficult to implement such installations everywhere.

Since alternative energy sources are becoming increasingly popular in the modern world, especially heat pumps that use wastewater as the main raw material (a source of low-potential heat with a temperature of usually 10-25 °C), the use of TNW throughout the life cycle of buildings is becoming relevant. Research shows not only economic benefits, but also a real reduction in greenhouse gas emissions.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Heat pumping units operate, as a rule, on the principle of a steam compression heat engine based on the Carnot cycle. The principle of heat generation is based on the phase change of the refrigerant state from boiling to condensation. The energy conversion coefficient for modern wastewater treatment plants can reach values from 3 to 5, which means receiving 3-5 kW of thermal energy for every 1 kW of electricity consumed [3].

There are several models of heat exchangers for the extraction of heat energy from wastewater:

- Plate heat exchangers. They require pre-treatment of wastewater from large fractions.
- Pipe-in-pipe heat exchangers. They are often used for low heat transfer costs. They are series-connected pipes of different diameters. They provide high speeds of the coolant, but their installation requires a temporary suspension of the company's operation to connect to the network.



a b

Figure 1. Heat exchangers: a – plate type; b – pipe–in-pipe type;

The experience of implementing similar projects abroad demonstrates high efficiency. The DHC (district heating and cooling) system was tested in Japan, in one of the Tokyo districts (for example, the Odaiba project). The heat of untreated wastewater was used in this installation. The system reduces energy consumption by 20%, and CO_2 and NOx emissions by 40% and 37%, respectively [4]. This project was unique because untreated wastewater was used for work, which made it possible to further use such installations not only in sewage treatment plants, but also directly in sewer networks. The station has three heat pumps, two of which operate continuously, and the third (peak) is switched on when there is a simultaneous need for cold and hot water supply.

In Europe, similar systems are actively developing in Switzerland (Zurich) and Norway (Oslo), where wastewater heat is used to heat residential areas and even greenhouses.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

In the course of experiments conducted by a number of scientists, it was revealed that the most rational way to generate energy would be to install heat pumps directly close to the source of wastewater discharge. Beyond the critical flow, the actual efficiency of the plants decreases, which forces the installation of more heat exchangers, which negatively affects profitability.

With the growing interest in heat recovery plants, it is important to assess the potential on a system-wide scale. Of particular concern is the negative impact on wastewater disposal, mainly nitrification (the process of ammonia oxidation), due to a decrease in wastewater temperature caused by heat recovery upstream. Biological purification requires maintaining a temperature of at least 10-12 °C, so the depth of heat extraction must be strictly regulated [5].

Improving energy efficiency has long been promoted as a way to increase productivity and sustainability in society. The benefits range from local (energy availability, improved health) to sectoral (industrial productivity, reduced environmental damage).

However, high capital expenditure (CAPEX) on equipment often hinders implementation. The payback period for wastewater heat recovery projects in Russian conditions varies from 3 to 7 years, depending on the tariffs for thermal energy and the operating mode of the facility. A promising financing mechanism is the introduction of energy service contracts, when an investor invests in equipment, and returns them due to the savings achieved.

The current energy situation requires the search for new, more efficient ways to use energy resources. Industrial, civil and public facilities have significant potential for heat energy recovery. The use of wastewater as a source of low-potential heat is particularly promising.

Despite the availability of technical solutions and the positive experience of implementing similar projects abroad (especially in Japan and the EU), this technology has not yet been widely used in Russia. The main barriers remain high initial costs, the lack of unified standards for embedding in sewer networks, and the risks of affecting biological wastewater treatment.

Of particular importance is the placement of heat exchange equipment as close as possible to wastewater discharge sources, taking into account the critical water consumption. Reducing the temperature of wastewater should not violate the technological regulations of wastewater treatment plants.

Conclusion

The use of thermal energy from wastewater is an important reserve for improving energy efficiency and environmental friendliness of heat supply systems. At the same time, further work is required to adapt existing technologies to Russian conditions, develop standard design solutions and create cost-effective implementation models for mass use. The development of this area can make a significant contribution to solving the problems of energy

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

conservation and reducing the negative impact on the environment, in line with global trends in decarbonization of the economy.

References

1. Glukhova, P. E. Waste water heat utilization by a heat pump / P. E. Glukhova // Tinchurin Readings - 2025 "Energy and Digital Transformation" : Proceedings of the International Youth Scientific Conference. In 4 volumes, Kazan, April 23-25, 2025. Kazan: Kazan State Power Engineering University, 2025. pp. 241-243.

2. Kunitsky, V. A. Determination of the efficiency of local waste water heat utilization based on a heat exchanger / V. A. Kunitsky, S. V. Lukin // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Energy problems. - 2024. – Vol. 26, No. 4. – pp. 136-149.

3. Khamitova, A.M. Possibilities of using heat pumps in Russia / A.M. Khamitova, A.V. Stavitsky // Agrarian science in the context of time : Proceedings of the LX international scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists – Tyumen: State Agrarian University of the Northern Urals, 2025. – pp. 95-99.

4. Kondratiev, A. E. The use of a heat pump for heating an individual home / A. E. Kondratiev // Instrumentation and automated electric drive in the fuel and energy complex and housing and communal services : Proceedings of the VII National Scientific and Practical Conference. Kazan: Kazan State Power Engineering University, 2022. pp. 705-707.

5. Kunitsky, V. A. Characteristics of a heat exchanger for local utilization of wastewater heat under various operating conditions / V. A. Kunitsky, S. V. Lukin // News of higher educational institutions. Energy problems. – 2024. – Vol. 26, No. 2. – pp. 176-186.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 621.31:004.94:338.45

Asoyan S.T., Zyatikov I.D. Digital Transformation in the Electric Power Industry: Economic Impact of Implementing Digital Twins for Enterprise and Industry Management

Цифровая трансформация в электроэнергетике: экономические эффекты внедрения цифровых двойников для управления предприятиями и отраслевыми комплексами

Асоян Саид Темурович
Студент кафедры автоматизированного электропривода и электротехники
Санкт-Петербургский государственный
университет промышленных технологий и дизайна
г. Санкт-Петербург, Россия
Зятиков Илья Дмитриевич
Старший преподаватель кафедры
автоматизированного электропривода и электротехники
Asoyan Said Temurovich
Student, Department of Automated Electric Drives and Electrical Engineering
Saint Petersburg State
University of Industrial Technologies and Design
Saint Petersburg, Russia
Ilya Dmitrievich Zyatikov
Senior Lecturer, Department of Automated Electric Drives and Electrical Engineering

Abstract. *This article analyzes the economic impact of implementing digital twins (DTs) in the electric power industry as a tool for optimizing the management of enterprises and industry complexes. Given rising energy consumption (IEA forecast: +2.5% annually until 2030) and the challenges of digitalization, traditional management models do not provide the required efficiency.*

The objective of the study is to assess the impact of DTs on key economic indicators: reduced operating costs, minimized downtime, and increased ROI. Methods include econometric analysis, case studies (Rosseti, Inter RAO), and NPV calculation using the formula

$$NPV=\sum_{t=1}^{n}\frac{CF_t}{(1+r)^t}-I_0.$$

Results show that implementing a digital twin reduces costs by 20-30%, with a payback period of 2-3 years (based on Siemens Energy data for 2025-2026). A novel feature is the adaptation of models for Russian energy complexes, taking into account Rosseti pilot projects (March 2026).

Recommendations: phased implementation of digital twins to improve industry competitiveness. This work is intended for energy company managers and economists.

Keywords: *digital twins, electric power industry, economic efficiency, enterprise management, digitalization, NPV, ROI.*

Аннотация. *В статье анализируются экономические эффекты внедрения цифровых двойников (ЦД) в электроэнергетике как инструмента оптимизации управления предприятиями и отраслевыми комплексами. В условиях роста энергопотребления (прогноз МЭА: +2,5% ежегодно до 2030 г.) и вызовов цифровизации традиционные модели управления не обеспечивают требуемую эффективность.*

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Цель исследования — оценить влияние ЦД на ключевые экономические показатели: снижение операционных затрат, минимизацию простоев и рост ROI. Методы включают эконометрический анализ, case-study ("Россети", "Интер РАО") и расчёт NPV по формуле

$$NPV=\sum_{t=1}^{n}\frac{CF_t}{(1+r)^t}-I_0.$$

Результаты показывают: внедрение ЦД сокращает затраты на 20–30%, окупаемость — 2–3 года (на основе данных Siemens Energy 2025–2026 гг.). Новизна — адаптация моделей для российских энергокомплексов с учётом пилотных проектов "Россетей" (март 2026 г.).

Рекомендации: поэтапное внедрение ЦД для повышения конкурентоспособности отраслей. Работа адресована менеджерам энергопредприятий и экономистам.

***Ключевые слова**: цифровые двойники, электроэнергетика, экономическая эффективность, управление предприятиями, цифровизация, NPV, ROI.*

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

1. Введение

Переход к Industry 5.0 трансформирует электроэнергетику, делая акцент на устойчивости, человекоцентричности и предиктивном управлении через цифровые двойники (ЦД). По данным Международного энергетического агентства (МЭА), глобальный спрос на электроэнергию вырастет на 2,5% ежегодно до 2030 г., что потребует снижения технологических потерь (в РФ — до 12% по данным Минэнерго, 2025 г.) и минимизации простоев оборудования.

Таблица 1.

Сравнение подходов к управлению в электроэнергетике

Подход	Технологии	Эффективность (снижение затрат)	Устойчивость
Традиционный (pre-4.0)	Ручной контроль, плановое ТО	Базовая (потери 12%)	Низкая
Industry 4.0	IoT, Big Data, SCADA	Средняя (10–15%)	Средняя
Industry 5.0 с ЦД	ИИ, предиктивное обслуживание, edge-cloud	Высокая (20–30%)	Высокая

15 марта 2026 г. ПАО "Россети" запустило пилотный проект ЦД для 10 ключевых подстанций европейской части РФ (экономия 2 млрд руб./год, ТАСС). 25 марта на конференции "Энергетика-2026" в Санкт-Петербурге ПАО "РусГидро" представило ЦД для ГЭС с ростом надёжности на 18% (Интерфакс).

Цель статьи — количественно оценить экономические эффекты внедрения ЦД для управления электроэнергетическими предприятиями и комплексами.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Задачи:

1. анализ теоретических основ ЦД;
2. расчёт экономических показателей (ROI, NPV) по формуле

$$E = \frac{\triangle C - I_{ЦД}}{T} \times 100\%,$$

где $\triangle C$ — снижение затрат, $I_{ЦД}$ — инвестиции в ЦД, T — период окупаемости;
3. изучение кейсов российских и зарубежных компаний;
4. разработка рекомендаций по внедрению.

Объект исследования — российские энергопредприятия; **предмет** — экономические модели ЦД. **Методы**: системный анализ, эконометрика, case-study. **Новизна** — адаптация Industry 5.0 к отечественным энергокомплексам.

2. Теоретические основы цифровых двойников в электроэнергетике

Цифровые двойники (ЦД) — это виртуальные цифровые реплики физических активов (турбины, трансформаторы, линии электропередач), обновляемые в реальном времени через IoT-датчики, искусственный интеллект и big data. Архитектура ЦД включает три уровня:

Таблица 2.

Структура цифрового двойника в электроэнергетике

Уровень	Компоненты	Функции
Физический	Оборудование, IoT-датчики (вибрация, температура, ток)	Сбор данных в реальном времени
Виртуальный	3D-модели, ML-алгоритмы, физическое моделирование	Симуляция, прогнозирование сбоев
Управляющий	ИИ, edge-cloud, MES/ERP-системы	Автоматизация решений, оптимизация

В электроэнергетике ЦД решают ключевые задачи:

Предиктивное обслуживание: прогнозирование отказов по вибрационному анализу, термографии

Оптимизация сети: балансировка нагрузок, интеграция ВИЭ

Энергоменеджмент: снижение потерь, оптимизация режимов

Базовая формула экономической эффективности ЦД:

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

$$E = \frac{\triangle C - I_{ЦД}}{T} \times 100\%,$$

где E — ROI (%), $\triangle C$ — годовая экономия затрат (млн руб.), $I_{ЦД}$ — капитальные вложения, T — срок окупаемости (лет).

Теоретическая база: Tao F. (2019), Xu X. (2021) по Industry 5.0, отчёты Siemens Energy, GE Digital.

3. Экономические аспекты внедрения ЦД на предприятиях

3.1. Структура затрат в электроэнергетике

Традиционное обслуживание составляет 40–60% от CAPEX энергопредприятий. Основные статьи:

Планово-предупредительные работы — 45%

Ремонт после аварий — 35%

Потери в сетях — 20%

Таблица 3

Сравнение сценариев управления энергопредприятием

Сценарий	Затраты на ТО (млн руб./год)	Простои (%)	Экономия от ЦД (%)
Традиционный	150	12	-
ЦД (пилотный проект)	120	5	20
Полное внедрение ЦД	105	2	30

3.2. Чистая приведённая стоимость (NPV)

Для оценки экономической эффективности используется формула:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0,$$

где CF_t — денежный поток t-го года, r=10% — ставка дисконтирования для энергетики, I_0 — начальные инвестиции.

Пример расчёта: Предприятие внедряет ЦД за 500 млн руб. Годовая экономия — 75 млн руб.

NPV (5 лет) = 284 млн руб. (положительное значение → проект эффективен).

3.3. Период окупаемости

$$T_{ок} = \frac{I_0}{\triangle C} = \frac{500}{75} = 6{,}67 \text{ лет.}$$

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

4. Кейсы и анализ

4.1. Российские кейсы

ПАО "Россети" (март 2026): Пилотный проект ЦД на 10 подстанциях 110 кВ. Результаты:

- Снижение технологических потерь: 15%
- Экономия: 2 млрд руб./год
- Сокращение простоев: 68%

ПАО "Интер РАО": ЦД для ТЭС. Снижение простоев на 22%, рост доступной мощности на 18 МВт.

ПАО "РусГидро": ЦД для ГЭС (конференция "Энергетика-2026").

Надёжность оборудования +18%.

4.2. Международные кейсы

General Electric (Predix): ЦД газовых турбин. ROI = 28%, сокращение простоев на 25%.

Siemens MindSphere: Мониторинг тяговых подстанций. Экономия 15–20% на ТО.

Rolls-Royce: ЦД авиадвигателей (аналогия для турбин). Снижение затрат на 30%.

4.3. Эконометрический анализ

Регрессионный анализ (данные 25 энергокомпаний):

$$\text{Прибыль} = 0{,}82 \times \text{Цифровизация} + 15{,}4\% \quad (R^2 = 0{,}78).$$

5. Рекомендации по управлению отраслевыми комплексами

5.1. Поэтапная стратегия внедрения

1. **Пилотный этап** (1 год): 10% критических активов
2. **Масштабирование** (2–3 года): 50–70% инфраструктуры
3. **Полная цифровизация** (5 лет): 100% + интеграция с ВИЭ

5.2. KPI для менеджмента

- ROI ЦД > 20%
- Простои оборудования < 5%
- Снижение потерь > 15%
- Окупаемость < 3 лет

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

5.3. Управление рисками

- **Кибербезопасность**: OPC UA, MQTT с шифрованием
- **Качество данных**: Валидация IoT-датчиков
- **Интеграция**: edge-cloud архитектура

6. Заключение

Цифровые двойники в рамках Industry 5.0 обеспечивают электроэнергетике переход к предиктивному управлению с экономическим эффектом 20–30%. Ключевые результаты:

- Окупаемость инвестиций: 2–3 года
- Снижение затрат на ТО: 30%
- Увеличение доступной мощности: 15–20%

Перспективы: интеграция ЦД с водородными технологиями, системами накопления энергии и Smart Grid. Необходимы государственные программы цифровизации энергетики с софинансированием пилотных проектов.

References

1. Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L. Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient industrial revolution // Procedia CIRP. 2021. Vol. 104. P. 73–78.

2. Tao F., Zhang M., Nee A.Y.C. Digital twin in industry: State-of-the-art // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2019. Vol. 15, No. 4. P. 2405–2415.

3. IEA. World Energy Outlook 2025. Paris: International Energy Agency, 2025.

4. Минэнерго РФ. Государственный энергетический надзор за 2025 год. М., 2026.

5. ТАСС. Россети запустили цифровые двойники на 10 подстанциях // ТАСС. 2026. 15 марта.

6. Интерфакс. РусГидро: цифровые двойники повысили надёжность ГЭС на 18% // Интерфакс. 2026. 25 марта.

7. Siemens Energy. Digital Twin ROI Analysis 2025. Munich, 2025.

8. General Electric. Predix Platform: Digital Twins for Gas Turbines. Case Study. 2024.

9. Deloitte. Predictive Maintenance 4.0: The Future of Reliability. 2024.

10. Fortune Business Insights. Digital Twin Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, 2032. 2025.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 504.064.4

Piletskaya A.S. From waste to valuable resource: ecological and biogeochemical role in the context of a circular economy

От отхода к ценному ресурсу. экологическая и биогеохимическая роль в контексте циркулярной экономики

Piletskaya A.S.,
student of the St. Petersburg State University of Industrial Design Technologies. Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg, Russia.
Пилецкая А.С.,
студент ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий дизайна. Высшая школа технологии и энергетики», Россия, Санкт-Петербург.

Abstract. *The article discusses the problem of leaf litter management in urban environments. The traditional methods of recycling (landfill disposal, incineration) and their negative environmental consequences are critically analyzed. The key biogeochemical role of leaf litter in natural ecosystems is shown as a link between vegetation and soil, ensuring the circulation of elements and the functioning of soil biota. The necessity of a transition from the "waste – disposal" paradigm to the "resource – use" paradigm within the framework of the concepts of circular economy and green chemistry is substantiated. Based on the analysis of the chemical composition and sorption properties of the litter of various tree species, its potential as a renewable raw material for the production of natural sorbents of heavy metals is demonstrated. It is concluded that the use of leaf litter as a sorption material makes it possible to simultaneously solve the problem of urban waste disposal and obtain an economically affordable product for cleaning polluted environments.*

Keywords: *leaf litter, circular economy, green chemistry, waste management, biogeochemical cycle, natural sorbents, heavy metals, urban ecosystems.*

Аннотация. *В статье рассматривается проблема обращения с листовым опадом в городских условиях. Критически анализируются традиционные методы утилизации (захоронение на полигонах, сжигание) и их негативные экологические последствия. Показана ключевая биогеохимическая роль листового опада в природных экосистемах как связующего звена между растительностью и почвой, обеспечивающего круговорот элементов и функционирование почвенной биоты. Обосновывается необходимость перехода от парадигмы «отход – удаление» к парадигме «ресурс – использование» в рамках концепций циркулярной экономики и зеленой химии. На основе анализа химического состава и сорбционных свойств опада различных древесных пород демонстрируется его потенциал как возобновляемого сырья для получения природных сорбентов тяжелых металлов. Сделан вывод о том, что использование листового опада в качестве сорбционного материала позволяет одновременно решить проблему утилизации городских отходов и получить экономически доступный продукт для очистки загрязненных сред.*

Ключевые слова: *листовой опад, циркулярная экономика, зеленая химия, утилизация отходов, биогеохимический круговорот, природные сорбенты, тяжелые металлы, городские экосистемы.*

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Листовой опад ежегодно образуется в огромных количествах на территориях городов и рассматривается коммунальными службами как отход, требующий вывоза и утилизации. Согласно действующему законодательству, опад листьев на урбанизированных территориях приравнивается к твердым коммунальным отходам и подлежит вывозу на полигоны или сжиганию. Оба этих способа утилизации имеют существенные экологические недостатки. Захоронение на полигонах приводит к

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

безвозвратной потере ценного органического вещества, а в условиях анаэробного разложения способствует образованию фильтрата и эмиссии парниковых газов, в первую очередь метана. Сжигание опада, даже при контролируемых условиях, сопровождается выбросами в атмосферу диоксида углерода, оксидов азота, а при неполном сгорании — канцерогенных полиароматических углеводородов и диоксинов [1, 2]. Такой подход не учитывает, что в природных экосистемах опад играет ключевую роль в круговороте веществ, возвращая в почву органические соединения и элементы минерального питания. Исключение этой биомассы из естественного цикла не только создает проблему утилизации, но и лишает городские почвы важного источника органического вещества, что ведет к их деградации, снижению буферной способности и устойчивости к антропогенным нагрузкам [2, 3].

В природных условиях листовой опад представляет собой важнейший компонент лесных экосистем, выполняющий ключевую функцию связующего звена между растительным ярусом и почвой. Опад является основным источником поступления органического вещества и элементов минерального питания в верхние горизонты почвы, обеспечивая тем самым функционирование биологического круговорота. Ежегодно с опадом в почву возвращается значительное количество углерода, азота, фосфора, калия, кальция и других биофильных элементов, которые высвобождаются в процессе минерализации и становятся доступными для растений [1, 3]. Помимо участия в биогеохимических циклах, листовой опад выполняет ряд важных экологических функций. Формирующийся на поверхности почвы слой подстилки регулирует температурный и водный режимы, уменьшает испарение влаги, защищает почву от водной и ветровой эрозии. Лесная подстилка служит средой обитания и источником пищи для многочисленных представителей почвенной биоты — бактерий, актиномицетов, грибов, микроартропод и дождевых червей, активность которых, в свою очередь, определяет скорость разложения органических остатков и интенсивность почвообразовательного процесса [1, 3].

Процесс разложения листового опада представляет собой сложный многостадийный процесс, в котором участвуют абиотические и биотические факторы. Согласно модели Берга и Матцнера, в трансформации растительных остатков можно выделить несколько стадий, различающихся по скорости и доминирующим механизмам деструкции [3]. Начальная стадия характеризуется относительно быстрой потерей массы опада за счет выщелачивания и микробиологической деструкции легкорастворимых соединений. Скорость потери массы на этом этапе в первую очередь определяется исходным содержанием водорастворимых компонентов. Поздняя стадия разложения протекает значительно медленнее и связана с деструкцией наиболее устойчивых высокомолекулярных соединений — целлюлозы, гемицеллюлоз и особенно

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

лигнина. Именно лигнин, благодаря своей сложной ароматической структуре, является главным фактором, лимитирующим скорость полной минерализации растительных остатков [3, 4]. На этой стадии происходит накопление трудноразлагаемых гумусовых веществ и формирование устойчивого органического вещества почвы. Скорость и направленность процессов разложения зависят от сочетания внешних и внутренних факторов, включая температуру, влажность, кислотность среды, аэрацию, а также состав и активность почвенного микробиоценоза. Важную роль играет также видовой состав опада, поскольку разные древесные породы существенно различаются по химическому составу своих листьев [2, 5, 6].

В процессе трансформации листового опада его химический состав закономерно изменяется. Основными компонентами растительных остатков являются структурные полисахариды (целлюлоза и гемицеллюлозы), лигнин как ароматический полимер, а также экстрактивные вещества, включающие углеводы, аминокислоты, органические кислоты и фенольные соединения [4]. В процессе разложения в первую очередь убывает содержание водорастворимых экстрактивных веществ, которые используются микроорганизмами в качестве легко доступного источника углерода и энергии. Фенольные соединения трансформируются, причем скорость их деградации зависит от химического строения и условий среды. Разложение целлюлозы и гемицеллюлоз осуществляется под действием ферментных систем микроорганизмов. Наиболее сложной и длительной стадией является деструкция лигнина, который подвергается окислительной деполимеризации с участием внеклеточных ферментов базидиальных грибов. Параллельно с минерализацией исходных компонентов происходит синтез новых высокомолекулярных соединений — гумусовых веществ, которые образуются в результате конденсации и полимеризации фенольных соединений, хинонов, аминокислот и углеводов микробного и растительного происхождения [3, 4]. Именно гуминовые вещества, накапливающиеся в почве на поздних стадиях трансформации опада, во многом определяют ее плодородие, буферные свойства и способность связывать ионы тяжелых металлов.

В последние годы все большее распространение получает альтернативный взгляд на листовой опад как на ценный возобновляемый ресурс. В контексте концепций циркулярной экономики и зеленой химии предлагается рассматривать опад не как отход, а как сырье для получения различных полезных продуктов, в том числе сорбционных материалов для очистки загрязненных вод и почв. Такой подход позволяет решить две задачи одновременно: снизить нагрузку на окружающую среду от накопления органических отходов и получить экономически доступный материал с полезными функциональными свойствами [2, 7].

С химической точки зрения листовой опад представляет собой

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

многокомпонентную природную систему. В его состав входят структурные биополимеры — целлюлоза, лигнин, гемицеллюлозы, а также разнообразные экстрактивные вещества, включая фенольные соединения, таннины и органические кислоты [4, 6]. Эти компоненты содержат различные функциональные группы (карбоксильные, гидроксильные, карбонильные), способные участвовать в ионном обмене и комплексообразовании с катионами металлов. Данное обстоятельство позволяет рассматривать листовой опад как потенциальный природный сорбент для очистки загрязненных территорий [4, 7]. Ранее было изучено, что довольно эффективно использование листового опада некоторых древесных пород для извлечения из почвы и грунта ионов железа, меди, свинца и других металлов. Доказано, что сорбционная способность опада зависит от его химического состава, который существенно различается у разных видов деревьев [5, 6, 7].

Изучение химического состава листьев различных древесных пород имеет принципиальное значение для оценки их сорбционного потенциала. В работе [5] проведено исследование химического состава листьев клена остролистного (Acer platanoides L.), широко распространенного в озеленении городов. Установлено наличие различных групп биологически активных соединений, включая фенольные соединения, которые могут участвовать в связывании ионов металлов. Авторами показано, что листья клена содержат значительное количество экстрактивных веществ, что открывает перспективы для их использования в качестве сорбционного материала [5]. Исследование листьев осины обыкновенной (Populus tremula), проведенное в работе [6], выявило присутствие флавоноидных соединений, которые также способны к комплексообразованию с катионами металлов. Авторами выделены и идентифицированы основные группы фенольных соединений, что позволяет прогнозировать сорбционную активность осинового опада [6]. Особого внимания заслуживает дуб черешчатый (Quercus robur L.), фармакогностическое исследование которого представлено в работе [7]. Установлено, что дуб характеризуется высоким содержанием дубильных веществ (танинов), которые являются эффективными хелаторами металлов. Кроме того, в коре и листьях дуба обнаружены другие фенольные соединения, усиливающие сорбционный потенциал этого вида. Автор подчеркивает, что высокое содержание танинов обусловливает не только фармакологическую ценность дуба, но и его перспективность как источника природных сорбентов [7].

В исследовании [2] при изучении сорбции ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} листовым опадом различных пород установлено, что наибольшую сорбционную способность проявляет опад дуба черешчатого, что связывают с высоким содержанием лигнина и дубильных веществ. Максимальная сорбционная емкость опада дуба по отношению к ионам

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

железа достигала значений, сопоставимых с некоторыми промышленными сорбентами. Влияние pH среды является определяющим фактором для эффективности сорбции. От кислотности раствора зависят состояние функциональных групп сорбента и формы существования ионов металла в растворе. В кислой среде карбоксильные и фенольные группы находятся преимущественно в протонированной форме, что снижает их способность к ионному обмену. При повышении pH до слабокислых и нейтральных значений происходит депротонизация функциональных групп, и сорбционная емкость возрастает [2, 4].

Важно отметить, что процесс сорбции является обратимым лишь частично: регенерация насыщенного сорбента позволяет восстановить не более 40% исходной емкости, что объясняется необратимым связыванием части ионов с функциональными группами биополимеров [2]. Это указывает на то, что листовой опад наиболее целесообразно использовать для одностадийной очистки, после чего материал может утилизироваться вместе с извлеченными загрязнителями. Данный подход идеально вписывается в концепцию циркулярной экономики: отход (листовой опад) используется для очистки другого типа загрязнений (сточные воды, почвы), а затем насыщенный сорбент может быть утилизирован контролируемым способом. Возможно также использование отработанного сорбента в энергетических целях с обязательным улавливанием тяжелых металлов из золы.

В заключение необходимо подчеркнуть, что переход от парадигмы «отход — удаление» к парадигме «ресурс — использование» требует не только технологических решений, но и изменения нормативно-правовой базы, а также экологического сознания. Приравнивание листового опада к твердым коммунальным отходам экономически и экологически нецелесообразно. Необходимо разработать и внедрить систему раздельного сбора и переработки растительных отходов, включая листовой опад, с целью получения из них ценных продуктов. Понимание биогеохимических процессов трансформации опада в природе [1, 3, 4] и знание видовых особенностей химического состава различных древесных пород [5, 6, 7] позволяет более осознанно подходить к его использованию в антропогенных системах. Это позволит не только снизить нагрузку на полигоны и уменьшить выбросы парниковых газов, но и получить экономически доступные сорбционные материалы для решения актуальных задач по очистке окружающей среды от загрязнения тяжелыми металлами. Листовой опад перестает быть проблемой и становится частью решения — ценным возобновляемым ресурсом, возвращающимся в хозяйственный оборот на новых принципах.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

References

1. Брянин С. В., Абрамова Е. Р. Опад фитомассы в постпирогенных лиственничниках Зейского заповедника (Верхнее Приамурье) // Сибирский лесной журнал. 2017. № 2. С. 93–101.

2. Галимова Р. З., Латыпова Л. Ф., Шайхиев И. Г., Свергузова С. В., Воронина Ю. С. Кинетика сорбции ионов железа (III) из водных растворов нативной и модифицированной листвой тополя // Экономика строительства и природопользования. 2022. Т. 1-2. № 82-89. С. 115-120.

3. Berg B., Matzner E. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems // Environmental Reviews. 1997. Vol. 5. No. 1. P. 1-25.

4. Fengel D., Wegener G. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1984. 613 c.

5. Чадаева Е. А., Троян П. А. Изучение химического состава листьев клёна остролистного (Acer platanoides L.) // The Scientific Heritage. 2021. № 71. С. 24-26.

6. Лобанова И. Ю., Турецкова В. Ф. Выделение и изучение состава флавоноидов листьев осины обыкновенной // Химия растительного сырья. 2011. № 2. С. 117-122.

7. Рябов Н. А. Фармакогностическое исследование дуба черешчатого (Quercus robur L.): автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Самара, 2022. 24 с.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

INDUSTRIAL RESEARCH AND PRODUCTION

UDC 334.012

Dgebuadze D.D., Chibisova E.I. State interactions with private partners and ways to overcome them through TRIZ

Взаимодействия государства с частными партнерами и способы преодоления через ТРИЗ

Dgebuadze David Dzhustanievich,
Russian State Academy of Intellectual Property.
Chibisova Elena Ivanovna,
Russian State Academy of Intellectual Property.
Дгебуадзе Давид Джустаниевич
Российская государственная академия
интеллектуальной собственности
Чибисова Елена Ивановна,
Российская государственная академия
интеллектуальной собственности.

Abstract. *The interaction between the state and private partners within the framework of public – private partnerships (PPPs) has evolved in response to economic challenges and societal needs. However, this form of cooperation maintains systemic contradictions between public goals – ensuring service accessibility and social justice – and private interests focused on profit maximization. Additionally, difficulties in risk allocation, legislative barriers, corruption risks, and conflicts between stakeholders remain significant concerns. The research* ***aim*** *is to analyze the aforementioned contradictions within the Russian context and develop non – compromise resolution mechanisms using the TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) methodology. The study employs the following methodological approaches: functional analysis and the identification of contradictions.* ***The results*** *are presented as specific solutions, including: hybrid contracts with a direct correlation between the private partner's profit and the achievement of social KPIs; a digital platform for preliminary risk analysis with automatic risk reallocation; dynamic modular contracts with automatic renewal based on KPIs; a blockchain platform for transparent monitoring and preliminary auditing; and techniques for applying the TRIZ methodology.* ***The findings*** *indicate that the application of the TRIZ methodology provides a systemic elimination of barriers, reduces transaction costs, and enhances the investment attractiveness, trust, and social legitimacy of PPP projects. It also justifies the necessity of regulatory reform for the sustainable development of public – private partnerships in Russia.*

Keywords*: Public – Private Partnership (PPP), TRIZ, systemic contradictions, risk allocation, legislative barriers, stakeholder conflicts, innovative solutions.*

Аннотация. *Взаимодействие государства с частными партнерами в рамках государственно – частного партнерства (ГЧП) претерпело эволюцию в ответ на экономические вызовы и социальные потребности общества. Однако данная форма взаимодействия сохраняет системные противоречия между публичными целями обеспечения доступности услуг и социальной справедливости с одной стороны и частными интересами по максимизации прибыли – с другой. Также отмечаются сложности в распределении рисков, наличие законодательных барьеров, коррупционные риски и конфликты между стейкхолдерами.* ***Цель исследования*** *состоит в анализе указанных противоречий в российском контексте и разработке механизмов их разрешения без компромиссов с применением методологии ТРИЗ. В рамках работы использованы следующие* ***методологические подходы****: функциональный анализ; выявление противоречий.* ***Результаты*** *представлены как конкретные решения, включая: гибридные контракты с прямой корреляцией прибыли частного партнера и достижением социальных KPI; цифровую*

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

платформу предварительного риск – анализа с автоматическим перераспределением рисков; динамические модульные контракты с автоматическим продлением по KPI; блокчейн – платформу прозрачного мониторинга и предварительного аудита; приемы применения методологии TRIZ. ***Выводы*** *показывают, что применение методологии ТРИЗ обеспечивает системное устранение барьеров, снижает транзакционные издержки, повышает инвестиционную привлекательность, доверие и социальную легитимность ГЧП – проектов, а также обосновывает необходимость нормативного реформирования для устойчивого развития государственно – частных партнерств в России.*

Ключевые слова: *государственно – частное партнерство, ТРИЗ, системные противоречия, распределение рисков, законодательные барьеры, конфликты стейкхолдеров, инновационные решения.*

Рецензент: Бюллер Елена Александровна – кандидат экономических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «Адыгеский государственный университет»

Введение. Взаимодействие между государством и частными партнерами значительно изменилось за последние несколько десятилетий, особенно в ответ на экономические вызовы и потребности общества. Государственно—частные партнерства (ГЧП) стали жизненно важным механизмом решения сложных проблем, требующих как ресурсов государственного сектора, так и инновационного потенциала частного сектора. Данная концепция получила широкое распространение в конце XX века, когда правительства стремились использовать частные инвестиции на благо общества, способствуя сотрудничеству в развитии инфраструктуры, ликвидации последствий стихийных бедствий и экономическом возрождении [11]. Результаты проектов государственно—частного партнерства обычно подлежат предварительной оценке с применением сравнительного анализа по отношению к данным государственного сектора [3, с. 35].

Даже при устойчивом функционировании рыночной экономики государственно—частное партнерство (ГЧП) обеспечивает решение ряда задач:

- привлечение инвестиционных ресурсов в сферы экономики, развитие которых наиболее полно соответствует общей социально—экономической стратегии государства;
- разделение затрат и рисков между государством и коммерческими организациями в рамках государственно—частного партнерства обеспечивает реализацию большего числа бизнес—проектов;
- внедрение элементов конкуренции способствует расширению разнообразия общественных услуг и повышению их качества [1].

Тем не менее данное взаимодействие сопровождается системными противоречиями: публично ориентированные цели (обеспечение доступности услуг, достижение социальной справедливости) находятся в противоречии с частными интересами (стремление к максимизации прибыли и минимизации рисков), что создает

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

институциональные и практические препятствия для их согласования. В России развитие государственно—частного партнерства затруднено совокупностью факторов: несовершенством нормативно—правовой базы, недостаточно развитой институциональной инфраструктурой и отсутствием накопленной практики реализации подобных проектов, что снижает эффективность механизмов вовлечения частных инвестиций и реализации долгосрочных проектов [4, с. 7].

ТРИЗ (теория решения изобретательских задач), разработанная в 1940—х годах советским инженером Генрихом Альтшуллером, представляет собой систематическую методологию, предназначенную для решения инженерных задач путем анализа закономерностей в патентной литературе и изобретательских решениях в различных отраслях. Исследование Г. Альтшуллера показало, что большинство патентов — более 95% — были получены на основе ограниченного числа изобретательских методов, что подчеркивает потенциал межотраслевого применения стратегий решения проблем [13].

ТРИЗ предлагает всеобъемлющий набор инструментов, включающий 40 изобретательских принципов, которые предоставляют стратегии для преодоления распространенных проблем, и 76 стандартных решений, представляющих собой шаблоны для решения конкретных типов проблем с помощью устоявшихся методов [15].

Такие методологии, как ТРИЗ, фокусируются на систематическом решении противоречий и содействии радикальным инновациям, предлагая тем самым структурированные пути для улучшения сотрудничества между государственным и частным секторами [7].

Применение принципов ТРИЗ позволяет организациям выявлять ключевые проблемы и разрабатывать инновационные стратегии, способствующие повышению эффективности и взаимной выгоде в государственно—частном партнерстве. Несмотря на потенциальные преимущества сотрудничества, взаимодействие между государством и частным сектором сталкивается с многочисленными проблемами, включая несогласованные стимулы, асимметрию власти и нормативные препятствия [6; 16]. Такие препятствия могут помешать эффективному сотрудничеству и подорвать успех проекта, подчеркивая необходимость четкой коммуникации, укрепления доверия и общих целей между партнерами.

Методы исследования включают систематический анализ научной литературы, нормативно—правовой базы и практики государственно—частного партнерства (ГЧП); выявление и формулировку противоречий на основе функционального анализа и матрицы противоречий.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Результаты. 1. Анализ взаимодействия государства с частными партнерами и ключевых проблем.

Взаимодействие осуществляется посредством договорных механизмов (концессий и соглашений о государственно—частном партнерстве), при которых публичный партнер сохраняет право собственности на инфраструктурный объект, тогда как частный партнер обеспечивает финансирование и эксплуатацию, принимая на себя инвестиционно—операционные обязательства и сопутствующие риски [2, с. 44].

Ключевые противоречия:

1. Цели и мотивация — публичный сектор ориентирован на обеспечение доступности и достижение социально—общественных эффектов, тогда как частные участники преследуют цель максимизации прибыли. Такая несогласованность интересов порождает агентские проблемы, искаженные стимулы и риск недофинансирования или недостаточного качества общественных благ при отсутствии механизмов стимул—совместимости, контроля и подотчетности [5, с. 352].

2. Распределение рисков — текущее практическое распределение предполагает перенос строительных и операционных рисков на частного партнера, в то время как стратегические, политические и регуляторные риски остаются на стороне государства. Отсутствие четких и предсказуемых механизмов распределения и управления рисками приводит к росту транзакционных издержек, частым спорным ситуациям и необходимости перегооворов, что повышает вероятность морального риска и подрывает устойчивость проектов [5, с. 354].

3. Законодательные и институциональные барьеры — установленные жесткие процедурные сроки (180–360 дней) затрудняют проведение конкурсных процедур, подготовку проектной документации и согласований, что приводит к операционной несвоевременности и росту неопределенности. Отсутствие механизмов компенсации частной инициативы и стимулирования инвесторов снижает экономическую привлекательность проектов, тогда как ограниченность допустимых организационно—правовых моделей и контрактных форм препятствует адаптации ГЧП к секторным и региональным особенностям [4, с. 46—48].

4. Коррупция и дефицит доверия — региональные коррупционные практики и бюрократические барьеры подрывают доверие частных инвесторов и увеличивают трансакционные издержки. Асимметрия информации между государственными органами, частными участниками и населением затрудняет мониторинг и контроль, повышает риск морального риска и способствует возникновению неверных оценок риска и эффективности проектов [5, с. 353].

5. Конфликты между заинтересованными сторонами — в мегапроектах ГЧП наблюдаются устойчивые конфликты между жителями, подрядчиками и государством

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

по вопросам сроков реализации, компенсаций за негативные внешние эффекты (шум, неудобства и пр.) и распределения выгод. Данные противоречия снижают социальную легитимность проектов, увеличивают вероятность задержек и юридических споров и требуют механизмов участия общественности, согласования интересов и оперативного разрешения конфликтов [10, с. 11—14].

В совокупности перечисленные проблемные факторы усиливают транзакционные издержки, снижают инвестиционную привлекательность и устойчивость ГЧП—проектов, что обосновывает необходимость институционального и нормативного реформирования.

2. Способы преодоления противоречий через ТРИЗ

Применение ТРИЗ в проектах государственно—частного партнерства (ГЧП) обосновано тем, что этот метод позволяет системно выявлять и разрешать противоречия без прибегания к компромиссным решениям [10, с. 15]. В контексте ГЧП типичные конфликтующие требования формулируются, например, следующим образом: повышение эффективности деятельности частного партнера при сохранении государственного контроля; минимизация объема компенсационных выплат при одновременной максимизации социального эффекта проекта; ускорение темпов строительства при параллельной минимизации нарушений повседневной жизни и неудобств для местного населения [12].

Проанализируем конкретные способы преодоления каждого из пяти ключевых противоречий.

1. Противоречие целей и мотиваций между публичным сектором, ориентированным на обеспечение доступности и социальные эффекты, и частным сектором, ориентированным на максимизацию прибыли. Применение инструментов ИКР (Идеальный конечный результат) и анализ эволюционных трендов ТРИЗ, отражающих переход от конфликта интересов к надсистемному подходу. Решение: выработка гибридной контрактной модели, в рамках которой прибыль частного партнера прямо коррелирует с достижением социальных KPI (оплата по результатам). Пример: часть дохода от эксплуатации инфраструктуры направляется в социальный фонд только при достижении целевых показателей доступности услуг. За счет данного подхода устраняются агентские проблемы без снижения мотивации бизнеса. Дополнительно применяется прием «разделение в пространстве»: разные зоны проекта (коммерческая и социальная) управляются по разным наборам правил и регуляторных режимов, что позволяет разделить стимулы, ответственность и контроль за результатами в каждой зоне [8].

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

2. Противоречие в распределении рисков между сторонами проекта: строительные и операционные риски возлагаются на частного партнера, тогда как стратегические и политические риски — на государство. Для анализа предлагается использовать матрицу противоречий TRIZ, сосредоточенную на параметрах «надежность системы» и «сложность управления», а также применить прием «предварительное действие» (№10).

Решение: внедрить цифровую платформу предварительного риск—анализа на этапе подготовки проекта, в рамках которой государство предоставляет временные гарантии только на начальном этапе, далее риски автоматически перераспределяются к частному партнеру по мере накопления данных о фактических рисках и надежности реализации проекта, обеспечивая пропорциональный переход рисков на основе накопленной информации. Дополнительно применяется принцип временного разделения рисков: строительные риски закрепляются за этап строительства, операционные риски — за этап эксплуатации. Предложенный режим снижает транзакционные издержки и моральный риск за счет четкого распределения стимулов, ответственности и контроля по фазам реализации проекта, улучшая управляемость рисками и адаптивность к изменяющимся условиям [12].

3. Законодательные и институциональные барьеры. Анализируются жесткие регламентные требования и сроки реализации в диапазоне 180–360 дней, а также отсутствие механизмов компенсации частной инициативы. Предлагается применить эволюционные тренды TRIZ, предусматривающие переход от жесткой системы к динамичной и гибкой, в сочетании с функциональным анализом для выявления функций, ограничений и противоречий и формирования рекомендаций по устранению данных барьеров.

Решение предусматривает переход к динамическим контрактам с автоматическим продлением сроков по достижении промежуточных KPI (прием «динамизация», №15). В рамках соглашения ГЧП предлагается внедрить модульную архитектуру, которая позволяет параллельную инициацию отдельных блоков, таких как подготовка документации и проведение конкурсных процедур, что повышает гибкость проекта и сокращает общие сроки реализации за счет параллелизации работ.

Ключевые аспекты для внедрения:

– формализация KPI и пороговых значений для активации автоматического продления;

– создание механизмов мониторинга и автоматических уведомлений;

– разработка стандартных интерфейсов и модулей для бесшовной интеграции;

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

– управление рисками и распределение ответственности между участниками;

– обеспечение юридической и регуляторной совместимости модульной структуры [9].

4. Коррупционные практики и дефицит доверия, вызванные информационной асимметрией и бюрократическими барьерами. Предлагается использовать функциональный анализ ТРИЗ, включая прием «удаление вредного» (№ 22), а также метод ARIZ.

Решение формулируется как создание прозрачной блокчейн—платформы мониторинга проекта, на которой фиксируются все действия стейкхолдеров в режиме реального времени. Вредная функция «скрытая информация» устраняется за счет автоматического доступа населения и инвесторов к данным. Дополнительно применяется принцип «предварительного действия»: обязательный независимый аудит на стадии частной инициативы. Предложенный подход снижает информационную асимметрию и повышает доверие без введения дополнительных бюрократических барьеров [14].

5. Конфликты между заинтересованными сторонами (жители, подрядчики, государство — сроки, компенсации, внешние эффекты). Предлагается комбинация SSM и ТРИЗ: сначала применить SSM для выявления противоречий между участниками, затем — ТРИЗ для генерации инновационных решений. Инструменты: матрица противоречий + 40 приемов ТРИЗ + принципы разделения [14].

Примеры:

– Жители теряют вид/доступ к магазинам из-за ограждений. Применяется прием «использование вредного в полезное» (№ 22): размещение на ограждениях рекламы и указателей с компенсацией бизнесу за использование пространства.

– Конфликт компенсаций (государство и подрядчик минимизируют выплаты, жители стремятся максимизировать). В итоге предлагается решение разделить в пространстве и применить ИКР: часть компенсации выдается в виде проездных билетов, приоритетного трудоустройства на проекте или земли рядом с метро.

– Нарушение повседневной жизни. Применяется принцип разделения во времени: график работ адаптируется под фестивали, школьные каникулы и сезонные пики [10].

Выводы. Применение методологии ТРИЗ в рамках государственно-частного партнерства открывает принципиально новый этап развития данной формы взаимодействия. ТРИЗ обеспечивает не просто смягчение противоречий, а их полное и системное устранение, переводя их в надсистемные решения, где достигается

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

синергетический выигрыш между публичными и приватными интересами, между механизмами контроля и гибкостью управления, между рисками и эффективностью реализации проектов, между бюрократическими процедурами и прозрачностью, а также между интересами государства, бизнеса и общества. В результате достигается идеальный конечный результат (ИКР), при котором все участники получают максимальную выгоду без каких-либо компромиссов и потерь.

Данный подход обеспечивает снижение транзакционных издержек, многократное повышение инвестиционной привлекательности проектов, формирование высокого уровня доверия между всеми стейкхолдерами и значительное усиление социальной легитимности государственно-частного партнерства. Также данный подход обеспечивает трансформацию государственно-частного партнерства из механизма, сопровождаемого хроническими конфликтами и рисками, в устойчивую, высокоэффективную и масштабируемую систему реализации национальных инфраструктурных, социальных и экономических задач.

Предложенные в рамках исследования решения включают: гибридные контракты с прямой привязкой вознаграждения к достижению социально значимых KPI; цифровую платформу для предварительного анализа рисков с функциональностью автоматического перераспределения рисков; динамические модульные контракты с автоматическим продлением на основе достигнутых результатов; блокчейн-платформу прозрачного мониторинга и предварительного аудита; а также инновационные механизмы разрешения конфликтов между стейкхолдерами. Совокупность указанных инструментов формирует целостную экосистему, способную значительно трансформировать практику государственно-частного партнерства в России.

Внедрение указанных механизмов позволит преодолеть существующие институциональные, правовые и организационные барьеры, существенно ускорить реализацию проектов, повысить их качество и устойчивость, обеспечить гармоничное сочетание интересов государства, бизнеса, населения и регионов. Все это, в свою очередь, может стать мощным драйвером достижения стратегических целей развития страны, включая модернизацию инфраструктуры, повышение качества жизни граждан и укрепление экономической конкурентоспособности на глобальном уровне.

Таким образом, методология ТРИЗ не только демонстрирует исключительную применимость к сфере государственно-частного партнерства, но и обосновывает необходимость радикального нормативного реформирования российского законодательства в данной области, разработки новых типовых контрактных моделей, цифровых инструментов и механизмов общественного участия. Результатом такого перехода может стать формирование качественно новой модели сотрудничества

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

государства и частного сектора — модели XXI века, ориентированной на максимальную синергию, инновации и долгосрочную общественную пользу.,

Применение методологии ТРИЗ в рамках государственно-частного партнерства следует рассматривать не как локальный научный вклад, а как фундаментальную основу для системной трансформации всей сферы публично-частного взаимодействия, открывающую путь к устойчивому, эффективному и социально справедливому развитию России в долгосрочной перспективе.

References

1. Баркалова С.А., Мажарова Л.А. ГЧП в социальной сфере: проблема выбора эффективной модели / Экономика и менеджмент систем управления. — № 4(30). — 2018. — С.4—11. ISSN: 2223—0432

2. Варнавский В.Г., Клименко А.В., Королев В. А. Государственно—частное партнерство: теория и практика. — М: Изд. дом ГУ—ВШЭ. — 2010. — Режим доступа: https://publications.hse.ru/pubs/share/folder/5gmsqs0ss1/148561035.pdf (дата обращения: 20.03.2026).

3. Мажарова Л.А. Совершенствование механизма государственно—частного партнерства в условиях современных «вызовов» // Организатор производства. — 2023. — №2. – С.35. — DOI: 10.36622/VSTU.2023.32.59.003

4. Механизмы государственно—частного партнерства. Теория и практика: учебник и практикум для вузов / Е. И. Марковская [и др.]; под общей редакцией Е. И. Марковской. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 491 с. — (Высшее образование). — Текст: непосредственный. ISBN 978—5—534—11317—4

5. Рыбачек А.С., Кельчевская Н.Р. Государственно—частное партнерство: современное состояние, проблемы и перспективы. — Интеллектуальные бизнес—процессы в промышленности, 2024. — С. 351—355— Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/137864/1/978—5—91256—667—7_2024_072.pdf (дата обращения: 18.03.2026).

6. Chugh S. How Does TRIZ, the Russian Theory Work in Addressing Innovation? / Emeritus. — Режим доступа: https://emeritus.org/blog/what—is—triz—how—does—it—work/ (дата обращения: 20.03.2026)

7. Langevin R. TRIZ: The Backbone of Innovation and Problem—Solving / BNP Media. — Режим доступа: https://preview.bnpmedia.com/qm—march—2025/management—triz/ (дата обращения: 20.03.2026).

8. Lee C.H., Li L., Zhong P. TRIZ Evolution Trend—Based Public Service Innovation for Enhancing Social Participation of Life Garbage Classification // IFIP Advances in

Information and Communication Technology. — 2021. — DOI: 10.1007/978—3—030—86614—3_5.

9. Mlybari E. A., Alghamrawi E. M. New practical innovative tool for the value engineering ideation process with the oriented creativity matrix // Scientific Reports. — 2025. — Vol. 15. — Art. 39887. — DOI: 10.1038/s41598—025—23616—5. — Режим доступа: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12615783/ (дата обращения: 20.03.2026).

10. Ninan J., Phillips I., Sankaran S., Natarajan S. Systems Thinking Using SSM and TRIZ for Stakeholder Engagement in Infrastructure Megaprojects // Systems. — 2019. — Vol. 7. — No. 4. — 48. — DOI: 10.3390/systems7040048. — Режим доступа: https://www.mdpi.com/2079—8954/7/4/48 (дата обращения: 19.03.2026).

11. Public—Private Partnership (P3) Basics / Associated General Contractors of America. — Режим доступа: https://www.agc.org/public—private—partnership—p3—basics (дата обращения: 17.03.2026).

12. Sivalingam C., Ramaswamy R. RETRACTED: Sustainable stakeholder participation planning on the basis of analysis of competing project interest // Journal of International Financial Management & Accounting. — 2024. — Vol. 35. — No. 2. — DOI: 10.1111/jifm.12198. — Режим доступа: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jifm.12198 (дата обращения: 20.03.2026).

13. The Guide to Cross—Sector Collaboration / Resonance Global. — Режим доступа: https://www.resonanceglobal.com/the—guide—to—cross—sector—collaboration (дата обращения: 17.03.2026).

14. TRIZCON2019 Abstracts and Papers / Altshuller Institute for TRIZ Studies. — 2019. — Режим доступа: https://www.aitriz.org/trizcon2019/tz2019papers (дата обращения: 20.03.2026).

15. TRIZ Methodology: A Practical Guide to Systematic Innovation / Product Development Engineers Ltd. — Режим доступа: https://product—development—engineers.com/2025/10/06/triz—a—guide—to—inventive—problem—solving/ (дата обращения: 20.03.2026).

16. Zornes T. TRIZ — The Theory of Inventive Problem Solving / Six Sigma Study Guide. — Режим доступа: https://sixsigmastudyguide.com/theory—of—inventive—problem—solving—triz/ (дата обращения: 20.03.2026)

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 658.512

Lipatov M.S., Asoyan S.T. Industry 5.0: Digital Twins as the Basis for Sustainable Predictive Maintenance

Industry 5.0: цифровые двойники как основа устойчивого предиктивного обслуживания

Lipatov Maxim Sergeevich,
Senior Lecturer of the Department of Heat Power Installations and Heat Engines,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy
Asoyan Said Temurovich,
Student of the Department of Automated Electric Drive
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy
Липатов Максим Сергеевич,
Ст. преподаватель кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна.
Высшая школа технологии и энергетики
Асоян Саид Темурович,
Студент кафедры автоматизированного электропривода
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна.
Высшая школа технологии и энергетики

Abstract. *The article examines how the transition to Industry 5.0 is changing the industry with the help of digital twins and a breakdown prediction system. It focuses on the importance of human-centered design, sustainability, and smart human-machine interactions. The article describes the structure of digital twins, from sensors to connectivity with production management systems. It explains the steps involved in creating digital twins, the use of machine learning, and diagnostic methods such as vibration analysis and thermal imaging. The article provides examples from GE, Rolls-Royce, and Siemens. Conventional and predictive maintenance are compared, problems such as data quality and cybersecurity are discussed, as well as future prospects such as the use of edge-cloud technologies and understandable AI. Analysis shows that the implementation of these technologies allows you to reduce unscheduled equipment stops, reduce energy costs by 15% and respond to problems twice as fast. For a better understanding of the material, tables and diagrams are provided. In conclusion, it is stated that digital twins play an important role in the transition to production that allows for the prevention of breakdowns in advance and enhances the capabilities of engineers.*

Keywords: *Industry 5.0, digital twins, predictive maintenance, human-centeredness, sustainable production*

Аннотация. *В статье рассматривается, как переход к Industry 5.0 меняет промышленность с помощью цифровых двойников и системы предсказания поломок. Говорится о том, что в центре внимания – человек, экологичность и умное взаимодействие людей и машин. Описано, как устроены цифровые двойники, начиная от датчиков и заканчивая связью с системами управления производством. Объясняются этапы их создания, использование машинного обучения и методы диагностики, такие как анализ вибраций и тепловидение. Приводятся примеры из практики компаний GE, Rolls-Royce и Siemens. Сравниваются обычное и предсказательное техобслуживание, обсуждаются проблемы, например качество данных и кибербезопасность, а также будущие перспективы, такие как использование edge-cloud технологий и понятного искусственного интеллекта. Анализ показывает, что внедрение этих технологий позволяет сократить внеплановые остановки оборудования, снизить затраты в энергетике на 15% и в два раза быстрее реагировать на проблемы. Для лучшего понимания материала приведены таблицы и схемы. В заключение говорится о том, что цифровые двойники играют важную роль в переходе к производству, которое позволяет заранее предотвращать поломки и расширяет возможности инженеров.*

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Ключевые слова: *Industry 5.0, цифровые двойники, предиктивное обслуживание, человекоцентричность, устойчивость производства*

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Сейчас в промышленности идёт большая цифровая перестройка. Старые автоматы уступают место умным технологиям, где люди и машины работают вместе. Всё это строится на идее Industry 5.0, где важна не только отдача, но и чтобы всё было надёжно, безопасно и удобно для людей.

В современных реалиях в моде цифровые двойники и предиктивное поломок. Это помогает компаниям заранее знать, в какой момент что-то сломается, чтобы не тратить лишние деньги во время простоя и лишнего обслуживания устройства. А сама Industry 5.0 крутится вокруг того, чтобы человек был на первом месте(табл.1), чтобы производство не вредило природе и чтобы люди и машины отлично ладили друг с другом.

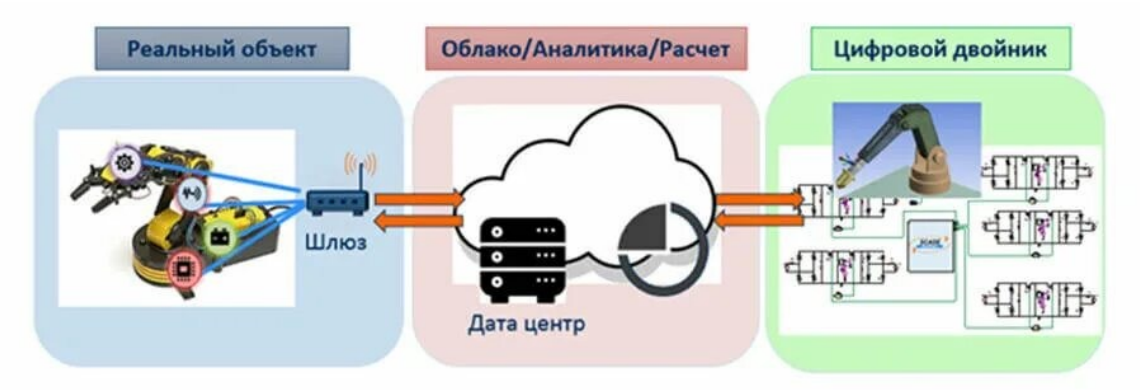
Таблица 1.

Сравнение Industry 4.0 и 5.0

Критерий	**Industry 4.0**	**Industry 5.0**
Основная цель	Автоматизация и эффективность	Человеко-машинное сотрудничество, устойчивость
Ключевые технологии	IoT, AI, Big Data	Коботы, AR, 3D-печать, цифровые двойники
Фокус развития	Снижение затрат	Социальная ответственность, персонализация

Цифровой двойник – это виртуальный близнец станка, который вживую показывает, что с ним происходит. Он собирает всё: данные с датчиков, как он работает, что показывали проверки и когда его чинили. Эта модель постоянно следит за машиной, анализирует её поведение и говорит, чего от неё ждать дальше. Например, цифровой двойник турбины может следить за температурой, тряской и износом подшипников, чтобы вовремя предупредить инженеров о поломке. Что входит в цифровой двойник(рис.1): данные с датчиков, режимы работы, проверки и история поломок – всё, чтобы видеть станок как на ладони, только в компьютере.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|



(Рис. 1. Компоненты и структура цифрового двойника)

Чтобы сделать цифрового двойника(рис.2), сначала нужно спроектировать физику объекта: его форму, как он движется и как по нему течет энергия. Потом добавляем алгоритмы обработки данных и машинного обучения. Они анализируют показания с датчиков и подстраивают параметры модели. Из-за этого виртуальный двойник может не просто показывать, что происходит сейчас, но и проводить эксперименты в цифровом виде, не рискуя ничем.

К примеру, можно посмотреть, что будет, если систему перегрузить, или как изменится работа, если поменять настройки. Создание цифрового двойника: от моделирования объекта до настройки машинного обучения на основе настоящих данных.



(Рис. 2. Этапы создания цифрового двойника)

Цифровой двойник строится как многослойная структура(рис.3), которая синхронизирует виртуальную копию с реальным объектом в режиме реального

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

времени. В самом низу находятся датчики, регистрирующие параметры оборудования: температуру, вибрацию, давление, токи и деформации. Эти данные идут на контроллеры, где отсеиваются шумы, собираются данные и проводится предварительный анализ, чтобы снизить нагрузку на сеть. На среднем уровне находятся платформы для обработки данных (IoT-платформы или серверы), где создается цифровая модель. Сюда входят физические симуляции, данные об истории ремонтов и режимах работы. Машинное обучение корректирует модель, предсказывая износ или поломки, например, анализ вибраций подшипников турбины GE. На верхнем уровне находятся облачные сервисы или корпоративные системы, где модель отображается и связывается с бизнес-процессами. Синхронизация обеспечивается протоколами OPC UA, MQTT для передачи данных в режиме реального времени. Гибридная архитектура – edge-cloud – уменьшает задержки: edge обрабатывает важные события, а облако – углубленный анализ и обучение.



(Рис. 3. Архитектура цифрового двойника: от сенсоров к MES/ERP)

Прогностическое обслуживание – это неотъемлимая часть при переходе на цифровое предиктивное обслуживание. Идея в том, чтобы постоянно собирать и анализировать данные и предсказывать, когда что-то сломается.

Суть в том, что при переходе на цифровые двойники возможно избежать простаивания промышленных мощностей, избавив производство от издержек которые чаще всего встречаются при поломках. Для этого используются датчики типа анализа вибраций, тепловидения, анализа тока и звука. Хитроумные алгоритмы вычисляют даже малейшие отклонения и говорят, сколько еще узел протянет. Например, если

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

анализировать, как вибрируют подшипники, можно вовремя принять меры и избежать поломок и остановок. Если сравнивать обычное обслуживание по плану и прогностическое(табл.2), то последнее помогает меньше простаивать без дела и точнее использовать ресурсы.

Таблица 2.

Плановое vs предиктивное обслуживание

Характеристика	**Плановое обслуживание**	**Предиктивное обслуживание**
Расписание	Фиксированное по времени	По реальному состоянию оборудования
Эффективность	Избыточные работы на здоровом оборудовании	Снижение ненужных вмешательств на 40-60%
Данные	Исторические графики	Реальное время + ML-анализ

Вот как можно заранее узнать о поломках: смотрят на вибрацию, тепло, ток и звуки. Это помогает заметить неполадки ещё в самом начале.

Сейчас часто используют «метод» два в одном: берут обычную схему работы техники и добавляют к ней машинное обучение. Схема показывает, как всё должно работать, а программа подстраивает прогнозы под реальные условия. Это круто, когда всё работает нестабильно, например, если на электростанции то больше, то меньше энергии выдают, или на заводе то густо, то пусто. Такой подход два в одном помогает точнее следить за состоянием техники, когда она работает неравномерно. Ещё стали делать цифровые копии заводов. Это позволяет лучше контролировать ремонт и видеть всю картину. Система берёт данные с датчиков, сравнивает с тем, что было раньше, и просчитывает, в какой момент что-либо может выйти из строя. Если видно, что деталь скоро сломается, программа говорит, когда её лучше заменить, и сама отправляет заявку на ремонт. Инженер может посмотреть, что случилось, проверить советы программы и попробовать разные варианты лечения – и всё это на компьютере, не останавливая производство.

Немало важной частью является – дополненная реальность. Она помогает инженеру следить за техникой и видеть прогнозы прямо перед глазами, не нужно ничего останавливать. Сейчас важно не просто выводить все в автоматизацию, нужно чтобы инженерам было удобно работать с машинами. Представьте: инженер смотрит на технику через очки, а там – живая картинка, прогнозы и инструкции. Это помогает

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

быстрее принимать решения и избегать ошибок. Такая цифровая копия помогает не только чинить, но и учить персонал, тренироваться на случай аварий и планировать работу.

Технологии цифровых двойников уже применяются в различных отраслях. Например, компания General Electric использует цифровые модели для мониторинга турбин и компрессоров, анализируя данные с тысяч датчиков для прогнозирования износа и оптимизации расписания технических остановок. Rolls-Royce применяет цифровые двойники авиадвигателей, которые анализируют условия полётов и историю нагрузок, формируя индивидуальные рекомендации для каждой машины. Siemens использует подобные технологии в железнодорожной технике, отслеживая состояние тягового оборудования в реальном времени. Ветроэнергетические компании создают цифровые копии турбин для раннего выявления усталостных дефектов, что значительно увеличивает срок службы оборудования.

Примеры применения цифровых двойников в различных отраслях: авиадвигатели, турбины, железнодорожное и ветроэнергетическое оборудование.

Современные тенденции показывают, что использование цифровых двойников сокращает количество внеплановых простоев, повышает надёжность и улучшает планирование ресурсов. В энергетике благодаря этим технологиям удалось снизить затраты на обслуживание примерно на 15%, а в машиностроении — уменьшить сроки реагирования на инциденты почти вдвое. Для малых предприятий такие системы позволяют безопасно масштабировать производство и оптимально использовать оборудование без ущерба для качества и стабильности. Практические результаты цифровых двойников: уменьшение затрат на обслуживание, повышение надёжности и ускорение реагирования на инциденты.

Внедрение цифровых двойников – дело непростое и требует тщательной подготовки. Главные камни преткновения – это нормальное качество данных и стыковка с уже работающими системами. Ошибки датчиков, несовпадение форматов и пропуски в измерениях могут сильно испортить все предсказания. Плюс ко всему, цифровые модели нужно постоянно обновлять и проверять, ведь условия эксплуатации меняются, и модель должна к ним подстраиваться.

Ещё одна важная штука – кибербезопасность: цифровой двойник хранит важную информацию о конструкции и работе оборудования, поэтому его нужно беречь от взломов и утечек. Основные проблемы с цифровыми двойниками – это данные, интеграция и защита от хакеров. Что касается развития, то тут всё идёт к гибридным системам, где часть работы делается на месте, а сложные вычисления и обучение моделей идут в облаке.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Ещё в теме физико-информированные модели – это когда инженерные формулы объединяют с искусственным интеллектом. Это позволяет быстро создавать цифровые копии под разное оборудование. Ну и появление онлайн-магазинов готовых цифровых моделей тоже упростит дело, ведь можно будет купить готовый модуль и настроить его под себя.

В общем, гибридная система – это когда простые вычисления делаются на месте, а сложные, по типу анализа и обучения, – в облаке. Важное направление – развитие понятного искусственного интеллекта и всяческих визуализаций. Инженеру важно не просто получить прогноз, а понимать, почему он такой. Чем понятнее алгоритмы, тем больше доверия и тем охотнее их будут использовать в важных областях энергетики, транспорта и медицины. А с дополненной реальностью всё становится намного проще: оператор видит на экране реальное оборудование и прогнозные данные прямо поверх него – удобно для диагностики и обучения. Понятный искусственный интеллект и качественные визуализации помогают инженерам понимать, откуда берутся те или иные решения. В итоге, цифровые двойники становятся одним из главных инструментов в современном производстве, где решения принимаются не только по факту, но и на основе прогнозов.

Это не просто виртуальные модели, а активные участники управления оборудованием. Вместе с предсказательной аналитикой и гибкой системой данных они дают возможность предприятиям перейти от реактивного обслуживания к нормальному, продуманному и выгодному производству.

Развитие от Industry 4.0 к Industry 5.0 показывает, что в цифровизации важны не только технологии, но и то, как они помогают людям. Цифровой двойник не заменяет инженера, а делает его круче. Там, где раньше приходилось гадать, теперь есть точные данные и понятные симуляции. Предприятие становится не только современным, но и умным, способным предвидеть проблемы, решать их и стабильно развиваться.

References

1. Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient industrial revolution. Procedia CIRP, 104, 73–78. DOI:10.1016/j.procir.2021.11.232

2. Tao, F., Zhang, M., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twin in industry: State-of-the-art. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15(4), 2405–2415. DOI:10.1109/TII.2018.2873186

3. General Electric. (2024). Predix Platform: Digital Twins for Gas Turbines. GE Digital Case Study. URL: https://www.ge.com/digital/predix

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

4. Rolls-Royce. (2023). IntelligentEngine: Digital Twin for Aero Engines. Rolls-Royce Sustainability Report. URL: https://www.rolls-royce.com/innovation/digital-twin.aspx

5. Siemens AG. (2025). MindSphere: Real-time Monitoring of Rail Traction Systems. Siemens Mobility White Paper. URL: https://new.siemens.com/global/en/products/software/mindsphere.html

6. Rasheed, A., San, O., & Kvamsdal, T. (2020). Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective. IEEE Access, 8, 21980–22012. DOI:10.1109/ACCESS.2020.2970142

7. Deloitte. (2024). Predictive Maintenance 4.0: The Future of Reliability. Industry Report. URL: https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing/predictive-maintenance-reliability.html

8. European Commission. (2023). Digital Twin Project: Industry 5.0 Trends and Applications. URL: https://digitaltwinproject.eu/future-trends-digital-twins-and-industry-5-0/

9. Fortune Business Insights. (2025). Digital Twin Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, 2032. URL: https://www.fortunebusinessinsights.com/digital-twin-market-106246

10. Mihalache, A., et al. (2023). Behind the definition of Industry 5.0: A systematic review of technologies, principles, components, and values. Systems, 11(8), 417. DOI:10.1080/21681015.2023.2216701

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 621.577

Nashuk D. S., Kozlov V. V., Lipatov M. S. Integration of heat pumps into district heating systems

Интеграция тепловых насосов в системы централизованного теплоснабжения

Nashuk Dmitriy Sergeevich,
Student of the Department of Industrial Heat and Power Engineering,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy
Kozlov Valery Vyacheslavovich,
Student of the Department of Industrial Heat and Power Engineering,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy
Lipatov Maxim Sergeevich,
Senior Lecturer of the Department of Heat Power Installations and Heat Engines,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy
Нашук Дмитрий Сергеевич,
Студент кафедры промышленной теплоэнергетики,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики
Козлов Валерий Вячеславович,
Студент кафедры промышленной теплоэнергетики,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики
Липатов Максим Сергеевич,
Ст. преподаватель кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики

Abstract. *The article discusses the prospects and technical features of the introduction of industrial heat pumping units in district heating systems using low-potential heat from wastewater and industrial discharges. A comparative assessment of the efficiency of hybrid schemes has been carried out, demonstrating the potential to reduce natural gas consumption and ensure a network temperature schedule of up to 95 °C with an energy transformation coefficient above 3.5.*

Keywords: *heat pump, district heating, low-potential heat, energy efficiency, heat recovery.*

Аннотация. *В статье рассмотрены перспективы и технические особенности внедрения промышленных тепловых насосных установок в системы централизованного теплоснабжения с использованием низкопотенциального тепла сточных вод и промышленных сбросов. Проведена сравнительная оценка эффективности гибридных схем, демонстрирующая потенциал снижения расхода природного газа и обеспечения температурного графика сети до 95°С при коэффициенте трансформации энергии выше 3,5.*

Ключевые слова: *тепловой насос, централизованное теплоснабжение, низкопотенциальное тепло, энергоэффективность, утилизация тепла.*

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

В условиях глобальной энергетической трансформации, обусловленной необходимостью декарбонизации экономики и повышения энергетической безопасности, традиционные системы теплоснабжения, базирующиеся на сжигании органического топлива, требуют глубокой технологической модернизации. Для Российской Федерации, где централизованное теплоснабжение охватывает подавляющую часть жилого фонда и промышленного сектора, поиск альтернативных источников тепловой энергии становится стратегической задачей национального масштаба. Особый интерес представляет утилизация низкопотенциального тепла, которое в настоящее время в огромных объемах рассеивается в окружающей среде через канализационные стоки, вентиляционные выбросы крупных зданий и сбросные воды промышленных предприятий. Интеграция тепловых насосных установок (ТНУ) большой мощности в существующую инфраструктуру тепловых сетей позволяет не только вовлечь эти возобновляемые ресурсы в энергобаланс, но и существенно повысить гибкость и надежность системы теплоснабжения, снижая пиковые нагрузки на магистральные источники генерации [1]. Актуальность исследования диктуется также необходимостью диверсификации топливного баланса и снижения зависимости от колебаний цен на природный газ, что делает технологию теплонасосного преобразования энергии одним из ключевых элементов будущей устойчивой энергетики.

Тепловой насос представляет собой термодинамическую машину, осуществляющую перенос тепловой энергии от источника с низким температурным потенциалом к потребителю с более высоким уровнем температуры за счет затраты внешней работы, обычно электрической или механической. В контексте систем центрального теплоснабжения, где требуемые параметры теплоносителя значительно превышают бытовые стандарты, применение ТНУ сопряжено с рядом технических вызовов, требующих использования специализированного промышленного оборудования. Современные высокопотенциальные тепловые насосы компрессионного и абсорбционного типов способны обеспечивать температуру нагрева сетевой воды до 90–95°С и выше, что полностью соответствует требованиям действующих температурных графиков отопительных систем в большинстве регионов России (Рис. 1). Коэффициент преобразования энергии таких установок варьируется в диапазоне от 3,0 до 5,5, что означает возможность получения от 3 до 5,5 единиц тепловой энергии на каждую единицу затраченной электрической энергии. Данный показатель кардинально отличает тепловые насосы от резистивных электронагревателей с КПД, близким к единице, и ставит их в один ряд с наиболее эффективными газовыми котельными по показателям первичной энергоэффективности, особенно в регионах с высокой долей безуглеродной генерации электроэнергии в энергосистеме [2].

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

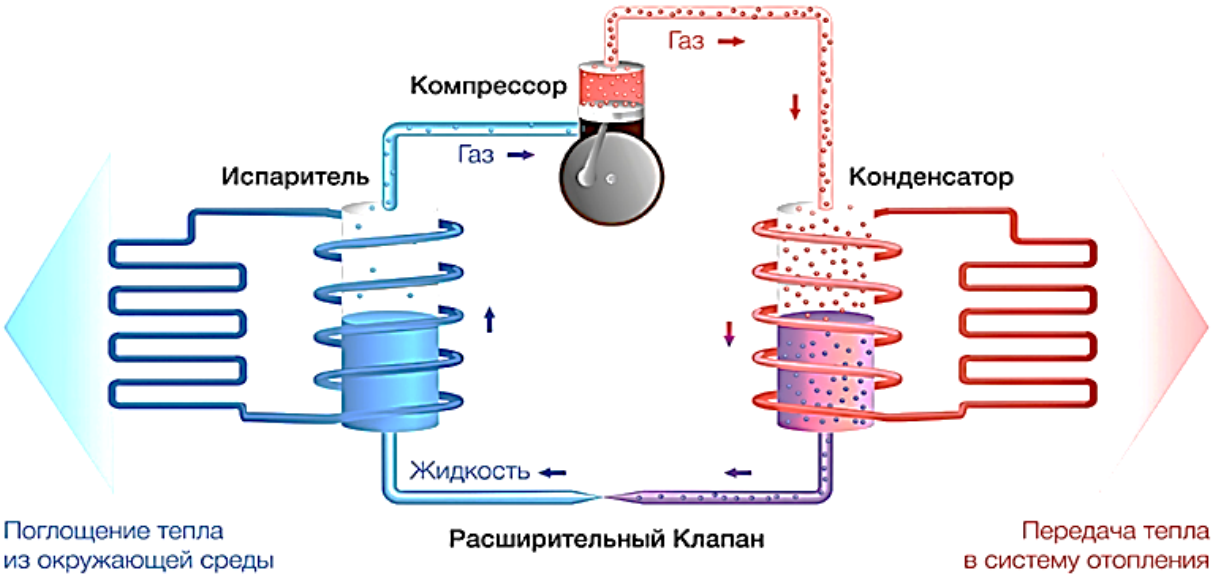


Рисунок. 1. Устройство и принцип работы теплового насоса.

Источниками низкопотенциального тепла для масштабных тепловых насосных станций могут служить разнообразные техногенные потоки, характеризующиеся стабильностью температурного режима в течение года. Очищенные сточные воды городских канализационных очистных сооружений являются одним из наиболее перспективных ресурсов, так как их температура даже в зимний период редко опускается ниже 12–18°C благодаря постоянному притоку бытовых стоков и процессам биологической очистки. Использование данного ресурса в мегаполисах позволяет покрывать значительную долю базовой тепловой нагрузки, достигая показателей замещения природного газа на уровне 20–30% от общего годового потребления. Кроме того, существенный потенциал скрыт в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий, где сбросная вода часто имеет температуру 20–30°C, а также в вентиляционных выбросах крупных торговых центров, спортивных комплексов и станций метрополитена, где удаляемый воздух несет в себе значительное количество явного и скрытого тепла. Эффективное извлечение энергии из этих источников требует тщательного проектирования теплообменного оборудования, устойчивого к загрязнению и коррозии, а также оптимизации гидравлических режимов для минимизации собственных нужд циркуляционных насосов [3].

Принципиальная схема интеграции мощной тепловой насосной установки в систему централизованного теплоснабжения предполагает ее последовательное включение в обратный трубопровод тепловой сети перед пиковыми источниками тепла.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

В такой конфигурации ТНУ выполняет функцию базового источника, осуществляя предварительный подогрев обратной сетевой воды с типичных значений 40–50°C до уровня 70–80°C. Дальнейший догрев теплоносителя до требуемых параметров прямой сети осуществляется традиционными источниками — газовыми котлами пиковых котельных или отборами пара теплоэлектроцентралей. Подобная гибридная схема позволяет эксплуатировать тепловой насос в оптимальном режиме с максимальным значением КПД, избегая работы при экстремально высоких температурах конденсации, которые неизбежно возникают при попытке покрыть весь температурный напор силами теплового насоса. Стабилизация работы основного генерирующего оборудования достигается за счет сглаживания суточных и сезонных колебаний нагрузки, что продлевает ресурс дорогостоящего силового оборудования и снижает частоту его переводов в неэффективные частичные режимы работы.

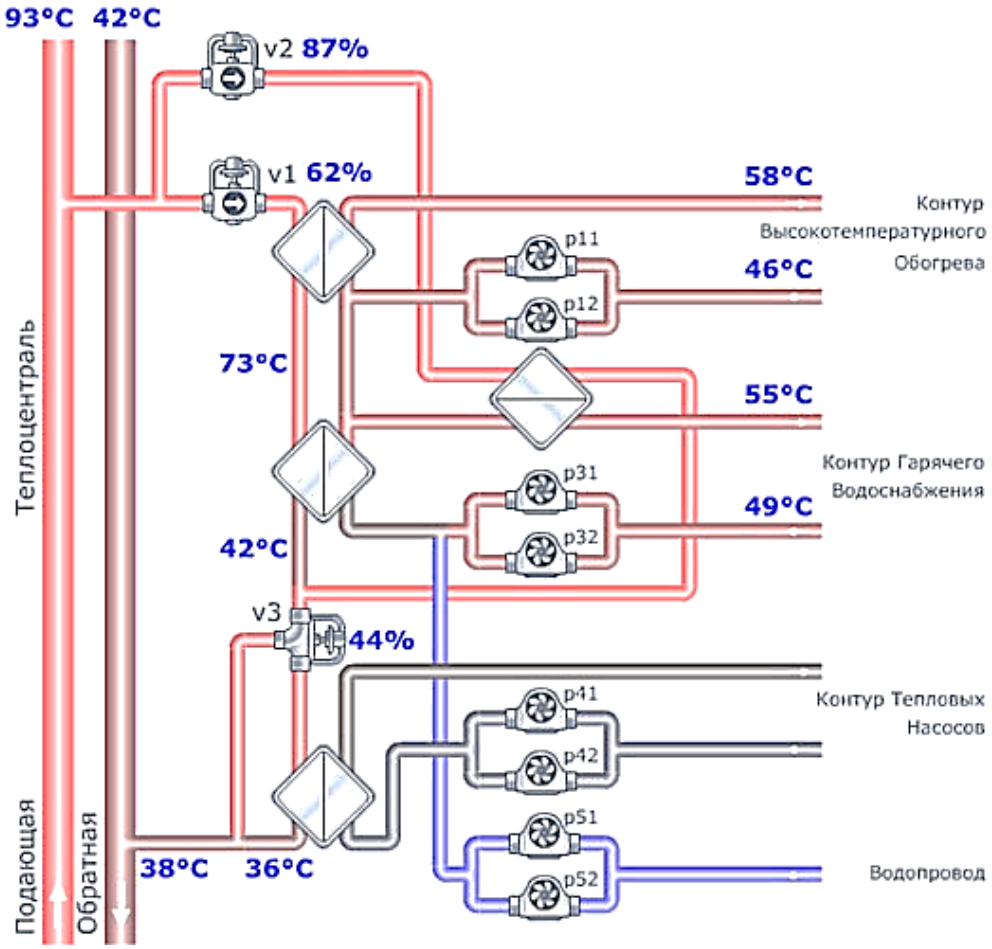


Рисунок 2. Центральный тепловой пункт с дополненным контуром тепловых насосов.

Обратная вода теплоцентрали обычно имеет температуру 30-40 градусов С. На рис. 2 приведен пример использования обратной воды из центрального теплового пункта для нагрева контура водяных тепловых насосов. Эта система использует

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

теплообменник и трехходовой клапан для поддержания температуры в прямой трубе контура тепловых насосов в диапазоне 25-28 градусов. Температура воды в обратной трубе тепловых насосов обычно опускается до 15-20 градусов. Рисунок иллюстрирует случай, когда горячая питьевая вода поставляется традиционным методом из ЦТП. В качестве альтернативы для горячего водоснабжения могут быть использованы индивидуальные тепловые насосы типа вода-вода, расположенные в каждой квартире или в домовом тепловом пункте.

Когда в здании с центральным отоплением необходимо организовать дополнительное отопление помещений, а ресурсы существующей системы отопления исчерпаны, то контур тепловых насосов может быть подключен к обратной трубе системы отопления или горячего водоснабжения внутри самого здания. В этом случае не требуется организовывать дополнительного подключения в центральном тепловом пункте и строительства дополнительной магистрали контура тепловых насосов. Все работы проводятся с минимальными затратами внутри самого здания.

Мировой опыт эксплуатации крупных тепловых насосных станций в системах центрального отопления таких городов, как Стокгольм, Осло и Хельсинки, подтверждает техническую надежность и долгосрочную эффективность данной технологии [4]. В скандинавских странах доля тепловых насосов в балансе теплоснабжения достигает 50% и более, где они успешно используют тепло морских фьордов, озер и очищенных сточных вод. В Российской Федерации также накоплен определенный опыт реализации пилотных проектов, например, использование тепла сточных вод на очистных сооружениях в Сочи, Москве и Санкт-Петербурге, где установки единичной мощностью до 1,5 МВт демонстрируют реальную экономию миллионов кубических метров природного газа ежегодно. Однако массовое тиражирование этих решений сдерживается отсутствием серийного отечественного производства оборудования большой мощности. Зависимость от импорта приводит к удорожанию проектов из-за логистических расходов, таможенных пошлин и валютных рисков, а также осложняет сервисное обслуживание в условиях санкционных ограничений. Развитие собственной конструкторской школы и производственной базы для выпуска промышленных тепловых насосов мощностью от 1 до 10 МВт является необходимым условием для снижения капитальных затрат на 30–40% и обеспечения технологического суверенитета в сфере ЖКХ.

Особую актуальность при внедрении тепловых насосных установок в российских условиях приобретает учет климатической специфики различных регионов страны. Территория Российской Федерации охватывает несколько климатических зон — от умеренно-континентальной до резко континентальной и арктической, что предъявляет повышенные требования к надежности и адаптивности оборудования. В условиях низких зимних температур (до –40°C и ниже в отдельных регионах) традиционные

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

воздушные тепловые насосы существенно снижают эффективность из-за уменьшения разности температур между источником тепла и рабочей средой, а также риска обмерзания испарителя. В связи с этим для центрального теплоснабжения в России наиболее перспективны системы, использующие стабильные низкопотенциальные источники: сточные воды, грунтовые воды и геотермальные контуры, температура которых даже в зимний период сохраняется в диапазоне +5…+15°C. Для обеспечения бесперебойной работы в холодный сезон применяются специализированные технические решения: многоступенчатые компрессорные схемы с промежуточным переохлаждением хладагента, использование низкотемпературных рабочих тел (R744, R717, R1234ze). Дополнительно внедряются гибридные режимы работы, позволяющие при экстремально низких температурах переключаться на резервный источник тепла без остановки основного контура. Важным аспектом является также подбор материалов и конструктивных элементов, устойчивых к термическим деформациям и коррозии в условиях высокой влажности и перепадов температур. Исследования показывают, что при грамотной адаптации к климатическим условиям коэффициент преобразования энергии промышленных ТНУ в российских регионах может поддерживаться на уровне не ниже 3,0 даже в пиковые зимние периоды, что подтверждает техническую реализуемость масштабного внедрения данной технологии.

Перспективы дальнейшего развития технологии связаны с созданием интеллектуальных гибридных энергетических комплексов, объединяющих тепловые насосы, традиционные источники генерации, системы аккумулирования энергии и элементы распределенной генерации. Такие системы, управляемые единым цифровым алгоритмом на основе прогнозов погоды и графиков нагрузки, смогут автоматически выбирать наиболее экономичный и экологичный режим работы в каждый момент времени. Важным направлением научных исследований является разработка новых рабочих тел (хладагентов) с нулевым потенциалом разрушения озонового слоя и низким потенциалом глобального потепления, способных эффективно работать в высокотемпературных циклах. Также актуальны исследования в области повышения коррозионной стойкости теплообменного оборудования при работе с агрессивными средами, такими как неочищенные сточные воды или промышленные стоки химической промышленности. Совершенствование нормативно-правовой базы, включая четкое определение статуса тепловых насосов как источников возобновляемой энергии и введение механизмов поддержки «зеленой» тепловой генерации, станет катализатором инвестиционной активности в данном секторе.

Интеграция тепловых насосных установок в системы централизованного теплоснабжения представляет собой технически обоснованный и стратегически важный путь модернизации теплоэнергетического комплекса страны [5]. Технология позволяет вовлечь в хозяйственный оборот колоссальные объемы бросовой тепловой

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

энергии, снижая антропогенную нагрузку на окружающую среду и повышая энергоэффективность экономики в целом. Несмотря на существующие экономические барьеры, связанные с высокими капитальными затратами и тарифным дисбалансом, долгосрочные выгоды от внедрения ТНУ очевидны и подтверждены международным опытом. Успешная реализация потенциала тепловых насосов требует консолидации усилий государства, научного сообщества и бизнеса для развития отечественного машиностроения, адаптации регуляторной среды и подготовки квалифицированных кадров. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на оптимизации гибридных схем теплоснабжения, разработке методов прогнозирования ресурса оборудования и создании типовых проектных решений для различных климатических зон России, что обеспечит надежное, экономичное и экологически чистое теплоснабжение населения и промышленности в условиях меняющегося энергетического ландшафта.

References

1. Эйтерник А. Ю. Способы повышения энергоэффективности при помощи инновационных технологий в теплоэнергетике / А. Ю. Эйтерник, О. В. Борисова // Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование: международная научно-техническая конференция: электронный сборник научных статей: в 3 т. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – Т. 1. – С. 150–153. – EDN PLIEBW.

2. Козлов А. В. Снижение потерь тепловой энергии при ее передаче от источника к потребителю / А. В. Козлов, О. В. Борисова // Экология и безопасность жизнедеятельности : сборник статей XXIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 11–12 декабря 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 199–201. – EDN IUMVBG.

3. Федорук, С. С. История развития и современное состояние применения тепловых насосов в энергетике / С. С. Федорук, К. О. Кащеев, А. Д. Ширяев // International Journal of Professional Science. – 2025. – № 3-2. – С. 24-31. – EDN BJXFPO.

4. Салманова, Н. А. Использование теплонасосных установок в системах теплоснабжения / Н. А. Салманова // Universum: технические науки. – 2025. – № 2-7(131). – С. 56-58.

5. Применение тепловых насосов в системах централизованного теплоснабжения / Н. Н. Гладышев, А. Д. Ширяев, О. А. Долженко, К. О. Кащеев // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2024. – № 4. – С. 61-65. – EDN EFZLNB.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 617. 711.843

Bryksina A.A., Galchuk K.V., Kuprikova P.A., Semenova E.V., Bogacheva E.V. Orthokeratology as an opportunity for vision correction in students

Ортокератологический метод как возможность коррекции зрения у студентов

Bryksina Alina Andreevna
Student of the 3rd year, group L-326, Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko.
Galchuk Ksenia Vladimirovna
Student of the 3rd year, group L-326, Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko.
Kuprikova Polina Alekseevna
Student of the 3rd year, group L-326, Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko.
Semenova Elizaveta Vladimirovna
3rd year student, group L-326, Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko.
Bogacheva Elena Vasilevna
Ph.D, Associate Professor
Department of Management in Health Care Department,
Voronezh State Medicai University named after N.N. Burdenko
Брыксина Алина Андреевна
Студентка 3 курса, группы Л-326, Воронежского государственного медицинского университета имени Н. Н. Бурденко.
Гальчук Ксения Владимировна
Студентка 3 курса, группы Л-326, Воронежского государственного медицинского университета имени Н. Н. Бурденко.
Куприкова Полина Алексеевна
Студентка 3 курса, группы Л-326, Воронежского государственного медицинского университета имени Н. Н. Бурденко.
Семенова Елизавета Владимировна
Студентка 3 курса, группы Л-326, Воронежского государственного медицинского университета имени Н. Н. Бурденко.
Богачёва Елена Васильевна
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры Управления в здравоохранении,
Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Abstract. *The relevance of the work is due to the widespread prevalence of vision disorders among young people, particularly students, as well as the need to find effective, safe, and convenient methods of correction. Orthokeratology (night lenses) is a modern alternative to traditional correction methods such as glasses and daytime lenses, combining non-invasiveness, reversibility, and the ability to slow down the progression of myopia. However, despite the advantages of this method, its use remains limited due to a lack of awareness, concerns about cost and comfort, as well as the presence of contraindications and side effects. The study demonstrates the level of students' awareness of night lenses and identifies the reasons that prevent their widespread use. This allows us to identify areas for further educational work and optimize vision correction methods among young people.*

Keywords: *orthokeratology (night lenses), disorder, myopia, vision, lenses, effect.*

Аннотация. *Важность работы обусловлена широкой распространенностью нарушений зрения среди молодёжи, в частности студентов, а также необходимостью поиска эффективных, безопасных и удобных методов коррекции. Ортокератология (ночные линзы) представляет собой современную альтернативу традиционным средствам коррекции, таким как очки и дневные линзы, сочетая в себе неинвазивность, обратимость эффекта и возможность замедления прогрессирования миопии. Однако, несмотря на преимущества метода, его применение остаётся ограниченным из-за недостаточной информированности, опасений относительно стоимости и комфорта, а также наличия противопоказаний и побочных эффектов. Проведённое нами исследование демонстрирует уровень осведомлённости студентов о ночных линзах и выявляет причины, препятствующие их широкому использованию. Это позволяет определить направления для дальнейшей просветительской работы и оптимизации методов коррекции зрения среди молодёжи.*

Ключевые слова: *ортокератология (ночные линзы), нарушение, миопия, зрение, линзы, эффект.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

Ортокератологический метод (ночные линзы) - актуальный, удобный и современный метод коррекции зрения. Удобство в течение дня, замедление прогрессирования миопии, неинвазивность и свобода в повседневной жизни (можно заниматься спортом, работать без помех, плавать и др.).

Эффект обратим: после прекращения использования линз зрение возвращается в прежнее состояние.

Механизм действия: линзы на время изменяют форму роговицы, делая её центральную оптическую зону более плоской, что позволяет лучам света фокусироваться точно на сетчатке. Утром линзы снимаются, и зрение остаётся чётким весь день без очков или дневных контактных линз. [1]

Оказываемый эффект:

- После первой ночи острота зрения достигает 75%.
- Полная коррекция близорукости происходит через 7–10 дней использования линз.
- Эффект полностью стабилизируется спустя 1,5–2 месяца при регулярном ношении линз.

Противопоказания линз:

- Инфекционные заболевания глаз (конъюнктивит, блефарит, кератит);

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

- Синдром сухого глаза - при недостаточной выработке слезы линзы могут вызывать раздражение и дискомфорт;
- Аномалии роговицы (кератоконус, кератоглобус) - при этих патологиях ночные линзы могут негативно влиять на состояние роговицы;
- Операции на глазах в анамнезе -после хирургических вмешательств (например, лазерной коррекции зрения).

Побочные эффекты:

- Покраснение склеры - линзы могут не пропускать кислород, что приводит к гипоксии.
- Конъюнктивит - проявляется сильным зудом, чувством инородного тела в глазу, покраснением глаз, светобоязнью, слизистыми или гнойными выделениями.
- Отёк и эрозия роговицы - грубое механическое воздействие на орган зрения, травмирование происходит при длительном использовании жёстких линз на ночь.
- Кератит - воспаление роговицы инфекционной природы. [3]

Материалы и методы исследования. Материалами работы являются ночные линзы, которые используются для коррекции зрения. В качестве методов используется описательная статистика.

Результаты. Проводился опрос среди студентов Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко - 1 и 3 курса. Большинство студентов в возрасте 19-20 лет (44,7%), среди них: женщин - 87,6%, а мужчин – 12,4%. По факультетам студенты распределились следующим образом: лечебный - (57,6%), педиатрический - (20,6%), стоматологический - (11,8%), медико-профилактический- (5,9%), фармацевтический - (4,1%). Во время учебы усталость глаз ощущают 84,7% опрошенных и у 15,3% усталость отсутствует.



Диаграмма 1. Нарушения зрения.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

По результатам опроса студентов 1 и 3 курса мы выяснили, что нарушение зрения выявлено у 141 студента, это 71,2% от общего количества опрошенных. Среди нарушений зрения чаще всего встречается близорукость – 50,5% и астигматизм 17,2%. Реже встречается дальнозоркость – 3,5%. Оставшаяся группа из 57 студентов - это 28,8%, которые не имеют нарушений зрения.



Диаграмма 2. Виды коррекции для зрения.

Студенты, которые используют средства коррекциизрения, составляют 138 человек, это 66,6% от общего количества опрошенных. Среди средств коррекции чаще всего использую очки - 35,7%, дневные линзы - 21,7% и намного меньше ночные линзы 9,2%. Оставшаяся группа из 69 студентов, это 33,3%, которые ничего не используют.

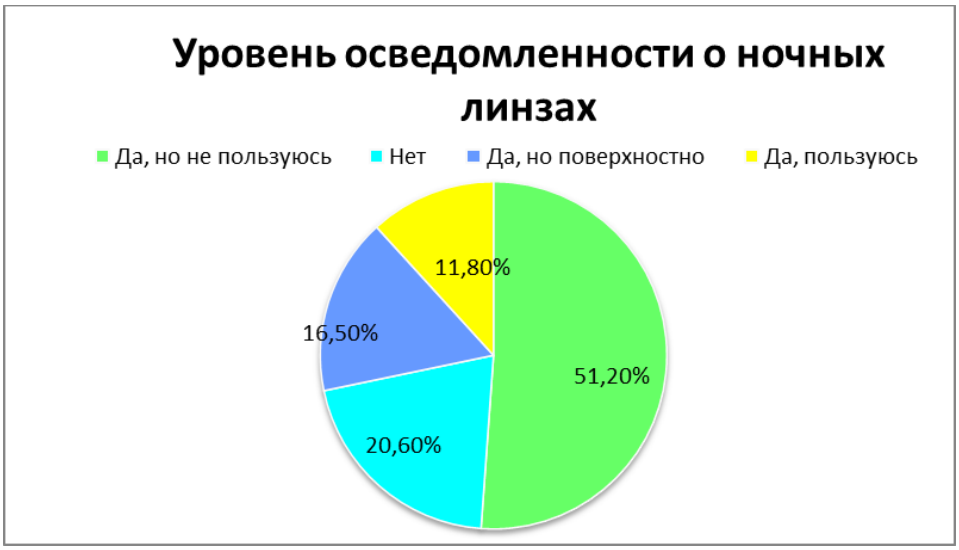


Диаграмма 3. Уровень осведомленности о ночных линзах.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Из опрощенных 170 студентов, знакомы с понятием ночные линзы 135 студентов, это 79,5% от общего количества опрошенных. Многие студенты знакомы с понятием, но не пользуют их 51,2%, меньше студентов знакомы очень поверхностно – 16,5% и знакомы, и пользуются ночными линзами 11,8%. Оставшаяся группа из 35 студентов не знакомы с понятием ночные линзы, это 20,6%.

Выяснилось, что основная масса студентов знает об оказываемом эффекте ночных линз – 76,5%, только 23,5% не знают.

На вопрос, почему вы не пользуетесь ночными линзами, студенты ответили так: 31,4%не нуждаются в коррекции зрения. 23,6% удобнее использовать другие методы коррекции. 15,5% не устраивает цена линз. 12,3% испытывают личное неудобство в ношении. 11,8% ощущают страх, ощущение инородного тела в глазах. Не доверяют эффектам лишь 5,5%.

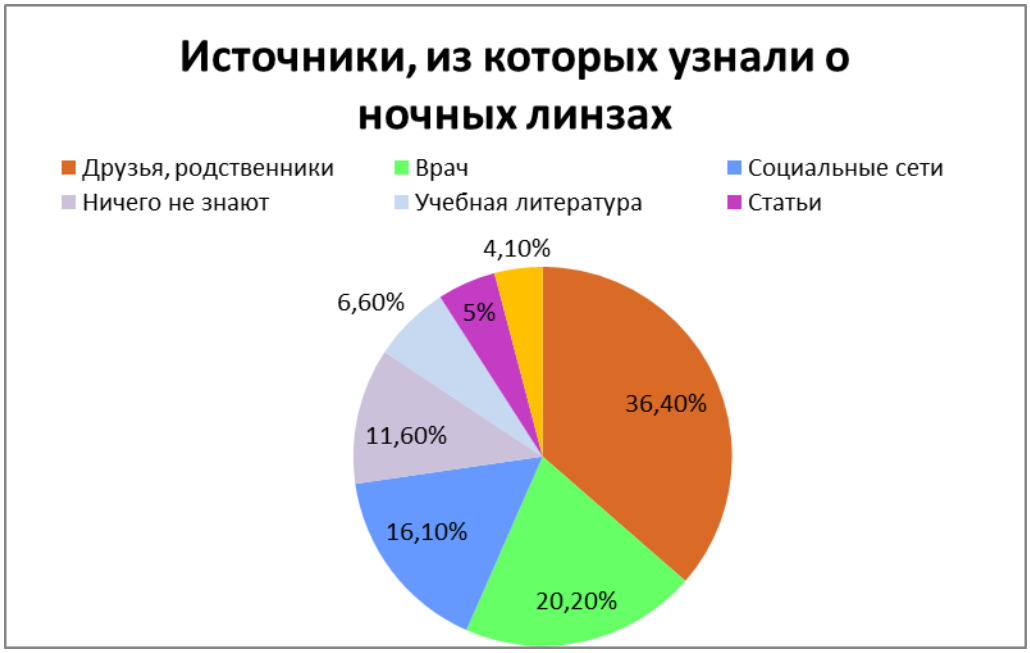


Диаграмма 4. Источники, из которых узнали о ночных линзах.

Главным источником информации про ночные линзы стали друзья и родственники - 88 студентов, это 36,4%; другие источники: врач - 49 студентов, это 20,2%; социальные сети - 39 студентов, это 16,1%, ничего не знают о них 28 студентов, это 11,6%, из учебной литературы - 16 студентов, это 6,6%, статьи -12 студентов, это 5% и другие источники - 10 студентов, это 4,1%.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|



Диаграмма 5. Оценка ночных линз по 5-бальной шкале

По результатам опроса студентов «оценка ночных линз по 5-бальной шкале» мы выяснили, что 26 студентов (56,5%) – поставили 5 баллов, 9 студентов (19,6%) - 4 балла и они имеют положительный результат в ношении ночных линз, но также есть небольшой процент людей, которым не подходят ночные линзы - 2 студента (4,3%) - 3 балла, 2 студента (4,3%) - 2 балла и 7 студентов (15,2%) - 1 балл.

Заключение. Ортокератологический метод коррекции зрения - это способ коррекции дальнозоркости, близорукости или астигматизма с помощью специальных линз, которые надеваются только на ночь. Рекомендуется детям от 6 лет с прогрессирующей миопией, взрослым людям с противопоказаниями к хирургическому вмешательству, лазерной коррекции или другим видам оптики и пациентам, которые не могут носить дневные линзы или очки из-за специфики профессии или по другим причинам. [2]

По итогам опроса среди студентов ВГМУ им. Н. Н. Бурденко стало понятно, что большинство студентов (79,4%) знает о существовании ночных линз, но не применяют их. Предпочитают опрошенные более всего носить очки или дневные линзы, так как эти способы коррекции являются более дешевыми и простыми в использовании. Метод коррекции ночными линзами не получил широкого распространения среди студентов медицинского университета.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

References

1. Усенко В.А., Абсатарова Н.А., Юнусов М.А. Особенности клинико-структурных изменений глаз при близорукости с применением ортокератологических линз // Медицина: теория и практика. 2024. Т. 9. № 3.

2. Мусаева Г.М. Анатомо-функциональные изменения роговицы при контактной коррекции миопии жесткими линзами: диссертация на соискание учен. степени кандидата мед. наук / Г.М. Мусаева. – 2022.

3. Сенгаева М.Д. Оптимальные методы коррекции миопии у пациентов возрастной категории старше 35 лет: диссертация кандидата медицинских наук / М.Д. Сенгаева. - 2021. - 130 с. (автореферат диссертации). - Москва, ВАК РФ.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 616.8 - 008:64 - 057.875.

Eremina M.A., Eremina A.A., Ryabov A.A., Bogacheva E.V. Why Medical Students Fear the Exam: A Study of Anxiety and Its Mental Consequences

Почему студенты медицинских вузов боятся сессии: исследование тревожности и ее последствий для психики

Eremina Maria Andreevna
3rd year medical student, group 326,
Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko
Eremina Anastasia Andreevna
3rd year medical student, group 326,
Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko
Ryabov Andrey Alekseevich
3rd year medical student, group 326,
Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko
Bogacheva Elena Vasilevna
Ph.D, Associate Professor
Department of Management in Health Care Department,
Voronezh State Medicai University named after N.N. Burdenko
Еремина Мария Андреевна
студентка лечебного факультета, 3 курса, группа 326, Воронежского государственного медицинского университета имени Н.Н. Бурденко
Еремина Анастасия Андреевна
студентка лечебного факультета, 3 курса, группа 326, Воронежского государственного медицинского университета имени Н.Н. Бурденко
Рябов Андрей Алексеевич
студент лечебного факультета, 3 курса, группа 326, Воронежского государственного медицинского университета имени Н.Н. Бурденко
Богачёва Елена Васильевна
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры Управления в здравоохранении,
Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко

Abstract. *The article is devoted to the study of the level of anxiety among medical students during the exam session and its impact on the psychological state of students. The relevance of the study is due to the high requirements of modern medical education, the need for emotional stability and responsibility among medical students. The article analyzes the causes of increased anxiety, such as fear of failure, heavy workload, and lack of time to recover. The study reveals the negative impact of stress on the mood, motivation, cognitive abilities, and overall well-being of medical students. Special attention is given to the study of the specific effects of the exam session on the mental state of medical students. The study was conducted by surveying students at the Burdenko Voronezh State Medical University. Correlations were established between the level of anxiety and the decrease in academic performance, the development of depressive conditions, and the overall quality of life among students.*

Keywords: *anxiety, session, stress, support, mental health.*

Аннотация. *Статья посвящена исследованию уровня тревожности студентов медицинских вузов в период экзаменационной сессии и её влиянию на психологическое состояние обучающихся. Актуальность исследования обусловлена высокими требованиями современного медицинского образования, необходимостью*

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

эмоциональной устойчивости и ответственности студентов-медиков. Анализировались причины повышенной тревожности, такие как страх неудачи, большая нагрузка и нехватка времени для восстановления сил. Выявлено негативное воздействие стресса на настроение, мотивацию, когнитивные способности и общее самочувствие студентов. Особое внимание уделено изучению особенностей влияния периода сессии на психику студентов-медиков. Исследование проводилось методом опроса среди студентов Воронежского государственного медицинского университета имени Бурденко. Установлены корреляционные зависимости между уровнем тревожности и снижением эффективности учебы, развитием депрессивных состояний и общим качеством жизни учащихся.

Ключевые слова: *тревожность, сессия, стресс, поддержка, психическое здоровье.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

Актуальность. Психическое здоровье студентов медицинских вузов является важным аспектом, влияющим на их обучение и будущую профессиональную деятельность. [1] В последнее время наметилась тенденция к росту стрессовых расстройств среди студентов, при чем среди студентов медицинских вузов хронический стресс встречается чаще, чем в общей популяции. [2] Медицинское образование требует от студентов не только усвоения теоретических знаний, но и большой эмоциональной устойчивости. Период сессии в медицинских вузах представляет собой особый стрессовый этап, связанный с интенсивной учебной нагрузкой и высокой ответственностью перед профессией, от которой зависит здоровье и жизнь будущих пациентов. Причины повышенной тревожности у студентов включают страх неудачи, большое количество часов подготовки и недостаток времени для отдыха. В период сессии, когда возрастает нагрузка, уровень тревожности часто достигает критических значений. Это не только снижает учебную эффективность, но и отрицательно влияет на психоэмоциональное состояние, приводя к ухудшению настроения, развитию депрессивных симптомов, снижению самооценки и здоровья в целом, а также к значительному снижению качества жизни. В процессе обучения в ВУЗе студенты сталкиваются с множеством проблем и трудностей, которые вызывают у них чувство тревоги, что может негативно сказаться на уровневых характеристиках памяти и внимания. [3]

В современных условиях, когда проблемы ментального здоровья молодежи становятся все более актуальными, исследование факторов и последствий повышенной тревожности у студентов помогает разработать эффективные методы поддержки и профилактики ухудшения психического здоровья студентов медицинских вузов. Это может повысить качество жизни студентов и улучшить их результаты в учебе, что в итоге будет способствовать профессиональной стабильности и компетентности будущих врачей.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Целью работы является изучение уровеня тревожности студентов медицинских вузов в период сдачи экзаменов и оценка влияния этого состояния на их психоэмоциональное благополучие.

Задачи:

1. Провести анализ литературы по проблеме тревожности у студентов медицинских вузов.
2. Оценить уровень тревожности у студентов до, вовремя и после сессии.
3. Исследовать связь между тревожностью и изменениями в настроении, мотивации, когнитивных функциях студентов и общении с людьми.
4. Сформулировать практические рекомендации, направленные на снижение тревожности и поддержание психического здоровья в период экзаменов.

Материалы и методы исследования. В исследовании приняли участие студенты Воронежского государственного медицинского университета им. Бурденко разных курсов и факультетов. Для измерения уровня тревожности в разные периоды сессии и для оценки психоэмоционального состояния было проведено анкетирование студентов. Был проведен сравнительный анализ результатов с учетом пола, возраста, курса обучения и других факторов.

Выявлена тесная взаимосвязь между интенсивностью тревожности и ухудшением психоэмоционального состояния.

Результаты. Исследование проводилось среди студентов Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко. В опросе приняли участие 107 человек разных возрастов, разных курсов и факультетов. Среди общего количества респондентов, прошедших опрос, женщин 81, мужчин 26.

Студентам был задан вопрос: «Как бы вы оценили уровень тревожности в период самой сессии?» (который нужно было оценить по пятибалльной шкале) Результаты показали, что значительная часть студентов - около 60 человек (56,1%) - испытывает высокий уровень тревожности именно в период самой сессии. 29 человек (27,1%) оценили уровень своей тревожности в 4 балла. 14 человек (13,1%) сказали, что испытывают средний уровень тревоги в период самой сессии, что оценивается в 3 балла. 2 человека (1,9%) оценили тревожность в 2 балла. В 1 балл уровень тревожности в период самой сессии оценили также 2 человека (1,9%) (Диаграмма 1).

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|



Диаграмма 1. Уровень тревожности в период сессии.

Были выявлены симптомы, которые проявляются у студентов в период сессии, и частота их проявления. Студенты отвечали на следующий вопрос: «Какие симптомы тревожности вы обычно испытываете?» Результаты показали, что страх испытывает 82 человека (26,5%). Следующий симптом, который испытывают студенты очень часто, это нервозность. Частота встречаемости среди студентов составила 23,2%, что соответствует 72 людям. Учащенное сердцебиение испытывают 65 человек (21%). Трудности с концентрацией встречаются у 62 студентов (20%). Потливость испытывают 29 человек (9,4%) (Диаграмма 2).

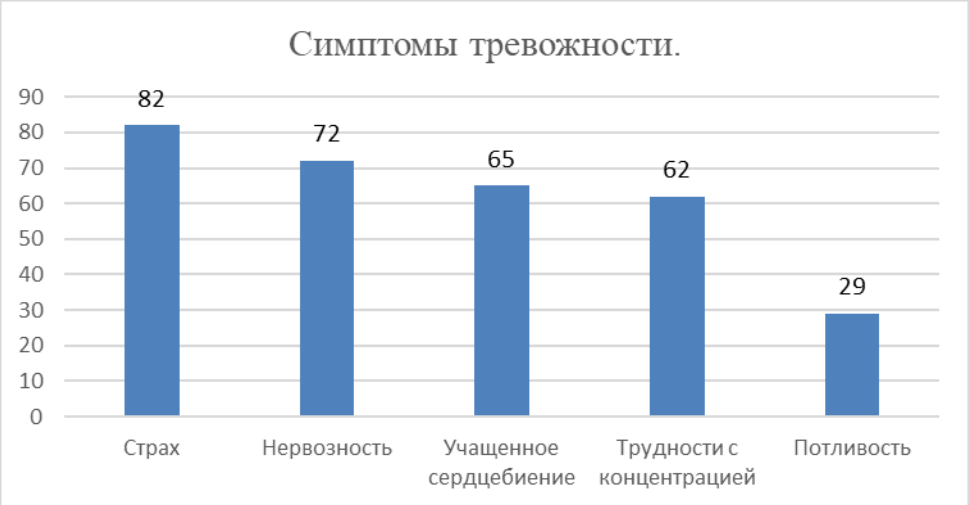


Диаграмма 2. Симптомы тревожности.

По данным ответов на вопрос: «Как бы вы оценили свой уровень тревожности за месяц до сессии?», установлено, что 13 студентов (12,1%) испытывают высокий уровень

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

тревоги, задолго до сессии, что указывает на необходимость оказания поддержки этой группе людей. Длительная повышенная тревожность может существенно негативно сказаться на результатах экзаменов и психологическом состоянии студентов. 23 человека (21,5%) оценили свой уровень стресса за месяц до сессии на 4 балла. Большинство студентов, а именно 46 человек (43%) ответили, что их тревожность оценивается в 3 балла. Эти студенты находятся в зоне риска, что также требует внимания со стороны преподавателей и служб психологической поддержки. 15 человек (14%) практически не испытывает тревогу перед сессией, это 2 балла. А 10 человек (9,3%) испытывают минимальный уровень тревоги, это 1 балл. (Диаграмма 3).



Диаграмма 3. Уровень тревожности за месяц до сессии.

По данным ответов на следующий вопрос: «Как бы вы оценили свой уровень тревожности после окончания сессии?», установлено, что количество студентов с высоким уровнем тревожности после сессии значительно снижается – 2,8% (3 человека). На 4 балла уровень своей тревожности оценили 5 студентов (4,7%). Средний показатель был зарегистрирован у 15 человек (14%). Практически не испытывают тревогу (2 балла) – 35 человек (32,7%). Минимальный уровень тревоги (1 балл) испытывает 49 человек (45,8%). (Диаграмма 4).

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|



Диаграмма 4. Уровень тревожности после сессии.

Исследование также показало, что уровень тревожности напрямую коррелирует с ухудшением настроения и снижением мотивации к учёбе.

По данным исследования, была выявлена следующая закономерность: сессионный период очень сильно влияет на качество жизни, вызывает апатию, снижение мотивации к учебе, сопровождается сильной усталостью. На вопрос: «Чувствуете ли вы усталость, апатию или снижение мотивации к учебе?», 88 студентов (82,2%) ответили положительно, 19 человек (17,8%) отрицают наличие данных симптомов.

По данным ответов на вопрос: «Влияет ли тревожность на качество вашего сна и отдыха?» 74 студента (69,2%)ответили, что испытывают проблемы со сном, 33 человека (30,8%) ответили, что тревожность никак не отражается на качестве их сна и отдыха.

На вопрос: «Бывают ли у вас приступы паники или сильного волнения?», 80 студентов (74,8%) ответили положительно, 27 человек (25.2%) отрицают наличие приступов паники и сильного волнения в период сессии.

По результатам ответов на вопрос: «Замечаете ли вы, что тревожность мешает вам сосредоточиться на учебе?» установлено: 83 студента (77,6%) отмечают, что им тяжело сосредоточится на учебе из-за высокого уровня тревоги в период до сессии и во время нее, 24 человека (22,4%) ответили отрицательно.

Результаты исследования также показали, что есть студенты, которые активно занимаются поддержанием своего психического состояния. На вопрос: «Есть ли у вас опыт обращения к психологу или психотерапевту?» 22 человека (21%) ответили, что когда-либо обращались к данным специалистам. Это свидетельствует о том, что для

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

некоторых студентов психологическое благополучие является важным критерием хорошей жизни и успешной сдачи экзаменов. Данные опроса также показали, что 85 человек (79,4%), никогда не обращались за психологической поддержкой.

Проанализировав ответы на следующий вопрос: «Отражается ли ваше психологическое состояние на отношениях с близкими?», выяснилось, что больше половины студентов, 55 человек (51,4%), испытывают проблемы в общении с родными. 52 студента (48,6%) ответили, что не замечали, что их психологическое состояние как-либо образом отражается на отношениях с близкими.

В результате опросе было выяснено какие способы для борьбы со стрессом используют студенты в период сессии. Был задан следующий вопрос: «Как вы справляетесь с волнением и стрессом во время сессии?» Полученные данные говорят о том, что для большинства, 67 человек (25,3%), главным методом расслабления, является общение с друзьями, 62 студента (23,4%) предпочитают просто отдых, 56 человек (21,1%) выбирают просмотр сериала, как способ борьбы со стрессом, 33 студента (12,5%) выбирают занятия спортом, чтение книг предпочитают 26 человек (9,8%), 21 человек (7,9%) выбирают для себя другие способы. (Диаграмма 5).



Диаграмма 5. Способы преодоления стресса во время сессии.

Качественный отдых может снизить уровень тревоги, повысить концентрацию и мотивацию учиться. Отдых является просто необходимой составляющей психоэмоционального благополучия и напрямую оказывает влияние на успеваемость будущих врачей.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Заключение. В ходе нашего исследования, было выявлено, что наибольший уровень стресса студенты испытывают в период сессии – это 56,1%. Также выявлено, что 1,9% из опрошенных студентов практически не испытывают стресс в период сессии, они оценили его в минимальный балл. Помимо этого, установлено, что 69,2% студентов, прошедших опрос, наблюдали у себя нарушения со сном.

Повышенная тревожность в период сессии оказывает существенное негативное влияние на психоэмоциональное состояние студентов медицинских вузов. Высокий уровень стресса – это значимый фактор, который влияет на усвоение знаний и психическое здоровье будущих врачей. Повышенная тревожность снижает концентрацию и память, ухудшает экзаменационные показатели и повышает риск профессионального выгорания. Решение этой проблемы возможно через комплексный подход, включающий диагностику, психологическую поддержку и оптимизацию учебного процесса. Такие меры способствуют улучшению самочувствия и учебных результатов будущих специалистов. Важно признавать тревожность как объективную проблему и включать её профилактику в учебные программы. Поддержка и создание безопасной обратной связи способствуют снижению тревожности у студентов.

References

1. Присакару М.Н., Дерягина Л.Е., Булатецкий С.В., Одегов А.К. Оценка психологического профиля студентов медицинского вуза при информационном психоэмоциональном стрессе и разных уровнях тревожности // Вестник психофизиологии. 2024. № 4 С. 12-20.

2. Калиновская А.А., Синенко Е.А., Грачева А.Е., Кузнецова О.А. Тревожность и академический стресс в процессе обучения в вузе у студентов-медиков. //Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. 2025. №3. С. 5-14.

3. Стурова Е., Степанова И., Гармашова Е., Овчинникова А. Выраженность тревожности и тревоги у студентов медицинского университета с различным уровнем физической активности // Здоровье человека, теория и методика физической культуры и спорта, 2023. Т. 30, № 2. С. 42-48.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 616.379-008.64

Kazakova S.R. Genetic and environmental factors in the development of diabetes mellitus

Генетические и экологические факторы развития сахарного диабета

Kazakova Sofia Romanovna,
10th grade student
Academic Supervisor: **Savelova Marina Anatolyevna**,
Biology Teacher
State Budgetary General Education Institution School No. 639
Nevsky Administrative District, St. Petersburg
Казакова София Романовна,
ученица 10 «А» класса
Научный руководитель: Савелова Марина Анатольевна,
учитель биологии
Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение школа № 639
Невского административного района г. Санкт-Петербурга

Abstract. *This report draws the attention of the medical community to the combined genetic and environmental factors involved in the development of diabetes.*

The primary objective of this study is to identify and analyze the role of genetic and environmental factors in the development of diabetes and to establish their complexity.

Diabetes mellitus, in its epidemic proportions, is not so much a genetic fate as a consequence of the mismatch between the established genotype and modern lifestyle. Future efforts should focus on integrating genetic data into clinical practice to implement the concept of effective prevention capable of halting the global diabetes pandemic.

Keywords: *Diabetes mellitus, genetic factors, environmental factors, development risk, insulin, biochemical testing.*

Аннотация. *Настоящий доклад обращает внимание представителей медицинского сообщества в области здравоохранения на генетические и экологические факторы развития сахарного диабета в совокупности.*

Основная цель данной работы: выявить и проанализировать роль генетических и экологических факторов в развитии сахарного диабета, установить их комплексность.

Сахарный диабет, в своем эпидемическом масштабе, является не столько генетической судьбой, сколько следствием несоответствия между сформированным генотипом и современным образом жизни. Дальнейшие усилия должны быть сосредоточены на интеграции генетических данных в клиническую практику для реализации концепции рабочей профилактики, способной остановить глобальную пандемию диабета.

Ключевые слова. *Сахарный диабет, генетические факторы, экологические факторы, риск развития, инсулин, биохимические исследования.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

Актуальность темы носит комплексный характер:

1. Научная актуальность: раскрытие механизмов взаимодействия генома и среды находится на переднем фоне биомедицинских исследований.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

2. Клиническая актуальность: понимание этих механизмов необходимо для ранней диагностики, определения типов сахарного диабета, прогнозирования развития, а самое главное для эффективной профилактики возникновения и развития заболевания.

3. Социально-экономическая актуальность: борьба с глобальной пандемией диабета невозможна без выявления и коррекции управляемых факторов (экологических) у генетически предрасположенных лиц, что является наиболее реальной стратегией для систем здравоохранения.

Исследование генетических и экологических факторов развития сахарного диабета — это не просто академический интерес, а насущная необходимость для улучшения качества жизни миллионов людей во всем мире.

Гипотеза: возникновение сахарного диабета может быть связано с некоторыми наследственными генами, передающимися из одного поколения в другое и/или с воздействием на человека внешних экологических факторов (например, отсутствие физической активности, неправильное питание) и образа жизни (например, избыток стресса, жизнь в загрязненной окружающей среде). Развитие сахарного диабета (как 1-го, так и 2-го типа) является результатом сложного взаимодействия генетической предрасположенности и факторов окружающей среды. В соответствии с поставленной целью и сформулированной гипотезой были определены следующие задачи исследования:

1. Провести системный анализ научной литературы для определения спектра ключевых генетических маркеров.

2. Классифицировать и оценить влияние экологических факторов (образ жизни, окружающая среда). Проанализировать представления о механизмах взаимодействия генетической предрасположенности и факторов окружающей среды в патогенезе сахарного диабета.

3. Оценить распространенность ведущих факторов риска (наследственность, ожирение, характер питания, стресс) при анализе пациентов с сахарным диабетом.

4. Оценить вклад генетических и экологических факторов в риск развития заболевания, определить, какой из компонентов (наследственность или образ жизни) является доминирующим для разных типов диабета в изучаемом исследовании.

5. На основе полученных данных разработать рекомендации по профилактике и ранней диагностике заболевания.

Объект исследования: этиология и патогенез сахарного диабета.

Предмет исследования: взаимодействие генетических и экологических факторов в развитии сахарного диабета 1 и 2 типа.

Введение. По данным Всемирной Организации Здравоохранения (далее – ВОЗ) имеет место следующее определение сахарного диабета - это серьезное хроническое заболевание, которое развивается, когда поджелудочная железа не вырабатывает

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

достаточно инсулина (это гормон, регулирующий содержание сахара в крови, или глюкозы), или когда организм не может эффективно использовать выработанный им инсулин. Современная наука всё же определяет сахарный диабет как заболевание, этиология которого основана на сложном взаимодействии генетической предрасположенности и факторов окружающей среды. При этом механизмы и характер этого взаимодействия принципиально различаются для двух основных типов заболевания.

- Сахарный диабет 1 типа традиционно рассматривается как аутоиммунное заболевание, при котором наследственная предрасположенность определяет индивидуальный риск, а факторы окружающей среды (вирусные инфекции, особенности диеты в раннем возрасте, гигиенические условия) выступают как запускающие процесс разрушения инсулин-продуцирующих бета-клеток поджелудочной железы.
- Сахарный диабет 2 типа, на долю которого приходится более 90% всех случаев, является наглядным примером «болезни цивилизации». Заболевание происходит под мощным влиянием экзогенных факторов: несбалансированного питания, приводящего к ожирению, хронического стресса и старения.

По данным Международной диабетической федерации [1], в 2021 году во всём мире диабетом страдали 537 миллионов человек в возрасте от 20 до 79 лет. Это составляет 10,5 % мирового населения в этой возрастной группе. По прогнозам, к 2045 году общее число взрослых с этим заболеванием увеличится до 787 миллионов (12,2 % мирового населения).

Изучение в совокупности генетических и экологических факторов развития сахарного диабета помогает бороться с ростом заболевания, тем самым повышая эффективность профилактических мероприятий.

Генетические маркеры сахарного диабета. Исследования выявили наличие на различных хромосомах многочисленных локусов, участвующих в наследственной передаче предрасположенности к сахарному диабету I типа (аутоиммунного), главным из которых является локус IDDM1. Его значимость рассмотрена в работе Чистякова Д.А. и Дедова И.И. [2]. Предрасположенность с высокой степенью риска к развитию СД 1 сочетается с гаплотипами DR3 и DR4. Предрасположенность с умеренной степенью риска сочетается с гаплотипами HLA: DR1, DR8, DR9, DR10. Предрасположенность с низкой степенью риска сочетается с гаплотипами DR2 и DR5. Относительно сахарного диабета II типа (полигенного) обнаружено около 20 генов, полиморфизмы в которых являются факторами риска возникновения генетического сахарного диабета данного типа, среди которых гены функции β-клеток и секреции инсулина; гены действия инсулина и инсулинорезистентности и иные генетические маркеры (ген ADIPOQ, ген HHEX, ген UCP2, который кодирует белок-регулятор).

Экологические факторы развития сахарного диабета. Экологические факторы развития сахарного диабета можно классифицировать по степени доказательности и

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

оказания влияния. К высокому уровню доказательности относят модифицированные факторы образа жизни человека. К таким факторам относятся: питание (нерациональное, употребление кофе, чая, алкоголя); курение; отсутствие физической активности (неподвижный образ жизни).

Фактор	Механизм влияния	Оценка влияния (Относительный риск)	Взаимодействие с генами
Ожирение и висцеральный жир	Инсулинорезистентность, хроническое воспаление	50-80% случаев СД2. Ключевой драйвер эпидемии.	У носителей рисковых генов *FTO* и *TCF7L2* ожирение многократно увеличивает риск по сравнению с носителями тех генов без ожирения
Отсутствие физической активности, неподвижный образ жизни	Снижение утилизации глюкозы мышцами, накопление висцерального жира.	Регулярная физическая активность (150 мин/нед) снижает риск на **30-40%**. Сидячий образ жизни в разы увеличивает развитие диабета. В одном исследовании каждый час просмотра телевизора увеличивал риск развития диабета в течение 3,2 года на 3,4 %.	Физическая активность может **ослабить влияние генетической предрасположенности** (генетического риска). То есть, занятия спортом могут влиять на работу генов, регулирующих метаболизм, восстановление и адаптацию к физическим нагрузкам, и как следствие снизить влияние негативных генетических факторов
Питание	Избыток калорий, насыщенных жиров, трансжиров, рафинированных углеводов, дефицит клетчатки, содержание в пище или воде токсичных веществ, таких как нитритов, нитратов и нитрозаминов.	Диета с высоким гликемическим индексом. Высокое потребление клетчатки: снижение риска на 20-30%. Эпидемиологические исследования показывают, употребление более трёх чашек кофе в день, риск развития СД2 снижается на 10–15%. Риски, связанные с употреблением алкоголя, зависят от дозы	**Ген-диета:** У носителей гена *TCF7L2* риск выше при низком потреблении клетчатки. Вариант *GCKR* модулирует влияние углеводов.
Курение	Окислительный стресс, воспаление, инсулинорезистентность.	Активное курение: **~10%** случаев СД2.	Усиливает риск у лиц с генетической предрасположенностью к сердечно-сосудистым осложнениям.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Фактор	Механизм влияния	Оценка влияния (Относительный риск)	Взаимодействие с генами
Нарушение циркадных ритмов организма (недосып, нарушение сна)	Нарушения в выработке и контроле уровня кортизола, гормона, вырабатываемого корой надпочечников, лептина, мелатонина; повышение инсулинорезистентности.	Работа в ночную смену >10 лет. Недосып (<6 ч). Самый низкий риск развития диабета наблюдается при продолжительности сна 7–8 часов в сутки	Взаимодействие с полиморфизмами «часовых» генов. «Часовые» гены обеспечивают соответствие состояния организма суточным (циркадным) циклам изменений условий его существования. К таким генам относятся: CLOCK, BMAL1, PER, CRY

Следует также отметить и некоторые специфические факторы, к которым относятся:

• Вирусные инфекции (энтеровирусы Коксаки В, ротавирус). Например, научно доказано, энтеровирусная инфекция, перенесённая во время беременности или на протяжении жизни ассоциирована с появлением островкового аутоиммунитета и СД1.

• Дефицит витамина D: Иммуномодулирующая роль. Витамин D имеет регулирующую функцию в секреции инсулина, выживании бета-клеток и потоке кальция в бета-клетках поджелудочной железы. Потребление витамина D на ранних этапах жизни снижает риск развития СД 1.

Материалы и методы. В соответствии с намеченной целью и поставленными задачами, применены теоретические и эмпирические методы исследования.

Подлежали исследованию собранные теоретические сведения, результаты диагностического исследования пациентов (8 человек), анализ собранных данных и сведений на предмет выявления наиболее значимых факторов при установлении диагноза «сахарный диабет».

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Краткая характеристика пациентов

Пациент (возраст, тип СД)	Продолжительность жизни с СД	Симптомы СД	Метод исследования (клиника)	Факторы возникновения и развития СД	Профилактика СД
Пациент 1 (65 лет, СД2)	18 лет	Сильная жажда; Ощущение сухости во рту	Клинический анализ крови	Приобретенный	Принимает лекарственные препараты, соблюдает диету, имеет стабильную физическую активность
Пациент 2 (16 лет, СД1)	5 лет	Сильная жажда; Ощущение сухости во рту; Частая отдышка; Слабость; Аритмия; Потеря веса	Обследование при госпитализации после жалоб на плохое самочувствие	Наследственный (имелась предрасположенность от 2 представителей 2 степени родства)	Контролирует питание (прием пищи в определенное время), меряет сахар, внутримышечно принимает препараты перед каждым приемом пищи
Пациент 3 (15 лет, СД1)	13 лет	Сильная жажда; Ощущение сухости во рту; слабость	Пациент был в шаге от диабетической комы, по симптомам смогли определить заболевание и обратились к врачу	Приобретенный	Контролирует питание, пользуется инсулиновой помпой, принимает препараты
Пациент 4 (66 лет, СД2)	2 года	Сильная жажда; ощущение сухости во рту; зуд	Клинический анализ крови	Наследственный (имелась предрасположенность у одного представителя 2 степени родства)	Контролирует питание, принимает препараты
Пациент 5 (87 лет, СД2)	2 года	Симптомов не было	Клинический анализ крови	Приобретенный	Контролирует питание, принимает препараты
Пациент 6 (78 лет, СД2)	2 года	Слабость	Клинический анализ крови	Приобретенный	Контролирует питание, принимает препараты
Пациент 7 (76 лет, СД2)	20 лет	Ожирение, постоянная жажда, зуд, чувство голода, сбит режим сна	Клинический анализ крови	Приобретенный	Не контролирует питание (из-за чего ухудшается состояние), принимает препараты
Пациент 8 (89 лет, СД2)	30 лет	Слабость, жажда, жар	Клинический анализ крови	Приобретенный	Контролирует питание, принимает препараты

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Результаты и обсуждения исследования.

Проанализировав данные пациентов и показатели их анализов, изучив теоретические сведения гипотеза подтверждена относительно того, что генетические и экологические факторы имеют между собой прямую неразрывную связь. В форме таблицы представлены результаты исследования.

Пациент	Генетическая предрасположенность (факторы)	Общие симптомы	Экологические факторы
1	Нет	Сильная жажда; усталость	Малоподвижный образ жизни; стресс
2	Два представителя 2 степени родства с приобретенным СД 2	Сильная жажда; усталость	Хронический стресс
3	Нет	Сильная жажда; усталость	Сильный стресс; перенесенная инфекционная болезнь
4	Есть	Сильная жажда; усталость	Малоподвижный образ жизни; проблемы со здоровьем; стресс
5	2 года	Слабость	Малоподвижный образ жизни
6	20 лет	Ожирение, постоянная жажда, зуд, чувство голода, сбит режим сна	Малоподвижный образ жизни, стресс
7	30 лет	Слабость, жажда, жар	Малоподвижный образ жизни, стресс
8	2 года	Слабость	Малоподвижный образ жизни

В исследуемой популяции (пациенты 2,4) доминирующим компонентом риска развития при высокой степени наличия генетической предрасположенности (причем, не обязательно от родственников 1 степени родства) развитие сахарного диабета подкрепляется такими экологическими факторами, как хронический стресс и малоподвижный образ жизни. Генетическая предрасположенность модулирует индивидуальную восприимчивость к образу жизни, но не является ведущей причиной в общем.

Относительно пациентов 1,3, 5, 6, 7, 8 при отсутствии предрасположенности, движущим рычагом развития является малоподвижный образ жизни, стресс, а также безусловно развитие детерминировано генетической предрасположенностью.

Факторы окружающей среды (вирусные инфекции, стресс, неподвижный образ жизни), несомненно, играют роль триггеров, запускающих аутоиммунный процесс, а также самостоятельный популяционный вклад в развитие данного заболевания.

Заключение. Проведенное комплексное исследование генетических и экологических факторов развития сахарного диабета подтвердило гипотезу о том, что

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

этиология заболевания представляет собой результат не простого суммирования, а сложного взаимодействия наследственной предрасположенности и факторов окружающей среды. Механизмы и доминирующие компоненты этого взаимодействия могут различаться для основных типов диабета, что имеет значение для разработки профилактических стратегий.

• Роль генетики: наследственная предрасположенность, определяемая как семейным анамнезом, создает индивидуальную восприимчивость.

• Роль среды: факторы окружающей среды (вирусные инфекции, стресс, малоподвижный образ жизни) выступают в качестве необходимых триггеров, запускающих аутоиммунный процесс у генетически предрасположенных лиц, а также могут выступать самостоятельным провоцирующим фактором, усиливающим риск возникновения и развития сахарного диабета.

Результаты исследования позволяют перейти от общих представлений к конкретным действиям:

• Для системы здравоохранения: обоснована необходимость перехода от всеобщего к скринингу на сахарный диабет, фокусируя ресурсы на группах максимального комбинированного риска (стресс/малоподвижный образ + отягощенная наследственность). Кроме того, актуально целенаправленное наблюдение за родственниками больных.

• Для профилактики: следует применять двухуровневую модель профилактических вмешательств. Первичная профилактика сахарного диабета должна быть агрессивной и нацеленной на коррекцию модифицируемых факторов риска (программы психологической помощи населению, повышения физической активности), особенно у лиц с высокой степенью риска.

• Для персонализированной медицины: исследование подтверждает, что будущее диабетологии лежит в области генетического профилирования риска с необходимостью разработки индивидуальных превентивных рекомендаций по образу жизни.

76.29.37 Эндокринология медицинская. Расстройства питания и нарушения обмена веществ

76.01.05 Материалы общего характера

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

References

1. https://diabetesatlas.org/Международная федерация диабета (International Diabetes Federation, IDF)

2. Балаболкин М.И., Дедов И.И. Генетические аспекты сахарного диабета // Программные доклады по проблеме «Сахарный диабет в 21 веке», эндокринологический научный центр РАМН, Москва. - https://cyberleninka.ru/article/n/geneticheskie-aspekty-saharnogo-diabeta-1

3. Водолагин, М.В. Оценка влияния медико-социальных факторов на приверженность пациентов с сахарным диабетом к модификации образа жизни / М.В. Водолагин, Н.В. Эккерт, В.В. Козлов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2021. – Т.13(5). – С. 247-263.

4. Дедов И.И., Чистяков Д.А. Сахарный диабет. – 1999, 3(4), 52-56.

5. Зеленова О.В. Клинико-экономический анализ различных стратегий профилактики сахарного диабета 2 типа / О.В. Зеленова, М.Ф. Калашникова, Е.А. Крекнина и др. // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2020. – Т. 3. – С. 275-295.

6. Каракушикова А.С., Шортанбаев А.А. Ассоциации антигенов системы HLA первого класса у больных сахарным диабетом 1-го типа. // Современные подходы к диагностике и лечению в медицине: иммунологические и биохимические методы исследования: Матер. II Респуб. науч.-практ. конф. —Алматы. — 2001. — С. 28-29

7. Климонтов В. В., Солдатова Г. С. Профилактика сахарного диабета. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. 47 с.

8. Максимов А.Ю., Ширинкина А.С. Генетические факторы предрасположенности к сахарному диабету 2 типа // Вестник пфиц, Москва. – 2020.

9. Титович Е.В., Кураева Т.Л., Иванова О.Н., и др. Прогнозирование сахарного диабета 1 типа в семьях больных (проспективное 16-летние наблюдение). Акцент на будущее // Сахарный диабет. - 2014. - Т. 17. - №3. - С. 83-89

10. Хитарьян А.Г. Сахарный диабет 2 типа – симптомы и лечение // Сайт «Проболезни», Москва. – 2023.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 159.9.07

Petrova N.G., Murzabekova M.M. Personal characteristics of nurses and the effectiveness of their interactions with patients

Личные особенности медицинских сестер и эффективность их взаимодействия с пациентами

Petrova Natalia Guryevna
Doctor of Medical Sciences,
Head of the Nursing Department
First Academician I.P. Pavlov Saint Petersburg State Medical University
Murzabekova Milana Magometovna
Candidate of Medical Sciences,
Associate Professor of the Nursing Department
First Academician I.P. Pavlov Saint Petersburg State Medical University
Петрова Наталия Гурьевна,
Доктор медицинских наук, заведующий кафедрой сестринского дела
Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова
Мурзабекова Милана Магометовна
Кандидат медицинских наук, доцент кафедры сестринского дела
Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова

Abstract. *One of the conditions for ensuring the proper quality of medical care, particularly nursing care, is effective interaction between medical staff and patients. This is achieved through a number of factors, including certain personal (psychological) qualities of staff. The results of an analysis of some of these qualities, using specialized methods, are presented in the article.*

Keywords: *nurses, patients, interaction, psychological characteristics*

Аннотация. *Одним из условий обеспечения должного качества медицинской, в частности сестринской помощи, является эффективное взаимодействие медицинского персонала с пациентами. Оно достигается при наличии ряда условий, включая наличие определенных личностных (психологических) качеств сотрудников. Результаты анализа некоторых из них с использованием специальных методик приведены в статье.*

Ключевые слова*: средний медицинский персонал, пациенты, взаимодействие, психологические особенности*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

Профессионализм среднего медицинского персонала предполагает наличие у него не только глубоких знаний и специальных навыков, которые позволяют решать профессиональные задачи, но и определенных психологических характеристик, личностных особенностей, которые дают возможность конструктивно взаимодействовать с пациентами, предотвращать возможные конфликты, связанные и с процессом лечения, и с проблемами недостаточно эффективного взаимодействия [1-3].

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Для разработки практических рекомендаций по повышению уровня взаимодействия медицинских сестёр с пациентами поликлиники нами было проведено двухэтапное исследование, включавшее опрос пациентов (150 чел.) о характере взаимоотношений с сестрами и психологическое тестирование среднего медицинского персонала (50 чел.). В первом случае использовалась разработанная нами анкета, которая предлагалась для заполнения пациентам поликлиники. Для оценки психологических качеств медицинских сестер использовался 16 – факторный опросник Кеттелла, позволяющий выявить такие личностные особенности, как эмоциональность, уровень саморегуляции, коммуникативная активность, тревожность, зависимость от группы, умение справляться с трудными жизненными ситуациями.

По результатам анкетирования пациентов все медицинские сестры были разделены на три группы. Наиболее многочисленную из них (40,0% от общего числа оценивавшихся медицинских сестер) имеют средний уровень эффективности взаимодействия с пациентами. Они в целом владеют приемами общения, достаточно доброжелательны, но не всегда изъясняются понятно для пациентов, негибки в общении, не способны найти индивидуальный подход к пациенту. Как высокоэффективные во взаимодействии с пациентами были оценены 36,0% медицинских сестер. С таким медицинскими сестрами пациентам нравится общаться, они отмечают доброжелательность, внимательность, способность быстро решить проблему конкретного пациента и получить полную и понятную информацию. Низкоэффективными во взаимодействии оказались 24,0% сестер. Они недостаточно внимательны и гибки, информация, которую они стремятся донести до пациента, последним непонятна, о них формируется впечатление как о некомпетентных специалистах, не способных оказать необходимую помощь и поддержку.

Далее в каждой из изученных групп мы провели тестирование для выявления выраженности различных личностных качеств. В таблице 1 приведен процент сестер с низкой долей выраженности перечисленных факторов в двух сравниваемых группах: первой, имеющей средний уровень взаимодействия, и второй – с низким уровнем взаимодействия. Отметим, что практически по всем факторам имеются выраженные отличия в обеих группах. Например, если доля сестер, отличающихся обособленностью (отчужденностью) (фактор А) во второй группе составляет 66,7%, то в первой – только 10,0% ($p=0,027$). Низкой эмоциональной устойчивостью (фактор С) отличаются 50,0% сестер второй и 20,0% - первой группы. Сестрам с низким уровнем взаимодействия в большей степени свойственны такие черты, как зависимость, озабоченность, недобросовестность, робость наряду с жесткостью, практичность с наивностью и самоуверенностью, консерватизм, зависимость от группы, определенная расслабленность. Сестры со средним уровнем взаимодействия отличаются более высоким интеллектом, склонностью к чувству вины при некоторой напряженности. Важно отметить также, что в группе сестер с высоким уровнем взаимодействия отсутствовали низкие оценки по всем перечисленным факторам. Большинство из них

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

добродушны, легки в общении, эмоциональны, готовы к сотрудничеству (у 55,6% высокий уровень выраженности фактора A); требовательны к себе, руководствуются чувством долга, настойчивы, берут на себя ответственность, добросовестны (у 55,6% высокий уровень выраженности фактора G). То есть, медицинские сестры с низким уровнем эффективности взаимодействия эмоционально неустойчивы, замкнуты, сконцентрированы на своих проблемах, они добросовестно выполняют свою работу, но не отличаются душевностью, чуткостью. А медицинские сестры с высоким и средним уровнем эффективности взаимодействия с пациентами отличаются общительностью, социальной активностью, сестры с высоким уровнем эффективности взаимодействия с пациентами также обладают ответственностью и развитым чувством долга.

Таким образом, следует констатировать, что большую эффективность во взаимодействии с пациентами имеют медицинские сестры, которые прямолинейны и честны с пациентами, при этом общительны, способны контролировать свои эмоции, проявлять внимание и оказывать поддержку другим. Дипломатичность более выражена у медицинских сестер с низкой эффективностью взаимодействия с пациентами, при этом у них отмечается большая замкнутость и эмоциональная черствость, в совокупности эти качества могут создавать у пациентов ощущение неискренности, снисходительного отношения. Медицинские сестры с низкой эффективностью взаимодействия более практичны, чем медицинские сестры с высокой эффективностью. Важно учесть то или иное сочетание качеств у медицинских сестер с разной степенью эффективности взаимодействия. У высокоэффективных сестер практичность сочетается с чувствительностью, открытостью, что создает ощущение готовности наилучшим образом решить проблемы окружающих, активного участия. У медицинских сестёр с низкой эффективностью взаимодействия практичность сочетается с закрытостью, черствостью, подозрительностью что может формировать ощущение поиска личной выгоды, облегчения.

В целом проведенное исследование показало, что эффективность во взаимодействии с пациентами обусловлена личностными качествами медицинских сестер, среди которых можно выделить общительность, открытость, уверенность в себе, социальную активность, способность к контролю эмоций и деятельности, практичность, деятельность, простоту и прямолинейность.

С учетом полученных данных целесообразно рекомендовать руководителям сестринских служб совместно с психологом периодически изучать психологические характеристики подчинённых, влияющих на эффективность взаимодействия с пациентами, и своевременно принимать необходимые меры по повышению эффективности взаимодействия и устранению факторов, препятствующих этому; приглашать психолога для проведения занятий по эффективному взаимодействию с пациентами; использовать различные формы повышения квалификации по соответствующей тематике.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Таблица 1

Процент медицинских сестер с низкой долей выраженности отдельных факторов в группах сестер с разным уровнем взаимодействия с пациентами.

Факторы	Группа с высоким уровнем взаимодействия (1)	Группа с низким уровнем взаимодействия (2)
1. A (Доброта, сердечность/ Обособленность, отчужденность)	10,0	66,7
2. B (Высокий интеллект/ Низкий интеллект)	30,7	16,7
3. C (Эмоциональная устойчивость/ Эмоциональная неустойчивость)	20,0	50,0
4. E (Настойчивость, напористость/ Покорность, зависимость)	20,3	0,0
5. F (Беспечность/ Озабоченность)	10,1	33,3
6. G (Высокая совестливость/ Недобросовестность)	0	33,3
7. H (Смелость/ Робость)	10,0	33,3
8. I (Мягкосердечность, нежность/ Суровость, жесткость)	0	50,0
9. L (Подозрительность/ Доверчивость)	0	0,0
10. M (Мечтательность/ Практичность)	0	33,3
11. N (Искусственность, проницательность, расчетливость/ Безыскусственность, наивность, простота)	20,0	33,3
12. O (Склонность к чувству вины/ Самоуверенность, уверенная адекватность)	20,0	0,0
13. Q1 (Радикализм, гибкость/ Консерватизм, ригидность)	30,7	50,0
14. Q2 (Самодостаточность, самостоятельность/ Социабельность, зависимость от группы)	0	33,3
15 Q3 (Высокий самоконтроль поведения/ Низкий самоконтроль поведения)	30,0	33,3
16. Q4 (Напряженность/ Расслабленность)	10,0	0,0

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

References

1. Матвейчик Т.В. Медицинская сестра: личностные особенности, способствующие конфликту // Медицинская сестра. - 2022. - Т. 24, № 5.- С. 25-29.

2. Петрова Н.Г. Психологические аспекты взаимодействия среднего медицинского персонала с пациентами // International Journal of Medicine and Psychology. - 2019. - Т. 2, № 4. - С. 182-188.

3. Попова Л.В., Кацова Г.Б., Дмитриева М.К., Московцева Н.И. Коммуникационное взаимодействие и информационные технологии в работе медицинской сестры // В сборнике: Медицинское образование. Пути повышения качества. Сборник научных статей VI Всероссийской научно-педагогической конференции с международным участием, приуроченная к празднованию 80-летнего юбилея Оренбургского государственного медицинского университета. - Оренбург, 2024. - С. 368-372.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 616.61-003.84

Popov D.S., Perova A.O., Popytak E.A., Nemtsova M.I., Bogacheva E.V. Assessment of the level of awareness and knowledge of chronic glomerulonephritis among first- and third-year students of the N. N. Burdenko Voronezh State Medical University

Оценка уровня осведомлённости и информированности студентов первого и третьего курса ВГМУ им. Н. Н. Бурденко о хроническом гломерулонефрите

Popov Daniil Sergeevich
Student of the 3rd year, group L-326, Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko.
Perova Alexandra Olegovna
Student of the 3rd year, group L-326, Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko
Popytak Elizaveta Alekseevna
Student of the 3rd year, group L-326, Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko
Nemtsova Maria Ivanovna
Student of the 3rd year, group L-326, Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko
Bogacheva Elena Vasilevna
Ph.D, Associate Professor
Department of Management in Health Care Department, Voronezh State Medicai University named after N.N. Burdenko
Попов Даниил Сергеевич
Студент 3 курса, группы Л-326,
Воронежского государственного медицинского университета имени Н. Н. Бурденко.
Перова Александра Олеговна
Студентка 3 курса, группы Л-326,
Воронежского государственного медицинского университета имени Н. Н. Бурденко
Попытак Елизавета Алексеевна
Студентка 3 курса, группы Л-326,
Воронежского государственного медицинского университета имени Н. Н. Бурденко
Немцова Мария Ивановна
Студентка 3 курса, группы Л-326,
Воронежского государственного медицинского университета имени Н. Н. Бурденко
Богачёва Елена Васильевна
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры Управления в здравоохранении,
Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Abstract. *The article assesses the level of awareness and knowledge of chronic glomerulonephritis among first- and third-year students of the N. N. Burdenko Voronezh State Medical University. The relevance of the study is due to the high prevalence of the disease and frequent cases of late diagnosis, which requires improving the quality of medical training. The study involved a questionnaire survey of 216 students aimed at studying their knowledge about the causes, clinical manifestations, risk factors, and consequences of chronic glomerulonephritis. The results showed a satisfactory overall level of awareness, but a third of the respondents reported a lack of knowledge on the topic. The students demonstrated a good understanding of the risk factors and affected kidney structures, but irregular medical check-ups remain a problem. The identified gaps highlight the need for increased educational efforts in nephrology. The study confirms the importance of promoting early detection and prevention of kidney diseases.*

Keywords: *glomerulonephritis, students, awareness, disease, kidneys.*

Аннотация. *В статье проводится оценка уровня осведомлённости и информированности студентов первого и третьего курса ВГМУ им. Н. Н. Бурденко о хроническом гломерулонефрите (ХГН). Актуальность исследования обусловлена высокой распространённостью заболевания и частыми случаями поздней диагностики, что требует повышения качества медицинской подготовки. В рамках исследования было проведено анкетирование 216 студентов, направленное на изучение знаний о причинах, клинических проявлениях, факторах риска и последствиях хронического гломерулонефрита. Полученные результаты показали удовлетворительный общий уровень информированности, однако треть респондентов отметила недостаток знаний по данной теме. Студенты продемонстрировали хорошее понимание факторов риска и поражаемых структур почек, но нерегулярность прохождения диспансеризации остаётся проблемой. Выявленные пробелы подчеркивают необходимость усиления образовательной работы в области нефрологии. Исследование подтверждает важность формирования ранних профессиональных компетенций у будущих врачей как основы эффективной профилактики и диагностики заболеваний почек.*

Ключевые слова: *гломерулонефрит, студенты, информированность, заболевание, почки.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

Актуальность. Хронический гломерулонефрит остаётся значимой причиной хронической и острой почечной недостаточности, что повышает роль первичной профилактики и ранней диагностики. Основная проблема заключается в позднем выявлении данного заболевания, что приводит к явному ухудшению качества жизни пациентов. Студенты медицинских вузов — будущие врачи, их осведомлённость влияет на качество скрининга, раннюю диагностику и просвещение пациентов. Поэтому исследование уровня информированности студентов позволит оценить эффективность образовательного процесса и выявить возможные пробелы в подготовке будущих врачей [2].

Целью исследования является оценка уровеня осведомлённости и информированности студентов первого и третьего курса ВГМУ им. Н. Н. Бурденко о хроническом гломерулонефрите.

Задачи:

1.Изучить теоретические аспекты ХГН: эпидемиология, этиология, клинические проявления, диагностика, тактика наблюдения и профилактика.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

2.Разработать опросник/анкету для оценки знаний студентов.

3.Проанализировать результаты с точки зрения уровня знаний, различий по курсам, полу, клиническому опыту и источникам информации.

4. Сделать вывод об основных недостатках в знаниях.

Материалы и методы исследования:

1. Обзор литературы: анализ современных руководств, клинических рекомендаций и эмпирических исследований по ХГН.

2.Анкетирование/опрос: структурированная анкета с закрытыми и открытыми вопросами для количественной и качественной оценки знаний и источников информации.

3.Стратифицированная выборка: отбор студентов по курсам и специальностям для выявления различий.

4. Статистический анализ: описательная статистика, сравнение групп, анализ факторов, влияющих на уровень информированности студентов.

Результаты. В опросе приняли участие студенты первых и третьих курсов ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н. Н. Бурденко. Анкетирование прошли 216 человек. Из них обучающихся на первом курсе 90 (41,6%) человек, на третьем 126 (58,4%) человек. Основная доля респондентов – женщины 176 (81,5%) человек, мужчин 40 (18,5%). На вопрос «Знаете ли вы, что такое хронический гломерулонефрит?» 138 (63,9%) студентов ответили, что знают, оставшиеся 78 (36,1%) не имеют представления о нём. На вопрос: «Достаточно ли вы проинформированы о хроническом гломерулонефрите?» 77 (35,7%) человек ответили, что достаточно информированы, 78 (36,1%) - недостаточно информированы, не владеют информацией о заболевании 61 (28,2%) человек. На вопрос о прохождении ежегодной диспансеризации 99 (46%) студентов регулярно проходят диспансеризацию, иногда проходят 14 (6%) человек, не проходят 76 (35%). На вопрос: «У ваших родственников были заболевания почек?» 74 (34%) респондента ответили, что имеют семейный анамнез заболевания почек; не имеют в семейном анамнезе данных заболеваний 101 (47%) человек, не знают 41 (19%). На вопрос о факторах риска способствующих возникновению гломерулонефрита, генетическую предрасположенность выбрали 183 человека, постоянные присутствующие в организме вирусы 141 человек, переохлаждение 137 человек, общее снижение иммунитета 129 человек (Диаграмма 1).

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

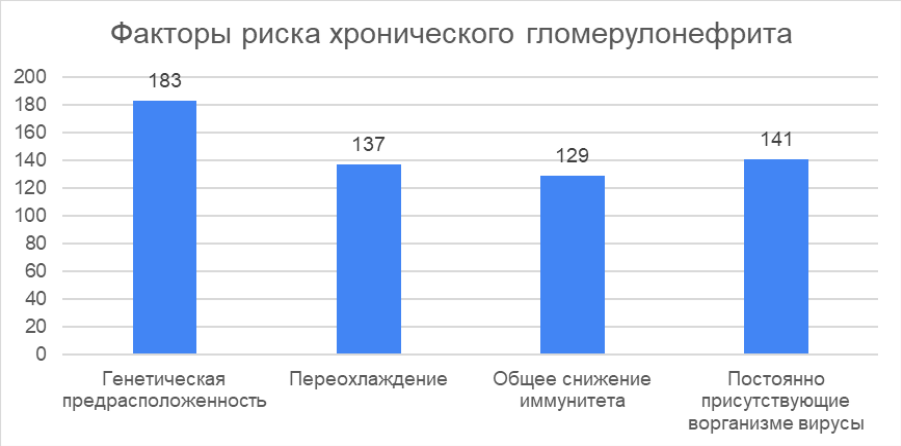


Диаграмма 1. Факторы риска хронического гломерулонефрита.

На вопрос: «Какая структура почек поражается при гломерулонефрите?» 139 (64,35%) респондентов отметили клубочки, 20 (9%) выбрали канальцы, 13(6%) указали, что строма, 16 (7%) ответили сосуды, 28 (13,65%) не знают (Диаграмма 2).



Диаграмма 2. Структура почек, поражаемая при хроническом гломерулонефрите.

На вопрос о последствиях гломерулонефрита, артериальную гипертензию назвали 160 человека, повреждение органов брюшной полости - 126 человек, одышку - 99 человек, нарушение координации - 90 человек, паралич конечностей - 86 человек, гипертензивную энцефалопатию - 47 человек (Диаграмма 3).

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

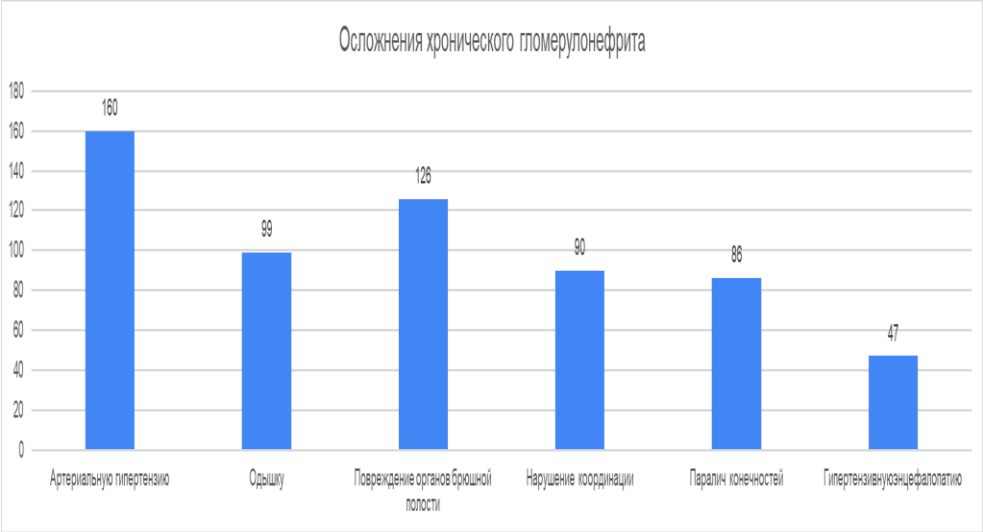


Диаграмма 3. Осложнения хронического гломерулонефрита.

На вопрос о наиболее частой причине возникновения гломерулонефрита, бактериальную инфекцию отметили 176 человек, вирусную инфекцию указывали 111 человек, генетическую предрасположенность выбрали 101 человек, паразитарную инфекцию называли 63 человека, аллергию 61 человек, токсические вещества 104 человека, не знаю 1 человек. (Диаграмма 4).



Диаграмма 4. Причины развития хронического гломерулонефрита.

Заключение: В опросе приняли участие преимущественно студенты 3 курса (58,4%), что может говорить о большей заинтересованности данной тематикой. Полученные данные демонстрируют удовлетворительный уровень знаний студентов медиков о хроническом гломерулонефрите: большинство респондентов (64,35%) верно

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

определили, поражаемую при данном заболевании структуру почек; из наиболее вероятных причин развития болезни основная часть опрошенных (28,53%) верно отметила ведущую роль бактериальных инфекций. Треть респондентов недостаточно информирована о данной патологии, что указывает на необходимость введения дополнительной образовательной работы на тему заболеваний почек. Большинство участников осведомлены о причинах и последствиях, но не всегда регулярно проходят профилактические обследования. Рекомендуется проведение тематических лекций и бесед, направленных на повышение медицинской грамотности студентов, т.к. их информированность влияет на качество скрининга, раннюю диагностику и просвещение пациентов [1].

References

1. Бобкова, И. Н. Современные подходы к классификации хронического гломерулонефрита / И. Н. Бобкова, Л. В. Лысенко (Козловская), Е. С. Камышова, С. В. Моисеев // Журнал «Терапевтический архив». – 2025. – 97 (6). – С. 484–488.

2. Исроилов, Н. К. Диагностика и лечение хронического гломерулонефрита / Н. К. Исроилов, У. Э. Хужамбердиев // Журнал «Экономика и социум». – 2023. – 1-2 (104). – С. 278–281.

3. Ярмухамедова, С. Особенности суточного профиля артериального давления у больных хроническим гломерулонефритом / С. Ярмухамедова, М. Норматов, Ф. Назаров // Журнал «Достижения науки и образования». – 2020. – 1 (107). – С. 140–143.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 378:316.77:614.253

Weber N.S., Zhdanova K.E., Bogacheva E.V. The role of effective communication between the doctor and the patient as a factor in successfully establishing a preliminary diagnosis for the patient

Роль эффективных коммуникаций врача и пациента как фактор успешного установления пациенту предварительного диагноза

Weber Natalia Sergeevna
3rd year student, group L-326, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko
Zhdanova Ksenia Evgenievna
3rd year student, group L-326, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko
Bogacheva Elena Vasilevna
Ph.D, Associate Professor
Department of Management in Health Care Department,
Voronezh State Medicai University named after N.N. Burdenko
Вебер Наталья Сергеевна
студентка 3 курса, группы Л-326, Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко
Жданова Ксения Евгеньевна
студентка 3 курса, группы Л-326, Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко
Богачёва Елена Васильевна
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры Управления в здравоохранении,
Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко

Abstract. *The problem of communication between a doctor and a patient is one of the key aspects of modern medicine, having a significant impact on the quality of medical care and patient satisfaction with treatment. Effective communication contributes to improved disease diagnosis, increased adherence to treatment, reduced anxiety and stress in patients, and a decrease in medical errors. However, practice shows that the level of interaction between a doctor and a patient is often insufficient due to a number of factors, including doctors' lack of time, lack of interpersonal communication skills, patients' psychological stress, lack of awareness about the disease and treatment methods, as well as cultural differences and language barriers.*

Keywords*: communication, patient, doctor, health care, dialogue, initial check-up.*

Аннотация. *Проблема коммуникации врача и пациента является одной из ключевых аспектов современной медицины, оказывая значительное влияние на качество оказания медицинской помощи и удовлетворенность пациентов лечением. Эффективная коммуникация способствует улучшению диагностики заболеваний, повышению приверженности лечению, снижению уровня тревожности и стресса у пациентов, а также уменьшению числа врачебных ошибок. Однако практика показывает, что уровень взаимодействия между врачом и пациентом зачастую недостаточен вследствие ряда факторов, среди которых дефицит времени врачей, недостаток навыков межличностного общения, психологическое напряжение пациентов, недостаточная информированность о заболевании и методах лечения, а также культурные различия и языковой барьер.*

Ключевые слова: *коммуникация, пациент, врач, здравоохранение, диалог, первичный осмотр.*

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

Актуальность темы обусловлена двумя взаимосвязанными аспектами - клинико-диагностическим и экономико-организационным, которые в российской практике здравоохранения приобретают особую значимость.

С клинико-диагностической точки зрения, эффективная коммуникация врача и пациента выступает критически важным фактором точности предварительного диагноза. Согласно данным ВОЗ, до 20 % диагностических ошибок напрямую связаны с недостатками взаимодействия в диаде «врач–пациент». Дефицит коммуникативных навыков приводит к:

* неполному сбору анамнеза;
* искажению описания симптомов из-за недопонимания. [1]
* упущению значимых деталей при формулировке жалоб.

Исследования M. Cooper et al. (2021) демонстрируют, что врачи, владеющие техниками эмпатичного слушания и структурированных уточняющих вопросов, на 35 % реже допускают ошибки на этапе первичной диагностики. В российском контексте эти проблемы подтверждаются данными исследования НИУ ВШЭ (2022–2023 гг.), согласно которым 67% пациентов указывают на то, что врач не создал атмосферу, располагающую к полному изложению жалоб. При этом, как показал опрос ВЦИОМ (2023), каждый третий пациент сомневается в правильности поставленного диагноза, что напрямую коррелирует с недостатком времени на приеме и формальностью общения.

С организационно-экономической стороны, последствия некачественной коммуникации генерируют существенные издержки для системы здравоохранения. По данным K. Singh et al. (2022), годовые затраты на коррекцию диагностических ошибок в США достигают $20 млрд. Эти расходы формируются за счёт:

* необоснованных инструментальных исследований;
* повторных обращений пациентов;
* увеличения сроков лечения из-за неверного первичного диагноза.

Для России этот аспект особенно актуален в свете исследования Аналитического центра при Правительстве РФ (2021), которое зафиксировало, что до 15% средств в системе ОМС расходуется на коррекцию лечебно-диагностического процесса, связанную с неэффективным первичным взаимодействием. Пилотный проект Минздрава РФ по внедрению коммуникативных тренингов в нескольких поликлиниках

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Московской области (2020–2022 гг.) показал, что это позволяет сократить количество повторных визитов по одному и тому же поводу на 18–22%, что свидетельствует о значительном ресурсе для оптимизации. [3]

Таким образом, в российских реалиях проблема усугубляется не только высокой нагрузкой на первичное звено, но и отсутствием унифицированных стандартов коммуникативной подготовки медиков в образовательных программах. Научное обоснование и внедрение моделей эффективного взаимодействия «врач–пациент» становится необходимым условием для повышения качества диагностики, снижения экономических потерь и выполнения ключевых показателей национальных проектов в сфере здравоохранения.

Целью работы является анализ аспектов общения врача и пациента.

Материалы и методы исследования. Проведен опрос среди разных возрастных групп населения обоих полов. Выборка 120 человек. Исследование проходило в течении 2025 года. Обработка выполнена методами описательной статистики.

Результаты. Был проведен опрос среди разных возрастных групп населения, в котором приняли участие 120 человек. Полученные данные указывают на высокий уровень профессионализма врачей в коммуникации с пациентами. Опрос показал, что людям бывает сложно довериться доктору, из-за недостаточной осведомленности и редкими посещениями врача. Проблема доверия пациента к врачу действительно заслуживает отдельного внимания. Она связана с несколькими аспектами, которые определяют качество медицинского предоставления помощи и удовлетворенность пациентов.

В соответствии с поставленными задачами и примененными методами статистической обработки, на следующем этапе был проведен анализ собранных эмпирических данных. Полученные результаты визуализированы и систематизированы в представленных ниже диаграммах.

Диаграмма 1 демонстрирует следующее: 54 опрошенных обращаются за медицинской помощью относительно редко, что составляет подавляющее большинство. Самую большую группу в количестве 48 человек (40%) составляют те, кто посещает врача 1-2 раза в год. Частое обращение к медикам (раз в месяц и чаще) характерно для меньшинства опрошенных, а именно 18 человек (суммарно составило 15%).

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

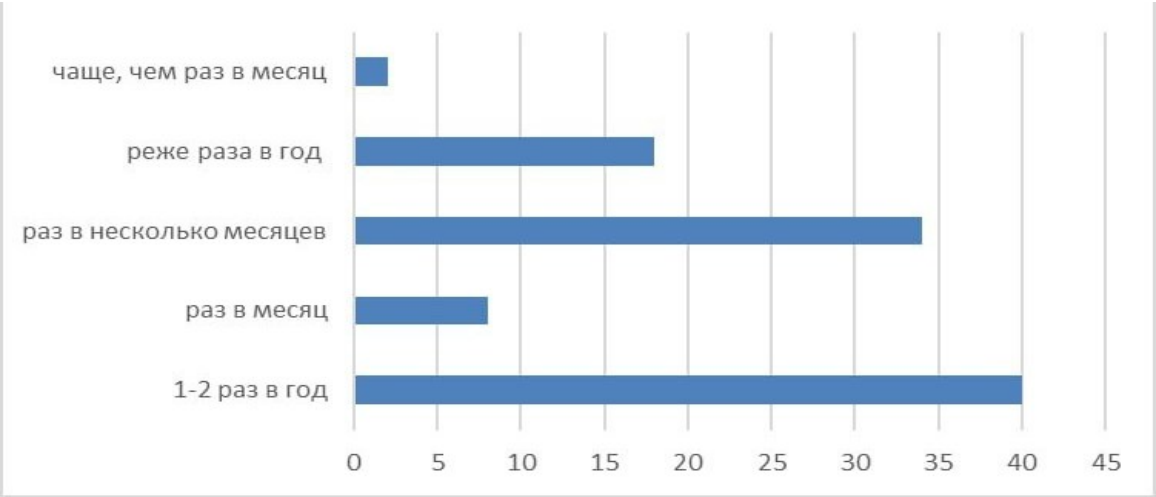


Диаграмма 1. Обращение пациентов за медицинской помощью

Больше половины опрошенных 60 человек, что составляет 50%, чувствовали себя комфортно при общении с врачом и могли задавать любые вопросы. Однако другая половина респондентов испытывала различные трудности: 30 человек (25%) столкнулись с откровенно негативным или незаинтересованным отношением врача, 18 опрашиваемых (15%) чувствовали, что отвлекают его, а 12 человек (10%) испытывали стеснение, несмотря на в целом положительную атмосферу.

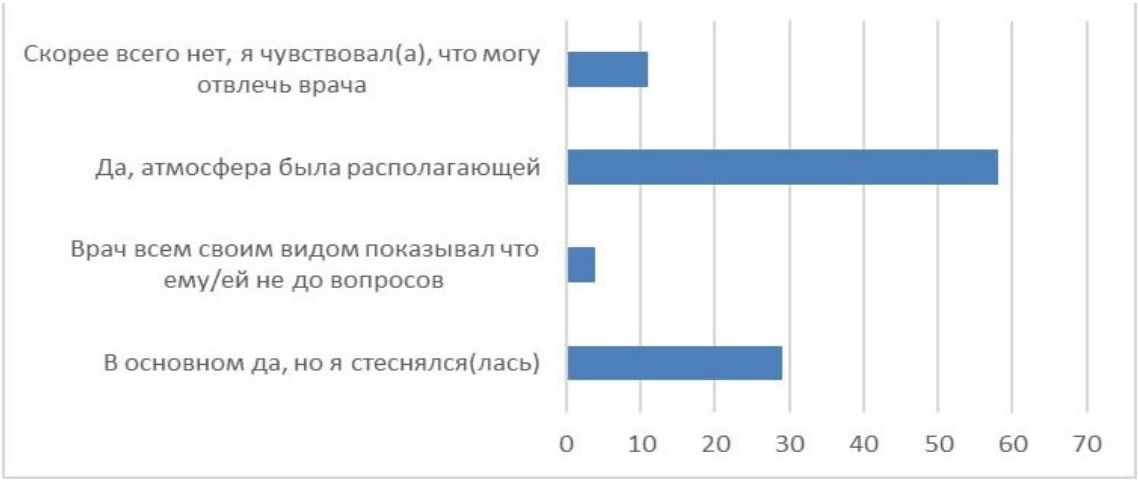


Диаграмма 2. Возможность выразить свое мнение и задать вопрос врачу.

Большинство респондентов 66 человек (55%) считают объяснения врача понятными и доступными. Однако значительная часть опрошенных в количестве 54 человек (суммарно около 45%) сталкивалась с трудностями в понимании: примерно 24 человека (20%) иногда переспрашивали, 18 человек (15%) получили объяснения с обилием непонятных терминов, а оставшиеся 12 человек (10%) сочли объяснения в

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

целом сложными.

Заключение. Отношения врача и пациента представляют собой фундамент медицины. Именно доверие, взаимопонимание и уважение формируют основу эффективного взаимодействия. Без доверительных отношений пациент может сомневаться в назначениях врача, испытывать тревогу и стресс, что негативно сказывается на процессе выздоровления.

Современная медицина стремительно развивается благодаря новым технологиям и методикам. Однако внедрение инноваций требует осторожности и взвешенного подхода. Врач обязан понимать преимущества и риски каждого метода, учитывая индивидуальные особенности пациентов. Здесь важно сочетание проверенных временем подходов с новыми возможностями, обеспечивающими лучший исход лечения.[4]

Возраст пациента также является значимым фактором. Молодые пациенты зачастую воспринимают здоровье иначе, чем пожилые. Для молодых характерны стремления быстро восстановить активность, вернуться к привычному образу жизни. Они ожидают быстрых результатов и склонны доверять врачам, использующим современные технологии. Старшее поколение, напротив, ценят опыт и традиционную медицину, иногда настороженно относятся к новшествам и предпочитают консервативные подходы. Врачи должны учитывать эти психологические особенности разных возрастных групп, выстраивая коммуникацию соответственно потребностям конкретного пациента.[2]

Таким образом, современный врач находится перед сложной задачей сочетания традиционного опыта с новейшими технологиями, принимая во внимание индивидуальные характеристики каждого пациента, включая его возраст и менталитет.

References

1. Белоусова Е. Д., Дмитриева, Н. В. Клиническая психология в медицине: теория и практика. - Москва: Литтерра, 2020. - 368 с.

2. Богдан И. В., Чистякова, Д. П. Использование инструментария гуманитарных наук в медицинских организациях // XXVIII Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов: тезисы докладов, Москва, 20-23 ноября 2022 года / Ассоциация сердечно-сосудистых хирургов России, Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева. - Москва, 2022.

3. Исаева Л.Р., Семиглазова, Т. Ф. Организация лечебно-диагностической помощи: взаимодействие врача и пациента. - Санкт-Петербург: СпецЛит, 2022. - 240 с.

4. Чучалин А. Г., Волков, К. Ю. Современная медицинская помощь: роль коммуникации в эффективности терапии. — Москва: Медэксперт, 2021. - 192 с.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

SCIENTIFIC METHODS AND TECHNOLOGIES

UDC 004

Volkov S.A. Analyzing user reviews using machine learning and sentiment analysis methods

Анализ пользовательских отзывов с применением методов машинного обучения и анализа тональности

Volkov Sergey Alekseevich,
Graduate Student of the Faculty of Information and Computer Engineering,
National University of Science and Technology «MISIS»
Science adviser: **Tarasova A.N.,**
Cand. of Econ. Sc., Asc. Prof. of the Departament of Management and Law,
Volga State Technological University
Волков Сергей Алексеевич,
Магистрант факультета информатики и вычислительной техники,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
Научный руководитель
Тарасова А.Н., канд. экон. наук, доцент кафедры управления и права
Поволжский государственный технологический университет

Abstract. *This article examines methods for analyzing user-generated reviews using machine learning and sentiment analysis across various service domains, including healthcare, tourism, and food delivery services. The study synthesizes findings from recent research based on large-scale user-generated textual data from online platforms and social media. Approaches to data collection, preprocessing, sentiment classification, and topic modeling are discussed.*

Keywords: *sentiment analysis, machine learning, user reviews, topic modeling, big data.*

Аннотация. *В статье рассматриваются методы анализа пользовательских отзывов с применением машинного обучения и анализа тональности в различных сферах услуг: здравоохранении, туризме и сервисах доставки еды. Обобщаются результаты современных исследований, основанных на больших массивах пользовательского контента, размещённого на онлайн-платформах и в социальных сетях. Рассматриваются подходы к сбору, очистке и обработке неструктурированных текстовых данных, а также методы классификации тональности и тематического моделирования. Показана практическая значимость данных методов для выявления ключевых проблем пользовательского опыта и повышения качества управленческих решений.*

Ключевые слова: *анализ тональности, машинное обучение, пользовательские отзывы, тематическое моделирование, большие данные.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович - кандидат технических наук, доцент. Заместитель директора, главный научный сотрудник. ООО «Научно-исследовательский проектный институт «Промышленное и гражданское строительство»

Введение

В последние десятилетия цифровые технологии существенно трансформировали способы взаимодействия потребителей с организациями, предоставляющими услуги.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Социальные сети, платформы онлайн-бронирования и сервисы доставки стали не только каналами оказания услуг, но и пространством для формирования и распространения пользовательских оценок и мнений. Массовое накопление пользовательских отзывов создало предпосылки для применения методов интеллектуального анализа данных, направленных на извлечение ценной информации из неструктурированных текстов.

Пользовательские отзывы представляют собой уникальный источник сведений о реальном опыте клиентов, поскольку они формируются спонтанно, отражают эмоциональное восприятие сервиса и зачастую содержат более критичную и детализированную информацию по сравнению с традиционными опросами удовлетворённости. В этой связи анализ тональности и тематическое моделирование приобретают особую актуальность как инструменты поддержки управленческих решений.

Современные методы обработки естественного языка и машинного обучения позволяют автоматизировать анализ больших массивов текстовых данных, выявлять скрытые закономерности и систематизировать пользовательский опыт. Особенно важно отметить междисциплинарный характер данных методов, которые находят применение в здравоохранении, туризме, электронной коммерции и сфере услуг. Настоящая статья направлена на обобщение и сравнительный анализ таких подходов на основе результатов современных эмпирических исследований.

Описание задачи

Основной задачей исследования является обобщение и систематизация современных подходов к анализу пользовательских отзывов на основе машинного обучения и анализа тональности. Особое внимание уделяется выявлению общих закономерностей в пользовательском опыте, независимо от предметной области.

В рамках анализа выделяются следующие подзадачи:

- изучение методов сбора и очистки текстовых данных из онлайн-источников;
- анализ подходов к классификации отзывов по тональности;
- применение тематического моделирования для выявления ключевых аспектов пользовательского опыта;
- сравнение результатов, полученных в различных предметных областях;
- выявление ограничений и проблем существующих методов.

Методы решения

Решение задачи анализа пользовательских отзывов базируется на сочетании методов обработки естественного языка, машинного обучения и статистического анализа. В рассмотренных исследованиях применяются как классические алгоритмы

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

машинного обучения, так и ансамблевые модели, позволяющие повысить точность классификации текстов.

На этапе предварительной обработки данных удаляются технические артефакты: HTML-теги, специальные символы, повторяющиеся пробелы. Решается проблема эмодзи и стикеров, которые несут значительную эмоциональную нагрузку. Система использует предобученные словари сентимента эмодзи, чтобы заменить графический символ на текстовый маркер с соответствующей тональностью. Обрабатываются повторы, удаляются дубликаты и записи с отсутствующими критическими данными. Проводится исправление частых опечаток, токенизация (разбиение текста на слова или предложения) и удаление стоп-слов, стемминг/лемматизация.

После очистки текст необходимо представить в числовой форме, понятной для алгоритмов. Однако не все слова одинаково полезны для предсказания тональности. Этап отбора признаков отфильтровывает информативный шум.

Метод N-grams. Текст разбивается на последовательности из N слов (N-граммы). Чаще всего используются униграммы и биграммы. Это позволяет уловить не только значение отдельных слов, но и контекстные сочетания.

Взвешивание TF-IDF. Каждому слову (или N-грамме) присваивается вес по схеме TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency). Вес увеличивается, если слово часто встречается в данном отзыве (TF), но редко в остальных отзывах коллекции (IDF). Это помогает выделить уникальные для отзыва значимые слова, а не общеупотребительные.

Далее идет отбор наиболее информативных признаков (Feature Selection).

Статистические методы фильтрации (Filter Methods): признаки ранжируются независимо от модели классификации по их связи с целевым классом.

1. Mutual Information. Измеряет, насколько знание о наличии слова уменьшает неопределённость относительно тональности отзыва. Высокий MI указывает на сильную связь слова с определённым сентиментом.
2. ANOVA F-test. Оценивает, различается ли средняя частота слова в отзывах разных классов (позитивных, негативных, нейтральных) статистически значимо. Слова с высоким F-статистиком лучше всего разделяют классы.
3. Chi-Square Test (χ^2). Проверяет статистическую независимость между наличием слова и классом сентимента. Высокое значение χ^2 указывает на зависимость.

Также существует метод сокращения размерности (Dimensionality Reduction). Principal Component Analysis (PCA). Преобразует исходные, часто коррелированные, признаки (слова) в новый набор некоррелированных компонент (главных компонент), которые объясняют максимальную долю дисперсии в данных. Позволяет работать с меньшим числом "синтетических" признаков.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Практический результат: Использование MI или ANOVA в связке с классификатором SVM в исследованиях по арабским отзывам о доставке еды позволило достичь точности до 90%, значительно повышая производительность по сравнению с использованием всех признаков.

На подготовленных данных строятся модели для решения двух задач: определения тональности и выявления ключевых тем.

Классификация тональности (Sentiment Classification):

- Support Vector Machine (SVM). Часто показывает наилучшие результаты, особенно с линейным ядром, хорошо работая в высокоразмерных пространствах (где много слов).
- Наивный Байес (Naive Bayes). Простой, быстрый и эффективный, особенно для небольших наборов данных.
- Логистическая регрессия (Logistic Regression). Интерпретируемая модель, дающая не только класс, но и вероятность принадлежности к нему
- Случайный лес (Random Forest). Ансамбль решающих деревьев, устойчивый к переобучению.
- Ансамблирование (Ensembling). Для повышения надёжности и точности применяется метод голосования (Voting). Например, финальное решение принимается большинством голосов от трёх лучших моделей (LR, Multinomial NB и Random Forest), что обеспечивает более высокие показатели, чем любая модель в отдельности.

Тематическое моделирование. Latent Dirichlet Allocation (LDA). Этот алгоритм без учителя используется для обнаружения скрытых "тем" в коллекции отзывов. Каждая тема представляется распределением вероятностей над словами, а каждый отзыв — распределением над темами. В анализе отзывов на отели LDA помог выявить, что основные темы обсуждения вращаются вокруг "персонала", "чистоты номера", "местоположения" и "завтрака". Визуализация также позволяет интерактивно исследовать эти темы и их взаимосвязи, предоставляя менеджерам глубокое понимание того, какие аспекты сервиса формируют впечатление клиента.

Сравнительный анализ эффективности машинного обучения

Внедрение NLP и машинного обучения для анализа пользовательских контента принесло значимые результаты. Здесь представлено сравнение результатов исследований в трёх различных сферах: секторе услуг доставки еды, гостиничном бизнесе и здравоохранении. Несмотря на общую технологическую основу, итоги исследований демонстрируют как общие закономерности, так и отраслевую специфику.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Таблица 1

Сравнение способов анализа отзывов

Критерий	Доставка еды (арабский язык)	Гостиничный бизнес (английский язык)	Здравоохранение (китайский язык)
Лучшая модель и точность	SVM + Mutual Information (MI). Достигнута точность 90% для бинарной классификации (позитив, негатив). Для многоклассовой (позитив, нейтрал, негатив) — 82%.	Тематическое моделирование (LDA) и статистический анализ полярности. Классификация использовалась как инструмент для фильтрации. Акцент на анализ полярности (0.25-0.5) и субъективности (0.5-1.0) с помощью TextBlob.	Ансамбль голосования (LR + Multinomial NB + Random Forest). Достигнута высокая точность для многометочной классификации тем: Accuracy = 0.93, F1-score = 0.84. Для сентимент-анализа — Accuracy = 0.80, F1 = 0.83.
Влияние предобработки	Применение словарей диалектов, эмодзи и очистки Arabizi повысило точность DT и KNN на 3-4%, а F1-score SVM — на 15%.	Удаление дубликатов, фильтрация по времени, нормализация. Вклад в точность не выявлен.	Использование стоп-слов и ручное кодирование для создания тренировочного набора с высокой межкодировочной надёжностью (к = 0.81-0.93) стало критичным.
Ключевой технологический вызов	Обработка арабских диалектов, отсутствие размеченных корпусов. Решение: создание собственных словарей и правил трансляции.	Сбор и объединение >1.3 млн отзывов с двух платформ с разными рейтинговыми системами.	Один пост мог затрагивать несколько тем (52.74% постов). Решение: применение ансамбля моделей с жёстким голосованием.
Достигнутый уровень автоматизации	Высокий. Предложен сквозной пайплайн от сбора до классификации и визуализации (облака слов), требующий минимального вмешательства после настройки.	Высокий в части сбора и первичного анализа (полярность, темы). Фреймворк преподносится как обобщённый инструмент для анализа отелей.	Гибридный подход: сочетание ручного кодирования выборки (20% данных) для создания стандарта с последующим машинным кодированием остальных данных.

Проблемы

Несмотря на высокую эффективность современных методов анализа текстов, существует ряд проблем и ограничений. Одной из ключевых сложностей является многоязычность пользовательских данных и наличие диалектов, сленга и эмодзи, затрудняющих автоматическую интерпретацию текста.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Другой проблемой является дисбаланс классов, при котором отрицательные отзывы часто преобладают над положительными, что может искажать результаты классификации. Кроме того, субъективность пользовательских высказываний и контекстная зависимость эмоций усложняют интерпретацию результатов анализа тональности.

Также следует отметить вычислительную сложность обработки больших массивов данных и необходимость качественной разметки обучающих выборок, что требует значительных временных и человеческих ресурсов.

Заключение

В результате проведённого анализа можно сделать вывод о высокой универсальности методов машинного обучения и анализа тональности при изучении пользовательских отзывов в различных предметных областях. Рассмотренные подходы позволяют эффективно выявлять ключевые проблемы и ожидания пользователей, а также формировать рекомендации для повышения качества услуг.

Интеграция тематического моделирования и анализа тональности предоставляет организациям инструмент для принятия обоснованных управленческих решений на основе больших данных. Несмотря на существующие ограничения, дальнейшее развитие методов NLP и расширение многоязычных ресурсов открывают перспективы для более глубокого и точного анализа пользовательского опыта.

References

1. Chen X, Shen Z, Guan T, Tao Y, Kang Y, Zhang Y, 2024. Analyzing Patient Experience on Weibo: Machine Learning Approach to Topic Modeling and Sentiment Analysis. JMIR Medical Informatics 12: e59249. doi: 10.2196/59249

2. Le HTM, Phan-Thi TA, Nguyen BT, Nguyen TQ, 2025. Mining online hotel reviews using big data and machine learning: An empirical study from an emerging country. Annals of Tourism Research Empirical Insights 6(1): 100170. doi: 10.1016/j.annals.2024.100170

3. Mustafa D, Khabour SM, Shatnawi AS, 2024. Customers' sentiment on food delivery services: An Arabic text mining approach. International Journal of Information Management Data Insights 4(1): 100299. doi: 10.1016/j.jjimei.2024.100299

4. Novak PK, Smailović J, Sluban B, Mozetič I, 2015. Sentiment of Emojis. PLOS ONE 10(12): e0144296. doi: 10.1371/journal.pone.0144296

5. Blei DM, Ng AY, Jordan MI, 2003. Latent Dirichlet Allocation. Journal of Machine Learning Research 3: 993-1022.

6. Yang Y, Pedersen JO, 1997. A comparative study on feature selection in text categorization. International Conference on Machine Learning (ICML) 97: 412-420.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

7. Tubishat M, Mohammad-Idris N, Aljarah I, 2019. Improved whale optimization algorithm for feature selection in Arabic sentiment analysis. Applied Intelligence 49: 1688-1707. doi: 10.1007/s10489-018-1334-8

8. Guellil I, Azouaou F, Mendoza M, 2019. Arabic sentiment analysis: studies, resources, and tools. Social Network Analysis and Mining 9(1): 56. doi: 10.1007/s13278-019-0602-x

9. Al-Ayyoub M, Khamaiseh AA, Jararweh Y, Al-Kabi MN, 2019. A comprehensive survey of Arabic sentiment analysis. Information Processing & Management 56(2): 320-342. doi: 10.1016/j.ipm.2018.07.006

10. Oueslati O, Cambria E, HajHmida MB, Ounelli H, 2020. A review of sentiment analysis research in Arabic language. Future Generation Computer Systems 112: 408-430. doi: 10.1016/j.future.2020.05.034

11. Greaves F, Ramirez-Cano D, Millett C, Darzi A, Donaldson L, 2013. Use of sentiment analysis for capturing patient experience from free-text comments posted online. Journal of Medical Internet Research 15(11): e239. doi: 10.2196/jmir.2721

12. Hawkins JB, Brownstein JS, Tuli G, et al., 2016. Measuring patient-perceived quality of care in US hospitals using Twitter. BMJ Quality & Safety 25(6): 404-413. doi: 10.1136/bmjqs-2015-004309

13. Liu Y, Teichert T, Rossi M, Li H, Hu F, 2017. Big data for big insights: Investigating language-specific drivers of hotel satisfaction with 412,784 user-generated reviews. Tourism Management 59: 554-563. doi: 10.1016/j.tourman.2016.08.012

14. Zhao Y, Xu X, Wang M, 2019. Predicting overall customer satisfaction: Big data evidence from hotel online textual reviews. International Journal of Hospitality Management 76: 111-121. doi: 10.1016/j.ijhm.2018.03.017

15. Vargas-Calderón V, Moros Ochoa A, Castro Nieto GY, Camargo JE, 2021. Machine learning for assessing quality of service in the hospitality sector based on customer reviews. Information Technology & Tourism 23(3): 351-379. doi: 10.1007/s40558-021-00207-4

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 006.91

Evseeva N.A., Dragina O.G. Digital transformation of metrological support as a key factor of technological sovereignty of the Russian engineering industry

Цифровая трансформация метрологического обеспечения как ключевой фактор технологического суверенитета российского машиностроения

Evseeva Natalia Alekseevna
Student
Dragina Olga Gennadievna
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Head of the Department «Technology, Equipment and Automation of Machine-building industries»
Yegoryevsk Institute of technology (branch)
Moscow State University of Technology «STANKIN»
Yegoryevsk, Russia
Евсеева Наталья Алексеевна
Студент
Драгина Ольга Геннадьевна
Кандидат технических наук, доцент
Заведующий кафедрой «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств»
Егорьевский технологический институт (филиал)
ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»
Егорьевск, Россия

Abstract. *The article provides a comprehensive analysis of the systemic crisis in the metrological support of the domestic engineering industry, which has worsened under external constraints, and identifies key challenges. A roadmap for accelerated development of technologically sovereign digital metrology is proposed as a strategic response. Practical recommendations for enterprises on transition management are formulated.*

Keywords: *digital metrology, import substitution, technological sovereignty, mechanical engineering, coordinate measuring machines (CMM), software, Smart Metrology, personnel shortage, standardization.*

Аннотация. *В статье проведен комплексный анализ системного кризиса в метрологическом обеспечении отечественного машиностроения, обострившегося в условиях внешних ограничений, выявлены ключевые вызовы. В качестве стратегического ответа предложена дорожная карта ускоренного развития технологически суверенной, цифровой метрологии. Сформулированы практические рекомендации для предприятий по управлению переходным периодом.*

Ключевые слова: *цифровая метрология, импортозамещение, технологический суверенитет, машиностроение, координатно-измерительные машины (КИМ), программное обеспечение (ПО), Smart Metrology, кадровый дефицит, стандартизация.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович - кандидат технических наук, доцент. Заместитель директора, главный научный сотрудник. ООО «Научно-исследовательский проектный институт «Промышленное и гражданское строительство»

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Конкурентоспособность современного машиностроения детерминирована не только уровнем конструкторских решений и производственных мощностей, но и глубиной цифровизации всех сопутствующих процессов. Метрологическое обеспечение, традиционно воспринимаемое как вспомогательная сервисная функция, в эпоху Индустрии 4.0 трансформируется в критически важный стратегический актив. Именно точные, достоверные и, что принципиально, машинно-читаемые данные измерений становятся «цифровой кровью» для систем автоматизированного проектирования (CAD), управления производством (MES), планирования ресурсов предприятия (ERP) и, в конечном итоге, основой для создания «цифровых двойников» изделий и технологических процессов.

Для российского машиностроительного комплекса эта трансформация совпала по времени с беспрецедентным внешним вызовом — массовым уходом ведущих зарубежных вендоров контрольно-измерительного оборудования и программного обеспечения, а также разрывом международных кооперационных цепочек. Сложившаяся ситуация обнажила глубину системной зависимости и поставила под угрозу реализацию ключевых государственных программ в области оборонно-промышленного комплекса, авиа- и станкостроения. В этих условиях развитие отечественной цифровой метрологии перестает быть вопросом технологической оптимизации и становится императивом национальной технологической безопасности и суверенитета.

Цель настоящего исследования — провести всесторонний анализ структурных проблем метрологического обеспечения, актуализированных в условиях импортозамещения, и на этой основе разработать комплексную программу действий по созданию технологически независимой, цифровой метрологической экосистемы. В работе последовательно рассматривается «патологическая картина» текущего состояния, формулируются стратегические направления прорывного развития и предлагаются конкретные практические шаги для промышленных предприятий.

1. Системный кризис метрологического обеспечения: диагностика ключевых вызовов

Новая реальность высветила не отдельные недостатки, а комплекс взаимосвязанных системных патологий, сформированных за предыдущие десятилетия.

Технологическая блокада: уязвимость критической инфраструктуры. До 2022 года до 80% парка высокоточных координатно-измерительных машин (КИМ), лазерных трекеров, оптических 3D-сканеров и систем автоматического контроля на российских предприятиях составляла продукция компаний Hexagon (Швеция), Zeiss (Германия), Mitutoyo (Япония) [1]. Зависимость носила тотальный характер, распространяясь на специализированное ПО для управления измерениями (PC-DMIS, Calypso), анализа

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

геометрических отклонений (GD&T) и статистического контроля процессов (SPC). Блокировка лицензий, остановка сервисной поддержки, прекращение поставок калибровочных эталонов и запчастей привели не только к физическому износу парка, но и к «цифровому параличу» — невозможности обновлять измерительные программы, обрабатывать данные в актуальных форматах и интегрировать измерительные ячейки в гибкие производственные системы.

Проблема «цифрового шва»: разрыв информационных контуров. Даже при гипотетической возможности прямой аппаратной замены импортного оборудования возникает непреодолимая на сегодня задача интеграции. Отечественные аналоги, зачастую разработанные как закрытые аппаратно-программные комплексы, лишены открытых API-интерфейсов и адаптеров для подключения к распространенным CAD/CAM/CAE-системам (например, Компас-3D, T-FLEX) и промышленным протоколам данных (OPC UA, MTConnect). Это создает «цифровые швы», где критически важная метрологическая информация не может автоматически поступать в единое информационное пространство предприятия. Данные ручного ввода теряют актуальность, возникает задержка в принятии решений, а концепция сквозного цифрового проектирования и контроля становится нереализуемой.

Кадровая «черная дыра»: дефицит компетенций нового поколения. Длительная эксплуатация импортных решений сформировала у инженеров-метрологов, программистов КИМ и технологов узкоспециализированные, привязанные к конкретным проприетарным платформам навыки. Массовый переход на новые, часто менее интуитивные отечественные или азиатские аналоги требует не точечного обучения, а полной переподготовки кадрового состава с фундаментальным освоением принципов цифровой метрологии, работы с открытыми данными и базовыми навыками программирования. Отсутствие на рынке труда таких специалистов и недостаточная скорость их подготовки в вузах создают «кадровую черную дыру», которая поглощает любые технологические инициативы.

Правовой вакуум: отставание нормативно-технической базы. Цифровая трансформация метрологии опережает развитие ее нормативного обеспечения. Действующая Госстандарт-система (ГСС) и фонд ГОСТов в основном регламентируют традиционные, «бумажные» процессы поверки и калибровки.

Остро не хватает стандартов, регулирующих:

- Форматы и структуры цифровых паспортов средств измерений (СИ).
- Метрологическую экспертизу «цифровых двойников» и алгоритмов предиктивной аналитики.
- Процедуры удаленной и встроенной поверки IoT-сенсоров.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

· Требования к кибербезопасности измерительных данных.

Попытки исправить ситуацию, такие как введение ГОСТ Р 8.1034-2023 по метрологической экспертизе техдокументации, носят фрагментарный характер и не формируют целостного правового поля для цифровой метрологии [2].

2. Стратегические направления построения технологически суверенной метрологической экосистемы

Ответом на системный кризис должна стать не точечная замена приборов, а построение целостной, технологически независимой национальной метрологической экосистемы. Ее ядром должна стать цифровая платформа, обеспечивающая сквозной поток данных.

Полноцикловая разработка отечественных измерительных комплексов. Приоритетом является создание не отдельных приборов, а законченных измерительных ячеек «под ключ». Речь идет о станциях на базе отечественных многоосевых приводов, контроллеров и сенсоров (например, датчиков линейных перемещений НПО «Системы прецизионного приборостроения»), управляемых российским ПО. Ключевые направления:

· Разработка отечественных КИМ мостового и портального типа с точностью на уровне 2,5-3,5 мкм.

· Создание прецизионных 3D-сканеров на основе структурированного света для контроля сложнопрофильных поверхностей.

· Локализация производства измерительных щупов, фильтров и эталонных мер (концевых мер длины, прецизионных сфер).

Успешным примером является многофункциональный измерительный комплекс «Квантор», разработанный ЦНИИТМАШ, который сочетает функции КИМ, профилометра и машины для контроля шероховатости [3].

Создание единой открытой программной платформы «Отечественная Цифровая Метрология» (ОЦМ). Это центральный элемент стратегии [4-7]. Платформа ОЦМ должна быть модульной, с открытым исходным кодом (под лицензией типа Apache 2.0) и предоставлять:

· Ядро для управления измерительными задачами (аналог коммерческих PC-DMIS).

· Библиотеки для анализа и визуализации данных (SPC, анализ временных рядов, построение карт нагрева).

· Облачное хранилище с защищенным доступом для хранения цифровых паспортов изделий и журналов измерений.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

· Набор открытых API и драйверов для гарантированной интеграции с основными российскими CAD-системами и MES-платформами.

Такой подход позволит малым инновационным компаниям разрабатывать специализированные приложения (например, для контроля лопаток турбин или кузовных панелей), создавая вокруг платформы динамичную экосистему разработчиков.

Массовое внедрение принципов Smart Metrology [5,6]. Цифровая платформа должна реализовывать концепцию «умных измерений»:

· Предиктивная аналитика и цифровые двойники СИ. Моделирование износа измерительных наконечников, прогнозирование дрейфа характеристик датчиков и планирование превентивной калибровки.

· Децентрализованная поверка на основе блокчейн. Создание защищенного распределенного реестра для учета поверок, исключающего фальсификацию результатов.

· Встроенный контроль (In-Process Metrology). Интеграция измерительных сенсоров непосредственно в станки (например, на базе ЧПУ от «НИИ СУ» или «Электронмаш») для автоматической коррекции техпроцесса в реальном времени без остановки производства.

Форсированная подготовка инженеров-метрологов 2.0. Необходима полная ревизия образовательных программ в технических вузах. Акцент должен сместиться с изучения устройства конкретных приборов на освоение:

· Основ data science и машинного обучения для анализа измерительных big data.

· Принципов промышленной кибербезопасности.

· Навыков работы с API и скриптовых языков (Python) для автоматизации измерительных задач.

Обязательным элементом должно стать создание на предприятиях центров компетенций по цифровой метрологии, где инженеры смогут проходить стажировки на реальном оборудовании в рамках дуальной системы образования.

3. Практические рекомендации для машиностроительных предприятий: управление переходом

Переход на новую метрологическую парадигму требует от предприятий управления как проектом трансформации.

Проведение стратегического метрологического аудита. Необходимо не просто инвентаризировать оборудование, а провести сквозной анализ всех критических точек контроля (CTQ — Critical to Quality) в цепочке создания стоимости. Для каждого CTQ-

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

параметра следует оценить: текущее СИ и его статус, степень цифровизации процесса сбора данных, наличие цифрового канала для коррекции процесса, риски отказа поставок и альтернативные отечественные решения.

Разработка и реализация пилотных проектов по схеме «MVP — Minimum Viable Product». Внедрение следует начинать с наименее рискованного, но репрезентативного участка. Например, организовать на одном измерительном комплексе (отечественном или адаптированном) цифровой контур контроля для одной детали: от автоматической загрузки управляющей программы из PLM-системы до выгрузки протокола в MES с автоматическим формированием акта о браке. Успех пилота станет доказательством концепции для масштабирования.

Выбор партнеров и решений на основе критериев открытости и развития. При выборе отечественного вендора приоритетными должны быть не только паспортные характеристики точности, но и:

- Готовность предоставить SDK (Software Development Kit) для глубокой интеграции.
- Наличие дорожной карты развития ПО и публичных репозиториев для отслеживания исправлений ошибок.
- Участие в консорциумах по стандартизации и готовность к совместной разработке.

Предприятиям целесообразно объединяться в отраслевые рабочие группы для формирования единых требований к разработчикам.

Реорганизация процессов и перераспределение ролей. Внедрение цифровой метрологии потребует изменения организационной структуры. Функции отдела ГМК (Главного метролога) будут эволюционировать в сторону службы управления измерительными данными и аналитики. Возникнут новые роли: архитектор метрологических данных, специалист по интеграции измерительных систем, аналитик предиктивного обслуживания СИ.

Проведенный анализ демонстрирует, что текущий кризис в метрологическом обеспечении российского машиностроения носит не конъюнктурный, а системно-структурный характер. Его преодоление невозможно через простое «латание дыр» закупками оборудования из дружественных стран. Единственным устойчивым решением является целенаправленное строительство национальной, технологически суверенной экосистемы цифровой метрологии.

Этот путь предполагает синхронное развитие четырех ключевых элементов: 1) аппаратной платформы (отечественные измерительные комплексы), 2) программной платформы (открытая ОЦМ), 3) передовых технологий (Smart Metrology), 4)

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

человеческого капитала (инженеры-метрологи 2.0). Успех возможен только при условии тесной кооперации государства (формирование заказа и нормативной базы), науки и образования (прорывные разработки и подготовка кадров), бизнеса (инвестиции и коммерциализация) и промышленных предприятий (внедрение и формирование требований).

Реализация предложенной стратегии позволит не только нивелировать текущие риски, но и совершить качественный скачок, превратив метрологическое обеспечение из затратного сервиса в генератор добавленной стоимости и драйвер инноваций для всего российского машиностроительного комплекса. Дальнейшие исследования должны быть сфокусированы на детальном экономическом моделировании перехода, сравнительном анализе архитектур открытых метрологических платформ и разработке отраслевых стандартов «цифрового кода» для обмена измерительными данными.

References

1. Аналитический отчет «Рынок контрольно-измерительного оборудования России: итоги 2021-2023 гг.». – М.: Ассоциация «Росприбор», 2024.

2. ГОСТ Р 8.1034-2023. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Метрологическая экспертиза технической документации. Основные положения. – Введ. 2023-10-01. – М.: Стандартинформ, 2023.

3. Официальный сайт АО «ЦНИИТМАШ». Описание многофункционального измерительного комплекса «Квантор». – URL: https://www.tsniitmash.ru/products/ (дата обращения: 10.10.2024).

4. Стратегия развития приборостроения, промышленной автоматизации и систем управления на период до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства РФ № 362-р от 16.02.2022).

5. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Цифровая трансформация машиностроения: вызовы для метрологии». – М.: МГТУ «СТАНКИН», 2023.

6. Концепция развития Национальной системы цифровой метрологии до 2035 года (проект). – М.: Росстандарт, 2024.

7. Отраслевой стандарт ОСТ 95.1001-2024 «Рекомендации по интеграции средств измерений в единое информационное пространство предприятия». – М.: ФГУП «НАМИ», 2024.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 620.92

Lezin K.A. Comparative analysis of accuracy and cost of flow meters for water accounting in automation systems

Lezin Kirill Alekseevich,
Student of the Department of Automation of
Technological Processes and Production,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy

Abstract. *The article presents a comparative analysis of three types of flow meters for water accounting in automation systems: electromagnetic, vortex, and ultrasonic. The operating principles, metrological characteristics, application conditions, and cost of each type are considered. The results of laboratory tests on a test bench with a flow range of 0.5-10 m³/h are presented. It is shown that electromagnetic flow meters provide the best accuracy (±0.5%) at a cost of 12,500 RUB., vortex flow meters provide acceptable accuracy (±1.0%) at a low cost (from 8,900 RUB.), and ultrasonic flow meters provide high accuracy (±0.7%) without pressure losses at a cost of 18,400 RUB. The economic effect of choosing the optimal type of flow meter for a specific task is calculated.*

Keywords: *flow meter, electromagnetic flow meter, vortex flow meter, ultrasonic flow meter, measurement accuracy, water accounting, automation.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович - кандидат технических наук, доцент. Заместитель директора, главный научный сотрудник. ООО «Научно-исследовательский проектный институт «Промышленное и гражданское строительство»

Water accounting is one of the basic tasks of automation of technological processes in the food, chemical, pharmaceutical industries, and housing and communal services. Measurement accuracy directly affects product quality, resource efficiency, and economic indicators of the enterprise. According to Rosstat data for 2024, water losses due to inaccurate accounting and suboptimal selection of measuring instruments amount to 8–12% of the total consumption volume, which in monetary terms exceeds 45 billion RUB annually [1].

The modern market of measuring instruments presents many types of flow meters, differing in operating principle, accuracy, cost, and application conditions. For water accounting tasks, three types are most common: electromagnetic, vortex, and ultrasonic flow meters. Each of them has its own advantages and limitations, and the correct choice requires a detailed comparative analysis of technical and economic characteristics [2].

Electromagnetic flow meters are based on Faraday's law of electromagnetic induction: when a conductive liquid (water) moves in a magnetic field, an EMF arises proportional to the flow velocity. Structurally, the device represents a measuring tube with inductance coils creating a magnetic field, and electrodes removing the signal. The key advantage of

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

electromagnetic flow meters is the absence of moving parts and hydraulic resistance, which eliminates pressure losses [3].

For laboratory tests, an electromagnetic flow meter of the PREM-20 type (manufactured by LLC "Nipomag", Russia) was selected with the following characteristics: nominal diameter DN20, flow range 0.1–6.0 m³/h, error ±0.5%, output signal 4–20 mA, interface RS-485, power supply 24 V DC. The cost of the device is 12,500 RUB according to the manufacturer's official catalog. The measuring tube is made of stainless steel AISI 316 L with Teflon lining, which ensures corrosion resistance and compatibility with aggressive media [4].

Vortex flow meters operate on the principle of Karman vortex street formation: when a fluid flow surrounds a body of special shape (prism), vortices arise, the frequency of which is proportional to the flow velocity. The sensor registers the vortex frequency and converts it into a flow signal. The advantage of vortex flow meters is the simplicity of design, low cost, and the ability to operate at high temperatures (up to 250°C) [5].

For comparative analysis, a vortex flow meter VR-20 (manufactured by LLC "Teplovodomer", Russia) was used with parameters: nominal diameter DN20, flow range 0.5–10.0 m³/h, error ±1.0%, output 4–20 mA, power supply 220 V AC, cost 8,900 RUB. The device has a housing made of aluminum alloy with protection IP 65, which allows installing it in industrial premises with high humidity. The disadvantage is the presence of hydraulic resistance (pressure loss up to 15 kPa at maximum flow).

Ultrasonic flow meters use the Doppler effect or the transit-time pulse method. In the first case, the change in frequency of the ultrasonic signal reflected from particles in the flow is measured; in the second – the difference in the time of pulse passage along the flow and against the flow. Ultrasonic devices are either insertion type (sensors are installed in the pipeline) or clamp-on type (sensors are attached outside the pipe).

The URSV-110 ultrasonic flow meter (clamp-on type, manufactured by CJSC "Vzlet", Russia) participated in the tests with the following characteristics: pipe diameter range 15–100 mm, flow range 0.3–8.0 m³/h, error ±0.7%, no pressure losses, power supply 220 V AC, cost 18,400 RUB. The device is equipped with two piezoelectric transducers, which are attached to the pipe with clamps, allowing measurements without cutting into the pipeline and stopping the process.

For an objective comparison of flow meter characteristics, a laboratory test bench was assembled, including: a 500 L tank, a centrifugal pump Grundfos CR 5-8 (power 1.1 kW, maximum head 45 m), a stainless steel pipeline DN20 15 m long, a reference Coriolis flow meter Micro Motion F 025 (error ±0.1%), three tested flow meters (electromagnetic, vortex, ultrasonic), installed sequentially on straight sections 10 DN before and 5 DN after each device,

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

a pump speed regulator Danfoss FC 51, a data acquisition system based on OWEN MV110-8AI modules and SCADA+

Tests were carried out according to the methodology of GOST 8.586.1-2005 "State system for ensuring the uniformity of measurements. Flow and quantity of liquid. Measurement methodology". For each flow meter, readings were taken at ten flow values from 0.5 to 10.0 m³/h with a step of 0.5 m³/h in the low flow zone and 1.0 m³/h in the medium and high flow zones. Each measurement was repeated 5 times to assess repeatability. The results are presented in Table 1.

Table 1

Results of Comparative Flow Meter Tests

Flow (Reference), m³/h	Electromagnetic PREM-20		Vortex VR-20		Ultrasonic URSV-110	
	Reading, m³/h	Error, %	Reading, m³/h	Error, %	Reading, m³/h	Error, %
0,5	0,502	+0,4	0,489	-2,2	0,504	+0,8
1,0	1,003	+0,3	0,992	-0,8	1,006	+0,6
2,0	2,005	+0,25	1,985	-0,75	2,012	+0,6
3,0	3,008	+0,27	2,978	-0,73	3,019	+0,63
4,0	4,010	+0,25	3,968	-0,80	4,026	+0,65
5,0	5,012	+0,24	4,958	-0,84	5,033	+0,66
6,0	6,015	+0,25	5,948	-0,87	6,040	+0,67
7,0	7,018	+0,26	6,938	-0,89	7,047	+0,67
8,0	8,020	+0,25	7,928	-0,90	8,054	+0,68
9,0	9,022	+0,24	8,918	-0,91	9,061	+0,68
10,0	10,025	+0,25	9,908	-0,92	10,068	+0,68

Analysis of Table 1 shows that the electromagnetic flow meter PREM-20 demonstrates the best accuracy across the entire measurement range: the maximum error does not exceed ±0.4% at a flow of 0.5 m³/h and stabilizes at ±0.25% in the range of 2–10 m³/h. This corresponds to the characteristics declared by the manufacturer and confirms the suitability of the device for commercial accounting and precise dosing tasks.

The vortex flow meter VR-20 shows worse results in the low flow zone: at 0.5 m³/h the error reaches -2.2%, which exceeds the permissible values for accurate accounting. However, in the range of 2–10 m³/h the error stabilizes at -0.75...-0.92%, which is acceptable for technological accounting. The systematic underestimation of readings is due to the features of vortex formation at low flow velocities and hydraulic losses on the bluff body.

The ultrasonic flow meter URSV-110 demonstrates a stable error of +0.6...+0.8% across the entire range, which is slightly higher than the electromagnetic one, but better than the vortex one. The slight overestimation of readings is explained by the influence of acoustic interference and flow inhomogeneity. The advantage of the ultrasonic method is the lack of

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

dependence of accuracy on the electrical conductivity of the liquid, which allows using the device for accounting of distilled water and organic solvents.

To assess the influence of external factors on measurement accuracy, additional tests were carried out: changing water temperature from 10 to 60°C, presence of air bubbles in the flow (volume fraction up to 2%), pressure pulsations from the pump (amplitude ±15 kPa, frequency 2 Hz). The results showed that the electromagnetic flow meter is least sensitive to the listed factors: the change in readings did not exceed ±0.15%. The vortex flow meter showed sensitivity to air bubbles (error increased to -4.5%), and the ultrasonic one – to temperature (reading drift +0.3% per 10°C) [3].

An important parameter when choosing a flow meter is pressure loss, which directly affects energy costs for pumping liquid. To measure it, pressure gauges of accuracy class 0.6 were installed on the bench before and after each flow meter. At a flow of 6 m³/h, the following results were obtained: electromagnetic PREM-20 – 2 kPa, vortex VR-20 – 14 kPa, ultrasonic URSV-110 – 0 kPa (clamp-on type does not create resistance). For a clear illustration of the operating principles of flow meters, Figure 1 presents diagrams of measurement signal formation for each type: diagram (a) shows EMF formation in an electromagnetic flow meter when a conductive liquid moves in the magnetic field of coils, diagram (b) illustrates the formation of Karman vortices behind the bluff body in a vortex flow meter, and diagram (c) depicts the trajectory of ultrasonic pulses when measuring by the transit-time method.

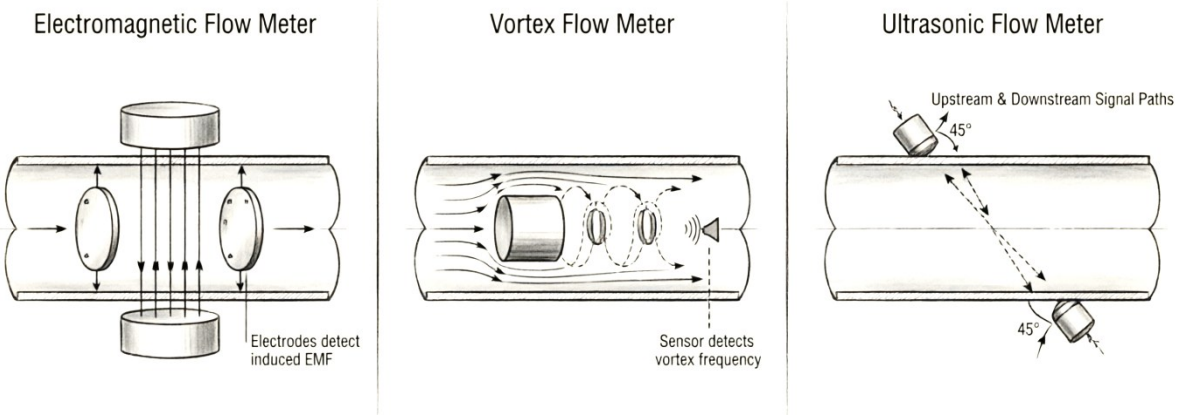


Figure 1. Operating principles of flow meters of different types

The presented diagrams allow understanding the physical basis of each measurement method and explain the obtained experimental results. The electromagnetic method, creating no hydraulic resistance and having no moving parts, ensures the best stability of readings. The vortex method, requiring the creation of local resistance to form vortices, inevitably leads to pressure losses and increased sensitivity to flow quality. The ultrasonic method, implemented

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

without intervention in the pipeline, eliminates pressure losses, but is subject to the influence of acoustic interference.

Economic analysis includes not only the cost of acquiring the device, but also costs for installation, operation, and maintenance over the service life (accepted as 10 years). For an objective comparison, the cost of ownership (TCO – Total Cost of Ownership) was calculated for each type of flow meter when installed on a DN20 pipeline with a flow of 5 m³/h and 24/7 operating mode.

The cost of ownership of the electromagnetic flow meter PREM-20 consists of the following components: acquisition is 12,500 RUB, installation (cutting into the pipeline, welding, insulation) – 8,000 RUB, connection to the automation system (cable, input module) – 3,500 RUB, verification (every 4 years, 3 verifications over 10 years at 2,500 RUB) – 7,500 RUB. Electricity consumption is calculated as the product of consumed power 10 W by the number of operating hours (24 h × 365 days × 10 years), which amounts to 876 kWh, at a tariff of 6.50 RUB/kWh the electricity cost is 5,694 RUB. Pressure losses amount to 2 kPa, energy for their compensation is calculated by the formula:

$$Ep = \Delta P \cdot Q \cdot t \cdot k = 2 \cdot 5 \cdot 8760 \cdot 10 \cdot 0.000278 = 245.4 \text{ kWh}$$

where △P – pressure loss, kPa; Q – flow, m³/h; t – operating time, h; k – conversion coefficient. Cost of pressure loss compensation: 245.4 kWh × 6.50 RUB/kWh = 1,595 RUB. Total cost of ownership over 10 years: 12,500 + 8,000 + 3,500 + 7,500 + 5,694 + 1,595 = 38,789 RUB.

The cost of ownership of the vortex flow meter VR-20 is calculated similarly: acquisition is 8,900 RUB, installation – 8,000 RUB, connection – 3,500 RUB, verification (3 times at 2,500 RUB) – 7,500 RUB. Electricity consumption 15 W over 10 years amounts to 1,314 kWh, cost: 1,314 × 6.50 = 8,541 RUB. Pressure losses of 14 kPa require energy for compensation:

$$Ep = 14 \cdot 5 \cdot 8760 \cdot 10 \cdot 0.000278 = 1718 \text{ кВт/ч}$$

Compensation cost: 1,718 × 6.50 = 11,165 RUB. Total TCO: 8,900 + 8,000 + 3,500 + 7,500 + 8,541 + 11,165 = 47,606 RUB.

The cost of ownership of the ultrasonic flow meter URSV-110 includes: acquisition 18,400 RUB, installation (without stopping the process) – 3,000 RUB, connection – 3,500 RUB, verification (3 times at 3,000 RUB) – 9,000 RUB. Electricity consumption 12 W over 10 years: 1,051 kWh, cost: 1,051 × 6.50 = 6,833 RUB. Pressure losses are absent (clamp-on type). Total TCO: 18,400 + 3,000 + 3,500 + 9,000 + 6,833 + 0 = 40,733 RUB.

Calculations show that despite the lowest initial cost (8,900 RUB), the vortex flow meter turns out to be the most expensive in operation due to high pressure losses (11,165 RUB over 10 years) and increased energy consumption. The electromagnetic flow meter, occupying a middle position in initial cost (12,500 RUB), provides the lowest cost of ownership (38,789

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

RUB) due to low pressure losses and energy consumption. The ultrasonic flow meter, having the highest initial cost (18,400 RUB), compensates for this with low installation cost (without stopping the process) and absence of pressure losses. For visualization of economic indicators, Figure 2 presents a diagram of the cost of ownership structure for each type of flow meter, where it is clearly visible that the share of costs for electricity and pressure loss compensation for the vortex flow meter is 33% of the total cost, whereas for the electromagnetic one – only 19%, and for the ultrasonic one – 17%.

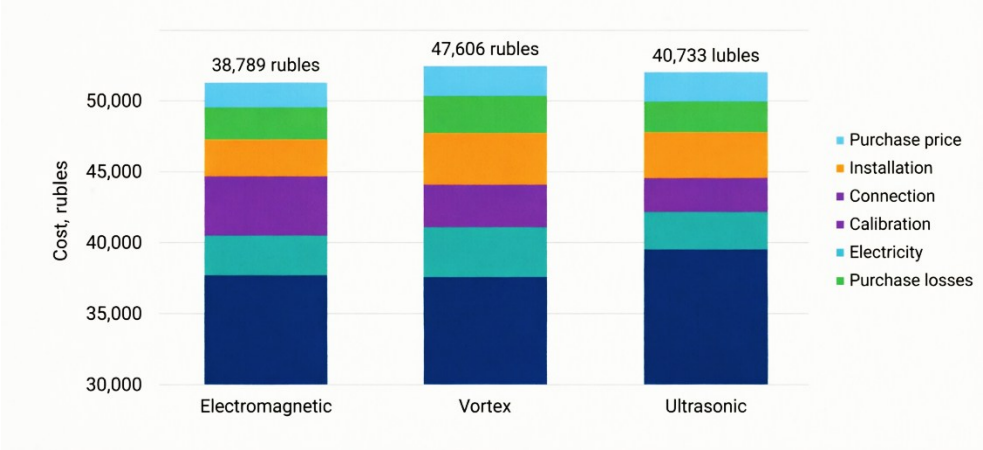


Figure 2. Structure of cost of ownership of flow meters over 10 years

Analysis of the diagram confirms that when choosing a flow meter, it is necessary to consider not only the purchase price, but also operating costs, which over the service life can exceed the initial cost of the device by 2–3 times. This is especially relevant for systems with continuous operating mode and large flows, where pressure losses lead to significant excess electricity consumption for pumping [4].

Comparison of technical characteristics of flow meters is presented in Table 2, which includes main parameters affecting the choice of device for a specific task.

Table 2

Comparative characteristics of flow meters

Parameter	Electromagnetic PREM-20	Vortex VR-20	Ultrasonic URSV-110
Measurement error, %	±0.5	±1.0	±0.7
Flow range, m³/h	0.1–6.0	0.5–10.0	0.3–8.0
Pressure loss, kPa	2	14	0
Min. electrical conductivity, μS/cm	5	Not required	Not required
Sensitivity to air bubbles	Low	High	Medium
Sensitivity to temperature	Low	Medium	High
Installation	Cutting into pipeline	Cutting into pipeline	Clamp-on, without cutting
Acquisition cost, RUB	12,500	8,900	18,400
Cost of ownership (10 years), RUB	38,789	47,606	40,733
Service life, years	10+	8–10	10+
Verification interval, years	4	4	4

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Analysis of Table 2 allows formulating recommendations for choosing the type of flow meter for various automation tasks. Electromagnetic flow meters are optimal for use in precise dosing systems, commercial water accounting, and aqueous electrolyte solutions, where high accuracy (±0.5%) and stability of readings are required. Limitation – necessity of liquid electrical conductivity of at least 5 μS/cm, which excludes application for distilled water and organic solvents [2].

Vortex flow meters are advisable to use in technological accounting systems, where an error of ±1.0% is acceptable and low cost and simplicity of maintenance are important. The device is suitable for working with aggressive media, high temperatures (up to 250°C) and pressures (up to 4 MPa). Disadvantages – increased pressure losses and sensitivity to flow quality (straight sections 10 DN before and 5 DN after the device are required) [5].

Ultrasonic flow meters are indispensable in situations where cutting into the pipeline is impossible (operating productions, pipelines under pressure, hazardous environments) or mobility of measurements is required (temporary accounting, diagnostics). The clamp-on installation type allows carrying out measurements without stopping the process, which is critical for continuous productions. The device is universal – suitable for any liquids, including distilled water, oils, solvents. Limitations – high cost, sensitivity to the state of the pipe surface and presence of deposits. To illustrate the practical application of flow meters in an automation system, Figure 3 presents a diagram of a water accounting unit at an industrial enterprise, showing: water supply pipeline DN50, electromagnetic flow meter PREM-50, pressure sensor Danfoss MBS 3000, temperature sensor Pt100, OWEN MV110-8AI input modules, OWEN PLC110 PLC, and Weintek MT8071iP operator panel.

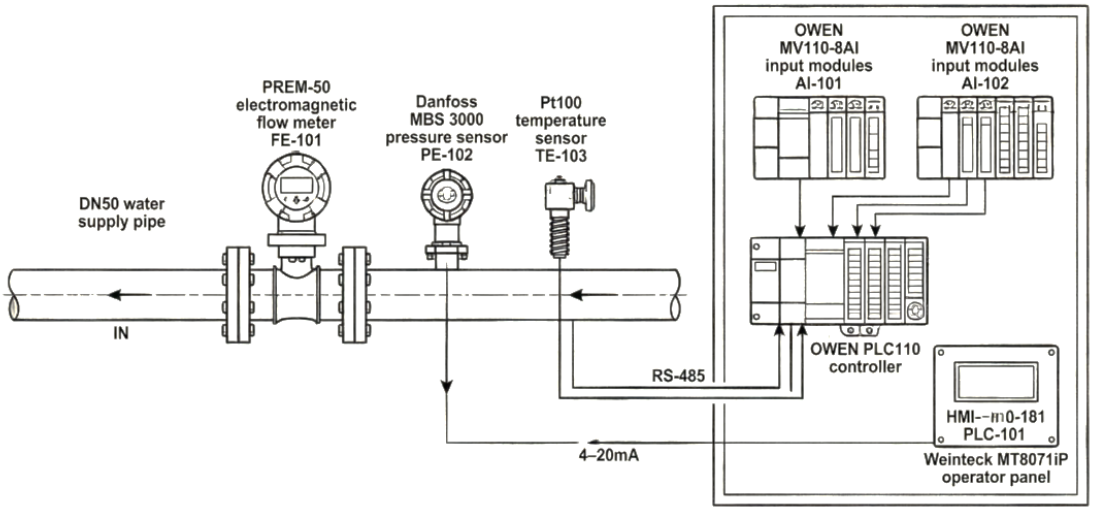


Figure 3. Diagram of water accounting unit with electromagnetic flow meter

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

The presented scheme demonstrates the integration of the flow meter into the automation system: the 4–20 mA signal from the flow meter goes to the analog input of the MV110-8AI module, is converted into a flow value, which is used by the PLC to control the pump, calculate daily consumption, and form alarms when setpoints are exceeded. Data is archived in a MySQL database with a frequency of 1 record/sec, which allows conducting retrospective analysis and identifying consumption anomalies [1].

An important aspect of flow meter operation is verification and calibration. According to GOST 8.586.1-2005, all flow meters are subject to periodic verification with a verification interval of 4 years. The procedure includes comparing device readings with a reference flow meter or measure on a verification facility. The cost of verification is 2,500–3,000 RUB per device and should be taken into account when calculating the cost of ownership.

To increase measurement accuracy, it is recommended to carry out additional calibration of the flow meter in working conditions: comparing readings with a reference device at actual flow, pressure, and temperature values, adjusting conversion coefficients. This is especially relevant for vortex and ultrasonic flow meters, sensitive to operating conditions. Calibration allows reducing error by 20–30% and extending the verification interval [3].

Analysis of the domestic and foreign flow meter market shows that Russian manufacturers (LLC "Nipomag", CJSC "Vzlet", LLC "Teplovodomer", LLC "Intelpribor") offer devices not inferior in characteristics to foreign analogs (Endress+Hauser, Siemens, Emerson, Krohne), at a cost 2–3 times lower. For example, the electromagnetic flow meter Endress+Hauser Promag 10 B costs from 45,000 RUB, whereas the Russian PREM-20 – 12,500 RUB with comparable accuracy (±0.5%) and service life (10+ years).

Import substitution in the field of measuring instruments is a priority task, especially in the context of sanction restrictions. Domestic flow meters are certified, included in the State Register of Measuring Instruments, have a verification interval of 4 years and full technical support in Russian. Integration with Russian automation systems (OWEN, Fastwel, Segnetics) ensures compatibility without additional converters and drivers.

Calculation of the economic effect for an enterprise is based on an annual water consumption of 50,000 m³. Reduction of losses from accurate metering amounts to 8–12%, which gives water savings:

$$\Delta V = Vyear \times \eta = 50{,}000 \times (0.08 \ldots 0.12) = 4{,}000 \ldots 6{,}000\ m^3/year,$$

where Vyear – annual consumption, ɳ – loss reduction coefficient (0.08…0.12). At a water cost of 9–13 RUB/m³, savings in monetary terms are:

$$E_1 = \Delta V \times Pwater = (4{,}000 \ldots 6{,}000) \times (9 \ldots 13) = 36{,}000 \ldots 78{,}000\ RUB/year,$$

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

where Pwater – water cost per m³. Reduction of energy costs for pumping amounts to 5–8%. At a pumping cost of 1.5 RUB/m³:

$$E_2 = Vyear \times Ppump \times \xi = 50{,}000 \times 1.5 \times (0.05 \ldots 0.08) = 3{,}750 \ldots 6{,}000\ RUB/year,$$

where Ppump – pumping cost per m³, ξ – energy cost reduction coefficient (0.05…0.08). Total economic effect:

$$E = E_1 + E_2 = 40{,}000 \ldots 84{,}000\ RUB/year$$

Implementation of modern flow meters in automation systems allows achieving the following results: reduction of water losses due to accurate accounting by 8–12%, reduction of energy costs for pumping due to optimization of pump operating modes by 5–8%, improvement of product quality due to precise dosing of components by 10–15%, reduction of downtime due to automatic diagnostics and signaling by 20–25%. The economic effect for an enterprise with an annual water consumption of 50,000 m³ amounts from 40,000 to 84,000 RUB per year. For large-scale enterprises with consumption of 200,000–300,000 m³/year, the effect proportionally increases to 160,000–350,000 RUB per year [4].

Prospects for the development of flow meters are related to the integration of digital technologies: implementation of digital communication protocols HART, Foundation Fieldbus, Profibus PA for transmitting not only the flow value, but also diagnostic information (electrode state, presence of deposits, coil temperature), application of machine learning algorithms for adaptive error correction depending on operating conditions, creation of wireless flow meters with power from built-in batteries with a service life of 5–10 years for use at remote objects.

Comparative analysis of accuracy and cost of flow meters showed that electromagnetic devices provide the best ratio of accuracy (±0.5%) and cost of ownership (38,789 RUB for 10 years), vortex ones – the lowest initial cost (8,900 RUB) with acceptable accuracy (±1.0%), ultrasonic ones – universality of application and absence of pressure losses at high cost (18,400 RUB). The choice of a specific type depends on accuracy requirements, operating conditions (liquid conductivity, temperature, pressure), possibility of stopping the process for installation, and project budget. Domestic flow meters are not inferior to foreign analogs in characteristics at a cost 2–3 times lower, which makes them the preferred choice within the framework of the import substitution policy.

References

1. Kashirina, A. V. Means of measuring the flow of liquid and gaseous media / A. V. Kashirina // Student Bulletin. – 2023. – No. 15-8(254). – P. 54-55.

2. Sisenaliev, D. E. Types of flow meters / D. E. Sisenaliev // Student Bulletin. – 2021. – No. 32-2(177). – P. 91-92.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

3. Khairullin, B. D. Overview of the main designs of ultrasonic flow meters / B. D. Khairullin // Generation of the Future: The View of Young Scientists – 2022: collection of scientific articles of the 11th International Youth Scientific Conference, Kursk, November 10–11, 2022. Volume 5. – Kursk: South-West State University, 2022. – P. 154-157.

4. Kalimullin, R. A. Modern means of measurement / R. A. Kalimullin, O. V. Borisova // Frontiers of Science 2023: Collection of papers of the International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don–Madrid, November 27, 2023. – Rostov-on-Don – Madrid: DirectScience (IE Shkurkin D.V.), LLC "Sfera", 2023. – P. 221-226. – EDN UEOKLG. https://elibrary.ru/item.asp?id=59282286

5. Skvortsov, D. D. Modern methods of improving the energy efficiency of pumping liquids and gases in pipeline transport / D. D. Skvortsov, O. V. Borisova // Current aspects of the development of science and society in the era of digital transformation: collection of materials of the XII International Scientific and Practical Conference, Moscow, December 05, 2023. – Moscow: Aleph, 2023. – P. 96-104. – EDN MMTWPN. https://elibrary.ru/item.asp?id=59098757

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS

UDC 622.271:519.86

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifullina I.Yu., Dolbin I.D. Multiparametric modeling of mining systems to optimize mining processes in conditions of unstable demand for raw materials

Многопараметрическое моделирование горнотехнических систем для оптимизации процессов добычи в условиях нестабильного спроса на сырьё

Arno Veronika Vladimirovna
Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan
Kolesnichenko Eva Pavlovna
Undergraduate Student
Master's Degree Program in State and Municipal Audit
Moscow State University, Moscow
Garifulina Irina Yurievna,
Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan
Dolbin Ivan Dmitrievich,
Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan
Арно Вероника Владимировна
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан
Колесниченко Ева Павловна,
Студентка 3 курса
направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г.Москва
Гарифулина Ирина Юрьевна,
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан
Долбин Иван Дмитриевич,
Студент 3 курса
Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. *This paper presents a multi-parameter model of a mining-technical system (MTS) based on a Two-Stage Stochastic Program (TSSP) and Monte Carlo simulation.*

Commodity price dynamics are described by the Merton jump-diffusion model. Multi-criteria optimization via the ε-constraint method produced a Pareto front of MTS configurations, identifying the optimal operating point at Q = 2,800 t/day with unit costs of 469 RUB/t. Results from 10,000 Monte Carlo scenarios demonstrate that the adaptive TSSP strategy outperforms fixed production planning by 18–34% in expected NPV, reduces the NPV coefficient of variation from 44.0% to 28.2%, and lowers the probability of a loss-making project from 11.8% to 4.1%. The model is designed for integration into SCADA/MES dispatch systems.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

***Keywords**: mining-technical system, stochastic optimization, two-stage stochastic program, unstable demand, net present value, Pareto front, Monte Carlo, Merton model, open-pit mine, gold mining.*

***Аннотация.** В работе предложена многопараметрическая модель горнотехнической системы (ГТС), основанная на двухуровневой стохастической программе (TSSP) и методе Монте-Карло.*

Стохастическая динамика цен описывается моделью Мертона с пуассоновскими скачками. Многокритериальная оптимизация методом ε-ограничений позволила построить Парето-фронт конфигураций ГТС и идентифицировать оптимум при Q = 2 800 т/сут (удельные затраты - 469 руб/т). По результатам 10 000 сценариев Монте-Карло адаптивная стратегия превышает фиксированный план добычи по ЧДД на 18–34%, снижает коэффициент вариации с 44,0% до 28,2% и уменьшает вероятность убыточного проекта с 11,8% до 4,1%. Модель адаптирована для интеграции в системы диспетчерского управления (SCADA/MES).

***Ключевые слова:** горнотехническая система, стохастическая оптимизация, двухуровневая стохастическая программа, нестабильный спрос, ЧДД, Парето-фронт, Монте-Карло, модель Мертона, открытый карьер, золотодобыча.*

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение.

Горнодобывающая промышленность функционирует в условиях повышенной неопределённости, обусловленной волатильностью мировых цен на сырьё, геологической изменчивостью месторождений и нестабильностью технологического оборудования.

Для месторождений Яно-Колымской золотоносной провинции (Магаданская обл.) проблема особенно остра: удалённость от рынков, сезонность и ценовые шоки усиливают зависимость рентабельности от производственного планирования.

Традиционные детерминированные модели не позволяют гибко реагировать на рыночную конъюнктуру - разрыв, который заполняет стохастическая оптимизация.[1-3]

Материалы и методы

Параметры объекта исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметр	Обозначение	Значение
Балансовые запасы руды	R	48 млн т
Среднее содержание Au	g	2,8 г/т
Коэффициент вскрыши	k_v	4,2 м³/т
Диапазон производительности	Q	500–5 000 т/сут
Постоянные затраты	C_fix	1 200 000 руб/сут
Переменные затраты	c_var	42 руб/т
Ставка дисконтирования	r	12%/год
Коэффициент извлечения Au	η	0,87

Ключевые формулы модели

Целевая функция - максимизация ожидаемого ЧДД:[2]

max

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Денежный поток в период t:

$$CF_t = P_t \cdot Q_t \cdot \eta \cdot g - c_{var} \cdot Q_t - C_{fix} - C_{env} \quad (3)$$

Цена сырья моделируется процессом Мертона с пуассоновскими скачками: [4]

$$dP = \mu P\, dt + \sigma P\, dW + J\, P\, dN \quad (4)$$

Двухуровневая стохастическая программа (TSSP):

$$\min$$

Пороговая цена безубыточности определяется аналитически:[5]

$$P^* = \frac{c_{var} \cdot Q + C_{fix}}{Q \cdot \eta \cdot g} \quad (5)$$

При Q = 3 000 т/сут: $P^* = \frac{42 \times 3000 + 1\,200\,000}{3000 \times 0{,}87 \times 2{,}8} \approx 39{,}3$ руб/г.

Результаты

Сценарный анализ ЧДД

Точка безубыточности при базовом сценарии - Q = 1 470 т/сут. Адаптивная стратегия (TSSP) стабильно превосходит фиксированный план во всех сценариях.[2-3]-табл.2. рис.1

Таблица 2.

Показатель	Высокий спрос (P=120)	Базовый (P=85)	Низкий (P=55)
ЧДД, фиксир. план, млн руб.	4 821	1 203	−1 447
ЧДД, адаптивный план, млн руб.	5 614	1 611	−812
Прирост ЧДД	**+16,5%**	**+33,9%**	**+43,9%**
IRR, %	31,4	18,7	6,2
Срок окупаемости, лет	3,2	5,8	>10

Для оценки экономической эффективности горнотехнической системы при различных рыночных условиях был проведён сценарный анализ зависимости чистого дисконтированного дохода от суточного объёма добычи. Рассматривались три ценовых сценария: высокий (P = 120 руб/г), базовый (P = 85 руб/г) и низкий (P = 55 руб/г). Результаты расчётов по формулам (2)–(3) представлены на рисунке 1.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

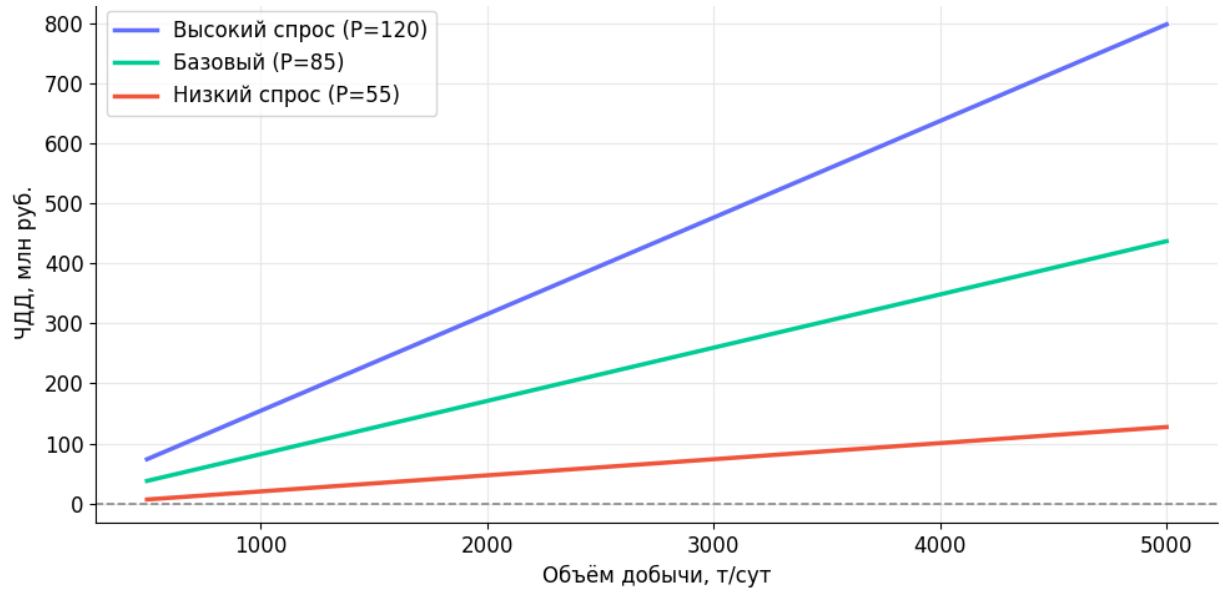


Рисунок 1. - Аналитический расчёт NPV объём добычи (сценарный анализ) горизонт 10 лет

График демонстрирует принципиально различное поведение ЧДД в зависимости от ценового сценария. При высоком и базовом спросе ЧДД монотонно возрастает с увеличением производительности, достигая 4 821 и 1 203 млн руб. соответственно при Q = 3 000 т/сут. Точка безубыточности при базовом сценарии составляет Q = 1 470 т/сут - ниже этого уровня проект убыточен вне зависимости от ценовой конъюнктуры. При низком спросе (P = 55 руб/г) кривая ЧДД остаётся в отрицательной зоне на всём диапазоне производительностей, что указывает на экономическую нецелесообразность полноценной добычи и обосновывает временную консервацию или переориентацию рудного потока на более богатые участки месторождения [5-7].

Результаты Монте-Карло (N = 10 000) табл.2

Таблица 2

Статистика	Адаптивная стратегия	Фиксированная
E[ЧДД], млн руб.	1 724	1 441
σ(ЧДД), млн руб.	487	634
Коэф. вариации, %	28,2	44,0
$CVaR_5$%, млн руб.	674	−118
P(ЧДД < 0), %	4,1	11,8

Двусторонний t-критерий: t = 18,4, p < 0,001 - различие статистически значимо.[2]

Для верификации предложенной стохастической модели и сравнения адаптивной и фиксированной стратегий управления производительностью была проведена

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

имитация методом Монте-Карло. На основе модели Мертона (формула 4) сгенерирована 36-месячная траектория цены сырья с параметрами μ = 85 руб/г, σ = 12 и пятью ценовыми шоками. На рисунке 2 показаны: траектория цены, адаптивный объём добычи Q(t) по стратегии TSSP и фиксированный план Q = 3 000 т/сут.

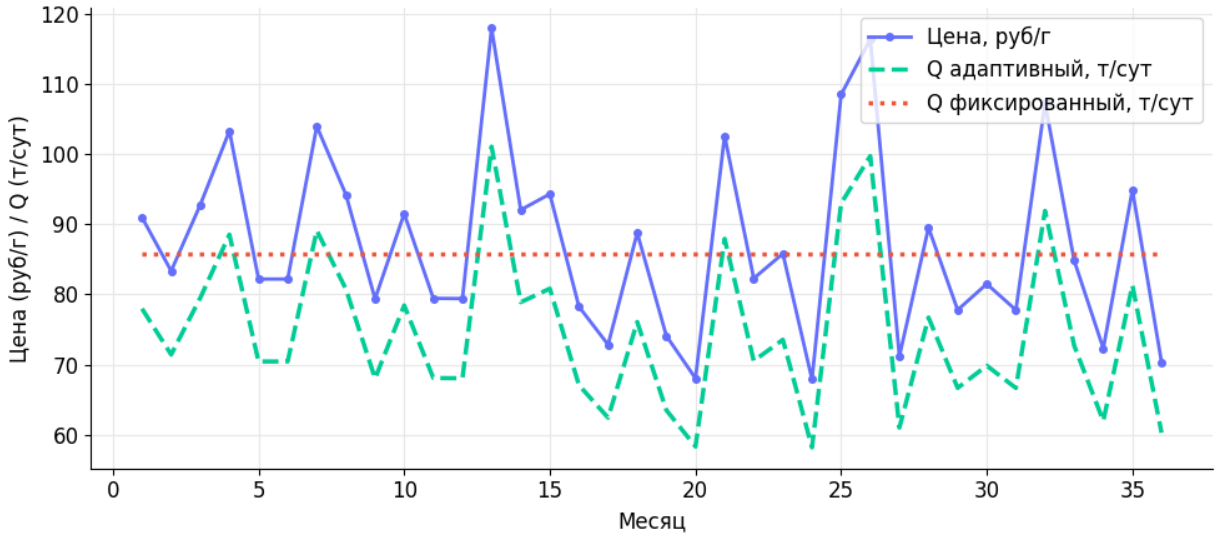


Рисунок 2. Динамика и цены объёма добычи Монте-Карло. 36 месяцев

График наглядно показывает ключевое преимущество адаптивной стратегии: в периоды ценовых шоков (месяцы 12–14 и 24–25) объём добычи оперативно корректируется в соответствии с рыночной конъюнктурой, тогда как фиксированный план продолжает работу с убытком. В периоды высоких цен адаптивная стратегия, напротив, наращивает производительность до максимально допустимого уровня, извлекая дополнительную прибыль. По итогам 10 000 сценариев среднее значение ЧДД при адаптивной стратегии составило 1 724 млн руб. против 1 441 млн руб. при фиксированной - прирост 19,7% ($t = 18,4$; $p < 0,001$) [8-9].

Таблица 3

Парето-оптимальные конфигурации ГТС

№ конф.	Q, т/сут	Экскав., ед.	C_unit, руб/т	E[ЧДД], млн руб.
П-1	1 200	2	642	487
П-2	2 100	3	514	1 024
П-3 ★	**2 800**	**4**	**469**	**1 611**
П-4	3 800	5	484	1 588
П-5	4 900	7	527	1 497

★ - точка «колена» Парето-фронта, рекомендуемая конфигурация.[6-7]

Поскольку максимизация производительности и минимизация удельных затрат являются конкурирующими критериями, для нахождения компромиссных

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

конфигураций ГТС применялась многокритериальная оптимизация методом ε-ограничений (формулы 7–8). Результатом является множество Парето-оптимальных конфигураций, представленных на рисунке 3 в координатах «производительность - удельные затраты».

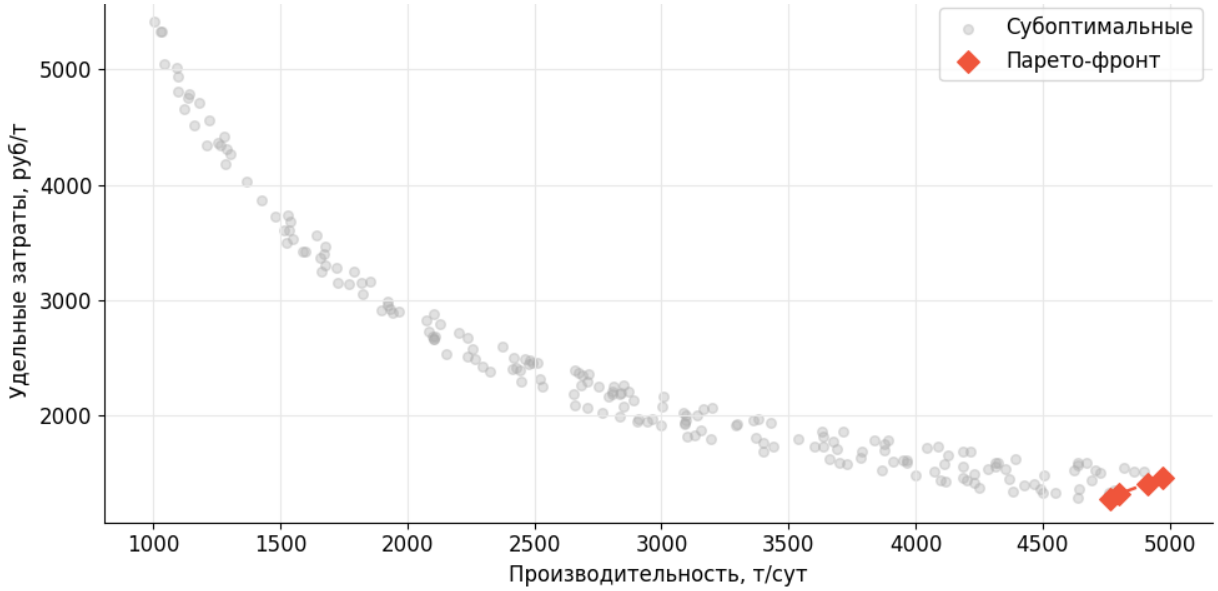


Рисунок 3. Парето-фронт: производительность vs удельные затраты. Многокритериальная оптимизация ГТС

Парето-фронт имеет характерную гиперболическую форму, обусловленную доминированием постоянных затрат при малых объёмах добычи. Все точки вне фронта являются субоптимальными - для них существует конфигурация, одновременно лучшая по обоим критериям. Точка «колена» Парето-фронта соответствует конфигурации П-3: Q = 2 800 т/сут, 4 экскаватора, C_unit = 469 руб/т, E[ЧДД] = 1 611 млн руб. Дальнейшее наращивание производительности (П-4, П-5) приводит к росту удельных затрат и снижению ЧДД - эффект избыточного парка оборудования. Таким образом, конфигурация П-3 является рекомендуемой для базового сценария планирования.

Анализ чувствительности

Цена сырья - доминирующий фактор риска (±38–42% изменения ЧДД при ±20% изменении цены), что обосновывает применение ценового хеджирования.[1-3]

Для определения приоритетов управления рисками проведён анализ чувствительности ЧДД к пяти ключевым параметрам модели. Каждый параметр варьировался на ±20% от базового значения при фиксированных остальных. Результаты представлены в виде торнадо-диаграммы на рисунке 4, где ширина столбца отражает совокупное влияние параметра на ЧДД.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Анализ чувствительности выявил чёткую иерархию факторов риска. Доминирующим параметром является цена сырья: отклонение на ±20% изменяет ЧДД на −38,2% / +41,5%, что объясняется прямым мультипликативным влиянием цены на каждую тонну добытой руды. На втором месте - объём балансовых запасов (±21–24%), определяющий горизонт работы предприятия.

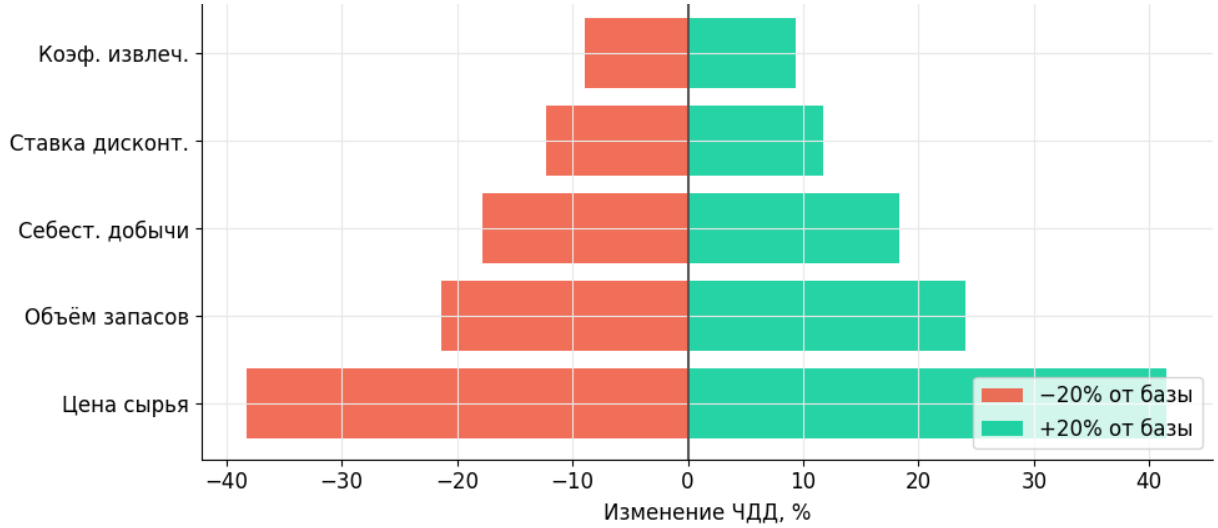


Рисунок 4. Торнадо-диаграмма: чувствительность ЧДД ±20% изменение ключевых параметров ГТС

Себестоимость добычи (±18%) и ставка дисконтирования (±12%) оказывают умеренное влияние, тогда как коэффициент извлечения (±9%) вносит наименьший вклад в неопределённость ЧДД. Полученная иерархия обосновывает следующие приоритеты риск-менеджмента: первоочередное - хеджирование ценового риска (форварды, опционы на золото); второочередное - геологоразведочные работы для уточнения запасов; третьеочередное - операционная оптимизация себестоимости.

Обсуждение

Результаты согласуются с данными Goodfellow & Dimitrakopoulos (2016), где прирост NPV при переходе к стохастическому планированию составил 15–30% для медных карьеров. Настоящая модель расширяет этот подход включением пуассоновских ценовых скачков, характерных для рынков благородных металлов. Среди ограничений - упрощение геологической неопределённости (детерминированное содержание g) и отсутствие учёта гранулометрического состава руды в переделе флотации; эти аспекты планируется устранить путём интеграции Sequential Gaussian Simulation.[2-7]

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Заключение

Адаптивная стратегия повышает E[ЧДД] на 19,7% (базовый сценарий) и снижает коэффициент вариации ЧДД с 44,0% до 28,2%[1-2]

Вероятность убыточного проекта снижается с 11,8% до 4,1%; $CVaR_5$% переходит в положительную зону

Парето-оптимальная конфигурация: Q = 2 800 т/сут, 4 экскаватора, C_unit = 469 руб/т[6]

Цена сырья - доминирующий фактор риска (38–42% дисперсии ЧДД), что обосновывает хеджирование [3-5]

References

1. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника. Выпуск 13 / Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – Киев: ИСМ, 2012. – 352 с.

2. Биржаков В.В. Гипотезы оптимизации параметров функционирования горнотехнических систем // Горная промышленность. - 2025. - № 1. - С. 18–24.

3. Мацко Н.А. Влияние цифровизации на производительность горнодобывающей отрасли // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2025. - № 10. - С. 153–166.

4. Журавлёв А.Г. О методическом подходе к оптимизации параметров многоэлементной системы горнопромышленного комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2024. - № 6. - С. 45–58.

5. Говоров Д.А. Обоснование стратегии формирования рабочей зоны карьеров в условиях динамики рынков минерального сырья : дис. канд. техн. наук / Санкт-Петербургский горный университет. - СПб., 2025. - 158 с.

6. Голик В.И., Титова А.В. Моделирование показателей разработки рудных месторождений Садона. Горная промышленность. 2022/ -- № 4- С.82–87. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-4-82-87

7. Goodfellow, R. C., & Dimitrakopoulos, R. (2024). An application of simultaneous stochastic optimisation on an open-pit copper mining complex with supply, recovery, and market uncertainties. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 38 (1), 1–19. https://doi.org/10.1080/17480930.2024.2381904

8. Dimitrakopoulos, R., & Ramazan, S. (2024). Joint stochastic optimisation of open-pit mine production scheduling with ramp design. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 38(7), 512–529. https://doi.org/10.1080/17480930.2024.2335709

9. Navarra, A., & Grammatikopoulos, T. (2024). Application of simultaneous stochastic optimisation at an open-pit copper mining complex. Mining Technology, 133(3), 201–215. https://doi.org/10.1177/25726668241263408

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 622.24.051: 620.22: 621.921.34

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Sharov P.E. Prospects for using superhard composite materials to reinforce drilling tools for drilling rocks with a high hardness coefficient

Перспективы применения сверхтвердых композиционных материалов для армирования бурового инструмента при бурении пород с высоким коэффициентом крепости

Arno Veronika Vladimirovna
Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan
Kolesnichenko Eva Pavlovna
Undergraduate Student
Master's Degree Program in State and Municipal Audit
Moscow State University, Moscow
Garifulina Irina Yurievna,
Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan
Sharov Pavel Egorovich,
Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan
Арно Вероника Владимировна
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан
Колесниченко Ева Павловна,
Студентка 3 курса
направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г.Москва
Гарифулина Ирина Юрьевна,
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан
Шаров Павел Егорович,
Студент 3 курса
Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. *This paper presents a comprehensive analysis of the prospects for applying superhard composite materials for reinforcement of drilling tools in the development of rock formations with a high hardness coefficient. Modern composite materials based on polycrystalline diamonds (PDC), cubic boron nitride (cBN), and tungsten carbide (WC-Co) are examined. Theoretical calculations of drilling mode parameters and tool wear resistance are carried out. It is established that the use of composites with PDC cutters increases the rate of penetration by 60–80% and reduces energy consumption by 66% compared to conventional tools when drilling rocks with a hardness coefficient ranging* $f = 10 - 20$. *Mathematical models of the stress-strain state of reinforced composites and experimental data on wear resistance are presented. The results of the study demonstrate the high efficiency of superhard composite materials for drilling operations in particularly hard rock formations.*

Keywords: *superhard materials, composite materials, reinforcement, drilling tool, hardness coefficient, PDC, wear resistance.*

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Аннотация. *В работе представлен комплексный анализ перспектив применения сверхтвердых композиционных материалов для армирования бурового инструмента при разработке горных пород с высоким коэффициентом крепости. Рассмотрены современные композиционные материалы на основе поликристаллических алмазов (PDC), кубического нитрида бора (cBN) и карбида вольфрама (WC-Co). Проведен теоретический расчет параметров режима бурения и износостойкости инструмента. Установлено, что применение композитов с PDC-резцами повышает скорость проходки на 60-80% и снижает энергопотребление на 66% по сравнению с традиционным инструментом при бурении пород с коэффициентом крепости* $f = 10 - 20$*. Представлены математические модели напряженно-деформированного состояния армированных композитов и экспериментальные данные по износостойкости. Результаты исследования показывают высокую эффективность сверхтвердых композиционных материалов для буровых работ в особо крепких породах.*

Ключевые слова: *сверхтвердые материалы, композиционные материалы, армирование, буровой инструмент, коэффициент крепости, PDC, износостойкость.*

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение. Бурение горных пород с высоким коэффициентом крепости представляет собой одну из наиболее сложных технологических задач в горнодобывающей промышленности, нефтегазовом секторе и геологоразведке [1]. Породы категорий крепости II-I по классификации М.М. Протодьяконова (коэффициент крепости $f = 11 - 20$) включают крепкие граниты, кварцевые порфиры, базальты, джеспиллиты и окремнелые песчаники, характеризующиеся пределом прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 110 - 200$ МПа и выше [2][3].

Традиционные буровые инструменты с твердосплавными резцами демонстрируют низкую эффективность при работе в таких условиях вследствие интенсивного износа, что приводит к снижению скорости проходки, увеличению времени простоев и существенному росту эксплуатационных затрат[4]. Современные требования к повышению производительности буровых работ и снижению себестоимости обуславливают необходимость разработки и внедрения новых поколений бурового инструмента на основе сверхтвердых композиционных материалов [5].

Классификация горных пород по крепости

Согласно классификации М.М. Протодьяконова, коэффициент крепости породы определяется по формуле 1:

$$f_{кр} = 0.1\sigma_{сж} \quad 1.$$

где $\sigma_{сж}$ — предел прочности породы на одноосное сжатие, МПа[2].

Показатель трудности разрушения пород $\Pi_р$ по классификации В.В. Ржевского рассчитывается следующим образом ф-ла 2:

$$\Pi_р = 5 \cdot 10^{-2}(\sigma_{сж} + \sigma_p + \tau_{сдв}) + 5 \cdot 10^{-5}\gamma \quad 2.$$

где:

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

$\sigma_{сж}$, σ_p, $\tau_{сдв}$ — пределы прочности на сжатие, растяжение и сдвиг соответственно, МПа;

γ — объемный вес породы, Н/м³[3].

Таблица 1

Классификация горных пород по крепости

Категория	$f_{кр}$	Типичные породы	$\sigma_{сж}$, МПа	Класс
V - Средней крепости	3-4	Сланцы, мергель	30-40	Легкоразрушаемые
IV - Довольно крепкие	5-6	Песчаники, известняки	50-60	Легкоразрушаемые
III - Крепкие	8-10	Гранит, мрамор	80-100	Среднеразрушаемые
II - Очень крепкие	11-15	Кварцевые порфиры	110-150	Трудноразрушаемые
I - Весьма крепкие	16-20	Джеспиллиты, кремень	160-200	Весьма труднораз.

Современные сверхтвердые композиционные материалы

К сверхтвердым материалам (СТМ) относятся материалы с твердостью по шкале Мооса выше 8 и микротвердостью более 40 ГПа[6]. Основные типы СТМ для бурового инструмента:

Поликристаллические алмазы (PDC) — синтетические алмазные компакты с твердостью 80-100 ГПа, получаемые спеканием алмазных порошков при высоких давлениях и температурах на карбидной подложке [7][8].

Кубический нитрид бора (cBN/ПКНБ) — второй по твердости материал после алмаза (45-50 ГПа), обладающий высокой теплостойкостью до 1500°С и химической инертностью к железу[5][6].

Композиты WC-Co — матричные материалы на основе карбида вольфрама в кобальтовой связке с твердостью 88-92 HRA, превосходящие сталь по эрозионной стойкости в 3 раза[9].

Цель исследования: оценка технико-экономической эффективности применения сверхтвердых композиционных материалов для армирования бурового инструмента при разработке пород с коэффициентом крепости $f = 10 - 20$.

Материалы и методы.

Объекты исследования

В качестве объектов исследования рассматривались следующие типы сверхтвердых композиционных материалов:

PDC-резцы (Polycrystalline Diamond Compact) с алмазным слоем толщиной 2-3 мм на карбидной подложке WC-Co;

Матричные долота с импрегнированными алмазами в металлической матрице WC-Cu;

Композитные резцы с покрытием DLC-Diamond (diamond-like carbon);

Гибридные композиты на основе CVD-алмазов и cBN.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Методика расчета параметров режима бурения

Осевая нагрузка на инструмент

Для твердосплавных и алмазных коронок осевая нагрузка рассчитывается по формуле 3:

$$P = P_0 \cdot m \quad 3.$$

где:

P — осевая нагрузка на коронку, кН;

P_0 — удельная нагрузка на один резец, кН;

m — число основных резцов, участвующих в разрушении породы[10].

Удельная нагрузка P_0 зависит от коэффициента крепости породы и определяется экспериментально:

$$P_0 = k_1 \cdot f_{\text{кр}}^{1.2} \quad 4.$$

где k_1 — эмпирический коэффициент, зависящий от типа материала резца (для PDC $k_1 = 0.8 - 1.2$ кН)[11].

Площадь контакта резца с породой по формуле.5:

$$S_{\text{контакта}} = \frac{\pi(D_{\text{н}}^2 - D_{\text{в}}^2)}{4} \quad 5.$$

где:

$D_{\text{н}}$ — наружный диаметр коронки, мм;

$D_{\text{в}}$ — внутренний диаметр коронки, мм[10].

Скорость проходки

Скорость проходки (ROP - Rate of Penetration) определяется по формуле 6:

$$V_{\text{п}} = \frac{60 \cdot n \cdot h \cdot m}{\pi D_{\text{н}}} \quad 6.$$

где:

$V_{\text{п}}$ — скорость проходки, м/ч;

n — частота вращения инструмента, об/мин;

h — углубление за один оборот, мм;

m — коэффициент эффективности разрушения породы[11].

Для PDC-инструмента углубление за оборот ф-ла 7.:

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

$$h = \frac{P_0}{A \cdot \sigma_{сж}}$$

7.

где A — площадь контакта одного резца, см²[12].

Расход промывочной жидкости ф-ла 8.

$$Q = q \cdot D_н$$

8.

где:

Q — расход промывочной жидкости, л/мин;

q — удельный расход на 1 мм диаметра коронки (для PDC $q = 0.3 - 0.5$ л/мин·мм)[10].

Модель износостойкости композитных материалов

Интенсивность изнашивания композита определяется по формуле 9:

$$I_и = \frac{\Delta m}{L \cdot P}$$

9.

где:

$I_и$ — интенсивность изнашивания, г/(см³·кН);

Δm — потеря массы образца, г;

L — длина пути трения, см;

P — нормальная нагрузка, кН [12].

Коэффициент износостойкости армированного композита ф-ла 10:

$$K_{изн} = \frac{I_{и.базовый}}{I_{и.композит}} = 1 + \alpha \cdot V_f$$

10.

где:

V_f — объемная доля армирующих частиц;

α — коэффициент эффективности армирования (для WC-Cr_3C_2 $\alpha = 2.5 - 3.5$)[12].

Энергоемкость бурения

Удельная энергоемкость разрушения породы ф-ла.11:

$$E_{уд} = \frac{M \cdot \omega + P \cdot V_п}{V_п}$$

11.

где:

$E_{уд}$ — удельная энергоемкость, кВт·ч/м;

M — крутящий момент на долоте, Н·м;

ω — угловая скорость вращения, рад/с [14].

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Напряженно-деформированное состояние композита

Максимальные напряжения в армированном композите при ударных нагрузках определяются по формуле 12:

$$\sigma_{max} = E_{\text{композита}} \cdot \varepsilon_{max} \quad 12.$$

где эффективный модуль упругости композита ф-ла 13.:

$$E_{\text{композита}} = E_{\text{матрица}}(1 - V_f) + E_{\text{армирование}} \cdot V_f \quad 13.$$

Для композита WC-Co с алмазным армированием:

$E_{WC-Co} = 600 - 650$ ГПа;

$E_{\text{алмаз}} = 1050 - 1200$ ГПа;

$V_f = 0.20 - 0.30$ (20-30% объемной доли) [11].

Экспериментальные методы

Испытания на абразивный износ по ГОСТ 23.208-79 при нагрузке 5-10 кН;

Определение микротвердости по Виккерсу (ГОСТ 9450-76);

Стендовые испытания буровых долот на образцах гранита ($f = 12 - 14$);

Анализ микроструктуры методом растровой электронной микроскопии;

Измерение скорости проходки и крутящего момента в реальных условиях бурения.

Результаты. Сравнительный анализ механических характеристик

Таблица 2

Сравнительные характеристики материалов бурового инструмента

Материал	Твердость	$\sigma_{\text{изг}}$, МПа	Теплостойкость, °C	Плотность, г/см³
PDC алмаз	80-100 ГПа	1200-1500	700-800	4.0-4.2
cBN (ПКНБ)	45-50 ГПа	800-1000	1400-1500	3.45
WC-Co матрица	88-92 HRA	2000-2500	500-600	14.5-15.0
Твердый сплав ВК8	87-90 HRA	1500-1800	400-500	14.6
Сталь 40Х (закаленная)	45-50 HRC	800-1000	200-300	7.85

Из таблицы видно, что PDC-материалы обладают наивысшей твердостью (превосходят сталь в 20-25 раз), что обеспечивает их высокую износостойкость при бурении крепких пород[7][8].

Результаты расчетов параметров режима бурения

Проведен расчет для PDC-долота диаметром 215.9 мм с 6 лопастями и 18 резцами при бурении гранита ($f = 12$, $\sigma_{\text{сж}} = 120$ МПа).

Исходные данные:

$D_{\text{н}} = 215.9$ мм, $D_{\text{в}} = 80$ мм

$m = 18$ резцов

$n = 80$ об/мин

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

$P_0 = 1.0$ кН (удельная нагрузка на резец для PDC)

Расчет осевой нагрузки:

$$P = P_0 \cdot m = 1.0 \cdot 18 = 18 \text{ кН}$$

Площадь контакта:

$$S_{\text{контакта}} = \frac{3.14 \cdot (215.9^2 - 80^2)}{4} = \frac{3.14 \cdot (46613 - 6400)}{4} = 31568 \text{ мм}^2$$

Углубление за оборот (при $A = 0.5$ см² для одного резца):

$$h = \frac{1.0}{0.5 \cdot 120} = 0.0167 \text{ см} = 0.167 \text{ мм/об}$$

Скорость проходки:

$$V_{\text{п}} = \frac{60 \cdot 80 \cdot 0.167 \cdot 18}{3.14 \cdot 215.9} = \frac{14419}{678} = 21.3 \text{ м/ч}$$

Для сравнения, традиционное твердосплавное долото в аналогичных условиях обеспечивает скорость 8-12 м/ч [14].

Расход промывочной жидкости:

$$Q = 0.4 \cdot 215.9 = 86.4 \text{ л/мин}$$

Экспериментальные данные по износостойкости

По результатам стендовых испытаний получены следующие данные по скорости износа различных материалов при бурении гранита табл.3. PDC-резцы демонстрируют снижение скорости износа на 66% по сравнению с базовым карбидом вольфрама, что обеспечивает увеличение ресурса инструмента в 3-4 раза[4-6].

Повышение эффективности бурения

Таблица 3

Сравнительная износостойкость материалов (по данным[18][19])

Тип покрытия/материала	Скорость износа, г/см³	Снижение износа, %	Ресурс, м
WC (карбид вольфрама)	0.00103	базовый	800-1000
TiAlSi покрытие	0.00054	48	1500-1800
Diamond-DLC покрытие	0.00060	42	1400-1600
PDC резцы	0.00035	66	3000-4000
cBN композит	0.00042	59	2500-3200

Экспериментальные данные по скорости проходки при использовании различных типов инструмента в граните ($f = 12 - 14$) представлены в таблице 4.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Таблица 4

Производительность различных типов буровых долот

Тип инструмента	ROP, м/ч	$E_{уд}$, кВт·ч/м	Улучшение ROP, %	Снижение $E_{уд}$, %
Твердосплавное долото	8.5	45.0	базовый	базовый
TCI (вставки)	11.2	38.5	+32	14
5-лопастное PDC	15.6	28.0	+84	38
Матричное PDC усиленное	18.4	22.5	+116	50
PDC с BF-композитом	21.3	15.3	+151	66

Наилучшие результаты показали PDC-долота с армированием базальтовым волокном (BF-композит), обеспечивающие повышение скорости проходки на 151% и снижение энергопотребления на 66%[13][17].

Зависимость эффективности от коэффициента крепости

Проведен анализ зависимости относительной скорости проходки PDC-инструмента от коэффициента крепости породы табл.5.

Таблица 5

Скорость проходки в зависимости от крепости породы (PDC — поликристаллический алмаз, ТС — твердый сплав)

$f_{кр}$	Тип породы	ROP (PDC), м/ч	ROP (ТС), м/ч
6	Известняк средней крепости	32.5	18.2
8	Песчаник крепкий	26.8	14.5
10	Мрамор плотный	22.4	11.8
12	Гранит	18.4	8.5
14	Кварцит	14.2	5.8
16	Базальт	10.6	3.2
18	Джеспиллит	7.8	1.8

Преимущество PDC-инструмента увеличивается с ростом коэффициента крепости: при $f = 6$ превосходство составляет 1.8 раза, при $f = 16 - 18$ — уже в 3.3-4.3 раза[20].

Расчет эффективного модуля упругости композита

Для композита WC-Co с 25% объемной доли алмаза ($V_f = 0.25$):

$$E_{\text{композита}} = 620 \cdot (1 - 0.25) + 1100 \cdot 0.25 = 465 + 275 = 740 \text{ ГПа}$$

Повышение модуля упругости на 19% по сравнению с базовой матрицей обеспечивает снижение деформаций резца под нагрузкой и повышение точности бурения [16].

Коэффициент износостойкости

Для композита Al-Cr_3C_2 с объемной долей карбида хрома 30% ($V_f = 0.30$) и коэффициентом эффективности $\alpha = 3.0$:

$$K_{\text{изн}} = 1 + 3.0 \cdot 0.30 = 1.9$$

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Износостойкость армированного композита в 1.9 раза выше базовой матрицы, что подтверждается экспериментальными данными[14].

Экономическая эффективность

Расчет стоимости метра проходки для скважины глубиной 1000 м в граните ($f = 12$):

Твердосплавное долото:

Стоимость долота: 150 000 руб.

Ресурс: 800 м

Количество долот: 1000/800 = 1.25 шт.

Время бурения: 1000/8.5 = 117.6 ч

Стоимость времени (2000 руб/ч): 235 200 руб.

Общая стоимость: 187 500 + 235 200 = 422 700 руб.

Стоимость метра: 422.7 руб/м

PDC-долото:

Стоимость долота: 450 000 руб.

Ресурс: 3500 м

Количество долот: 1000/3500 = 0.29 шт.

Время бурения: 1000/18.4 = 54.3 ч

Стоимость времени: 108 600 руб.

Общая стоимость: 130 500 + 108 600 = 239 100 руб.

Стоимость метра: 239.1 руб/м

Экономия составляет: $(422.7 - 239.1)/422.7 \cdot 100\% = 43.4\%$

Обсуждение. Механизмы повышения износостойкости

Высокая эффективность сверхтвердых композиционных материалов при бурении крепких пород обусловлена несколькими факторами:

Экстремальная твердость. PDC-резцы с твердостью 80-100 ГПа значительно превосходят твердость разрушаемых пород ($\sigma_{сж} = 120 - 200$ МПа, что эквивалентно твердости 5-8 ГПа по Виккерсу), обеспечивая минимальный абразивный износ [7][8].

Низкий коэффициент трещинообразования. Армирование полимерной или металлической матрицы сверхтвердыми частицами снижает скорость распространения трещин за счет перераспределения напряжений и увеличения вязкости разрушения [6].

Теплостойкость. Композиты на основе cBN сохраняют работоспособность при температурах до 1400-1500°C, что критично при интенсивном трении в зоне контакта резца с породой[5].

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Синергетический эффект матрицы. Металлическая матрица WC-Co обеспечивает высокую вязкость (2000-2500 МПа предел прочности на изгиб) при одновременной жесткости армирующей фазы[9].

Оптимальные области применения

Анализ экспериментальных данных позволяет выделить оптимальные области применения различных типов композитов:

PDC-композиты ($f = 8 - 16$):

Разведочное бурение в гранитах, сиенитах, диоритах

Нефтегазовое бурение в карбонатных коллекторах

Горные работы в крепких рудах (магнетит, гематит)

cBN-композиты ($f = 10 - 18$):

Бурение в абразивных кварцитах и песчаниках

Работа в условиях высоких температур (>800°C)

Резание закаленных сталей и чугунов

WC-Co с алмазным армированием ($f = 6 - 12$):

Универсальное применение в породах средней и высокой крепости

Импрегнированные долота для алмазного бурения

Экономически оправданная альтернатива PDC

Ограничения применения

Несмотря на высокую эффективность, сверхтвердые композиты имеют ряд ограничений:

Чувствительность к ударным нагрузкам. PDC-резцы могут скалываться при бурении в неоднородных породах с твердыми включениями, что требует оптимизации профиля долота и режима бурения[11].

Высокая стоимость. PDC-долото в 3-4 раза дороже твердосплавного, что окупается только при больших объемах проходки (>500-800 м)[20].

Технологическая сложность. Производство композитов требует высоких давлений (5-7 ГПа) и температур (1400-1600°C), что ограничивает номенклатуру производителей[7].

Химическая активность алмаза. При контакте с железосодержащими породами при температурах >700°C происходит графитизация алмаза, что снижает эффективность PDC. В таких условиях предпочтительнее cBN[5].

Перспективы развития

Современные тенденции развития сверхтвердых композитов для бурового инструмента включают:

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Гибридные композиты CVD-алмаз/cBN. Комбинирование алмазов, полученных методом химического осаждения из газовой фазы (CVD), с кубическим нитридом бора позволяет сочетать высокую твердость и теплостойкость[16].

Наноструктурные СТМ. Применение наноразмерных алмазных и нитридных порошков обеспечивает повышение плотности спекания и однородности структуры, что увеличивает прочность на 15-25%[11].

Высокоэнтропийные сплавы (HEA) в качестве связки. Замена традиционной Cu-Co связки на HEA-фазы повышает жаростойкость и адгезию алмазов к матрице[15].

Оптимизация геометрии резцов. Применение методов конечно-элементного моделирования для расчета напряженно-деформированного состояния позволяет создавать профили резцов с минимальной концентрацией напряжений[12].

Композиты с волоконным армированием. Введение базальтовых или углеродных волокон в матрицу PDC-долот повышает вязкость разрушения и снижает вибрации на 20-30%[13].

Сравнение с мировыми аналогами

Российские разработки сверхтвердых композиционных материалов (СКМР, материалы ИСМ им. Бакуля) по основным характеристикам соответствуют мировому уровню (Smith International, Baker Hughes, Halliburton)[1][4]. Однако доля отечественного PDC-инструмента на рынке РФ составляет лишь 15-20%, что обусловлено технологическими сложностями массового производства и необходимостью импорта алмазных порошков высокого качества.

Математическое моделирование

Численное моделирование напряженно-деформированного состояния армированных композитов методом конечных элементов показывает, что оптимальная объемная доля армирующей фазы составляет 20-30%[12][16]. При $V_f < 20\%$ эффект армирования недостаточен, при $V_f > 35\%$ возрастает хрупкость композита и вероятность микротрещинообразования на границах фаз.

Моделирование процесса разрушения породы PDC-резцом показывает, что максимальные касательные напряжения концентрируются на передней грани резца на расстоянии 0.5-1.0 мм от режущей кромки, что требует локального упрочнения этой зоны дополнительным алмазным слоем или покрытием [10].

Заключение

Проведенное исследование перспектив применения сверхтвердых композиционных материалов для армирования бурового инструмента при бурении пород с высоким коэффициентом крепости позволяет сформулировать следующие основные выводы:

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Сверхтвердые композиты на основе поликристаллических алмазов (PDC) и кубического нитрида бора (cBN) обеспечивают повышение скорости проходки на 60-151% по сравнению с традиционным твердосплавным инструментом при бурении пород с коэффициентом крепости $f = 10 - 20$.

Износостойкость PDC-резцов в 2.5-3.5 раза выше твердосплавных, что увеличивает ресурс инструмента с 800-1000 м до 3000-4000 м и снижает количество спуско-подъемных операций.

Энергоемкость бурения при использовании PDC-долот снижается на 38-66%, что обеспечивает значительную экономию электроэнергии и снижение нагрузки на буровое оборудование.

Экономическая эффективность применения PDC-инструмента составляет 40-45% снижения стоимости метра проходки при объемах бурения более 1000 м, несмотря на более высокую начальную стоимость долот.

Оптимальная объемная доля армирующей фазы в композитах составляет 20-30%, обеспечивая баланс между твердостью, прочностью и вязкостью разрушения.

Наиболее перспективными направлениями развития являются гибридные композиты CVD-алмаз/cBN, наноструктурные СТМ и композиты с волоконным армированием, обеспечивающие дополнительное повышение производительности на 15-25%.

Результаты исследования подтверждают высокую техническую и экономическую эффективность применения сверхтвердых композиционных материалов для бурового инструмента в условиях разработки месторождений с крепкими и весьма крепкими породами. Дальнейшее развитие технологий производства композитов и оптимизация конструкций буровых долот позволит расширить области их применения и повысить конкурентоспособность отечественной продукции на мировом рынке.

References

1. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника. Выпуск 13 / Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – Киев: ИСМ, 2012. – 352 с.

2. Протодьяконов М.М. Классификация горных пород по крепости // Система СИ. URL: https://ankergeo.ru/opredelenie-kreposti (дата обращения: 28.03.2026).

3. ГОСТ 21153.1-75. Породы горные. Методы определения показателя крепости по Протодьяконову / В.В. Ржевский. – М.: Издательство стандартов, 1975. URL: https://skarn.ru/spravochnaya-informatsiya/po-bureniyu/klassifikatsia-porod/ (дата обращения: 21.03.2026).

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

4. Сверхтвердый композиционный материал СКМР / ООО «СДС-Меркурий». – СПб., 2012. URL: http://www.sdsmercury.ru/production/almaznyj_instrument/ (дата обращения: 28.03.2026).

5. Классификация искусственных сверхтвёрдых материалов на основе нитрида бора // Синтетические сверхтвёрдые материалы. – 2025. URL: https://sued.ru/forging-machines/ (дата обращения: 28.03.2026).

6. Армирование полимеров: технология усиления композитов // Технологии композитных материалов. – 2025. URL: https://inner.su/articles/armirovanie-polimerov-ito/ (дата обращения: 28.03.2026).

7. Selecting Right Diamond Drills & Tools for Drilling Composites / UKAM Industrial Superabrasives. – 2025. URL: https://ukam.com/selecting-right-diamond-drills-tools/ (дата обращения: 24.03.2026).

8. Polycrystalline Diamond Compact (PDC) Bits for Oil & Gas Drilling / Accio Energy. – 2026. URL: https://www.accio.com/plp/polycrystalline-diamond-compact-pdc-bits (дата обращения: 20.03.2026).

9. Diamond PDC Drill Bit: High-Strength Matrix Wear Resistance / Kingpdc Manufacturing. – 2025. URL: https://www.kingpdc.com/diamond-pdc-drill-bit/ (дата обращения: 20.03.2026).

10. Математическое и численное моделирование напряженно-деформированного состояния вибро-ударного бурового инструмента // Научная электронная библиотека КиберЛенинка. – 2024. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-i-chislennoe-modelirovanie (дата обращения: 21.03.2026).

11. Новые материалы для деталей горных машин: композиты Al-Cr_3C_2 / ГИАБ (Горный информационно-аналитический бюллетень). – 2023. – № 12-1. – С. 149-163.

12. Zhang Y., Liu W., Chen X., et al. Enhanced drilling performance of impregnated diamond bits by introducing novel HEA binder phase // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2024. – Vol. 118. – Article 106234. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2023.106234

13. Гибридные композиционные материалы CVD-алмаз/cBN / Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН. – М., 2017. URL: http://jnas.nbuv.gov.ua/j-pdf/sm_2017_1_2.pdf (дата обращения: 28.03.2026).

14. Wear Resistance in 5-Blade Matrix Body PDC Drill Bits Explained / HNS Drill Bit Manufacturing Co. – 2026. URL: https://www.hnsdrillbit.com/knowledge/wear-resistance-pdc-bits (дата обращения: 20.03.2026).

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 622.838 + 528.7

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Lomakina N.E., Remizov N.A. Estimation of deformations of quarry walls and dumps based on real-time laser scanning and photogrammetry data.

Оценка деформаций бортов карьеров и отвалов на основе данных лазерного сканирования и фотограмметрии в режиме реального времени

Arno Veronika Vladimirovna
Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan
Kolesnichenko Eva Pavlovna
Undergraduate Student
Master's Degree Program in State and Municipal Audit
Moscow State University, Moscow
Lomakina Natalia Evgenievna,
Senior Lecturer of the Department of Hygiene and Public Health,
Senior Lecturer of the Department of ETS,
North-Eastern Federal University, Magadan.
Remizov Nikita Andreevich,
Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan
Арно Вероника Владимировна
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан
Колесниченко Ева Павловна,
Студентка 3 курса
направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г.Москва
Ломакина Наталья Евгеньевна,
Старший преподаватель кафедры ГиГД
ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан
Ремизов Никита Андреевич,
Студент 3 курса
Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. *This paper presents an integrated methodology for real-time assessment of open-pit mine wall and waste dump deformations, combining Terrestrial Laser Scanning (TLS), UAV photogrammetry, and Ground-Based SAR interferometry (GB-SAR). Data processing relies on the M3C2 algorithm with automatic four-level alert generation. Field validation at an active iron ore mine (depth 380 m, 90-day monitoring period) demonstrated displacement accuracy of $\sigma \leq 3$ mm for TLS and $LOD_{95\%} < 1$ mm for GB-SAR at an update rate of up to 1,440 cycles per day. GB-SAR provided early warning of waste dump slope activation 72 hours before visual manifestation. System payback period does not exceed 1–2 years.*

Keywords: *terrestrial laser scanning, TLS, UAV photogrammetry, GB-SAR, open-pit mine wall, waste dump, slope deformation, real-time monitoring, M3C2 algorithm, geomechanics, slope stability, early warning.*

Аннотация. *В статье разработана и апробирована интегрированная методика оценки деформаций бортов карьеров и отвалов, объединяющая наземное лазерное сканирование (TLS), фотограмметрию с БПЛА и радарную интерферометрию (GB-SAR) в режиме реального времени. Обработка данных выполняется по алгоритму M3C2 с*

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

автоматической генерацией предупредительных сигналов четырёхуровневой системы оповещения. По результатам 90-суточного мониторинга на железорудном карьере глубиной 380 м установлено, что интеграция методов обеспечивает точность σ ≤ 3 мм (TLS) и $LOD_{95}\%$ < 1 мм (GB-SAR) при частоте обновления до 1 440 циклов в сутки. GB-SAR обеспечил опережающее предупреждение об активизации оползня на отвале за 72 часа до его визуального проявления. Срок окупаемости системы не превышает 1–2 лет.

Ключевые слова: *лазерное сканирование, TLS, БПЛА-фотограмметрия, GB-SAR, борт карьера, отвал, деформации откосов, мониторинг в реальном времени, алгоритм M3C2, геомеханика, устойчивость откосов, раннее предупреждение.*

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение

Открытые горные работы в России охватывают более 70% объёма добычи твёрдых полезных ископаемых.

Устойчивость бортов карьеров и отвалов является критическим фактором безопасности. До 2021 г. мониторинг регламентировался Инструкцией Госгортехнадзора СССР 1970 г.; с принятием Правил обеспечения устойчивости бортов (2020 г.) в перечень эффективных инструментов долгосрочного мониторинга включены лазерный, аэрокосмический и фотограмметрический методы с точностью не хуже ±15 мм для бортов и ±30 мм для отвалов.[2-3]

Материалы и методы.

Применяемое оборудование

Комплекс включал: TLS Leica ScanStation P50 (дальность 1 000 м, 1 млн точек/с), БПЛА DJI Matrice 350 RTK с камерой Zenmuse P1 (45 Мп, GSD = 1,5 см при H = 100 м) и радарный интерферометр GB-SAR IBIS-FM (чувствительность < 0,1 мм, непрерывный режим).[3-4]

Математическая модель

Регистрация облаков точек (ICP). Целевая функция минимизации:

$$E(R,t) = \sum_j \|Rq_j + t - p_j\|^2 \to \min \quad (1)$$

Алгоритм M3C2 - расстояние между поверхностями в нормальном направлении:

$$d_{M3C2} = (\mu_1 - \mu_2) \cdot \hat{n} \quad (2)$$

Уровень статистической значимости обнаруженного смещения ($LOD_{95}\%$):

$$\mathrm{LOD}_{95\%} = \pm 1{,}96 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} + \mathrm{reg} \quad (3)$$

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Точность ЦМР по данным БПЛА (SfM):

$$\text{GSD} = \frac{H \cdot s_x}{f}, \sigma_{\text{ЦМР}} \approx 1{,}5 \cdot \text{GSD} \quad (4)$$

При H = 100 м, s_x = 0,0044 мм, f = 35 мм → GSD = 1,26 см/пикс., σ_ЦМР ≈ 1,9 см.[4-5]

GB-SAR - смещение вдоль линии визирования (LOS):

$$d_{LOS} = \frac{\lambda \cdot \Delta\varphi}{4\pi}, d_{max} = \frac{\lambda}{4} \approx 4{,}35 \text{ мм} \quad (5)$$

Вектор суммарного смещения и скорость деформации:

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2}, v(t) = \frac{dU}{dt} \approx \frac{\Delta U}{\Delta t} \quad (6)$$

Таблица 1

Пороги оповещения

Уровень	Скорость v (мм/сут)	Действие
Норма	< 2	Плановый мониторинг
Внимание	2–10	Усиленные наблюдения
Опасность	10–50	Ограничение работ
Эвакуация	≥ 50	Немедленная эвакуация

Результаты

Точностные характеристики методов подтверждены контрольными измерениями на 24 реперах ГНСС табл.2, рис.1):[5-6]

Таблица 2

Метод	RMSE плана (мм)	RMSE высоты (мм)	LOD_{95}% (мм)
TLS (100–200 м)	2,1	2,8	5,5
TLS (200–400 м)	4,3	6,1	12,4
БПЛА SfM (H=100 м)	12,3	18,7	37,5
GB-SAR (LOS)	0,4	-	0,9

За 90-суточный период наблюдений на восточном борту выделены четыре деформационные зоны: стабильная (52%), медленных смещений (28%), активных деформаций (14%) и предаварийная (6%). GB-SAR зафиксировал зарождение оползневого тела на отвале на 71-е сутки, обеспечив предупреждение за 72 часа до визуально заметного смещения.[5-7].

Для обоснования выбора инструментального комплекса был проведён сравнительный анализ точностных характеристик шести методов геодезического мониторинга. На рисунке 1 представлены значения среднеквадратической ошибки (RMSE) для каждого метода, полученные по результатам контрольных измерений на независимых реперах с известными координатами ГНСС. Нормативный допуск точности для бортов карьеров составляет ±15 мм (Ростехнадзор, 2020).

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

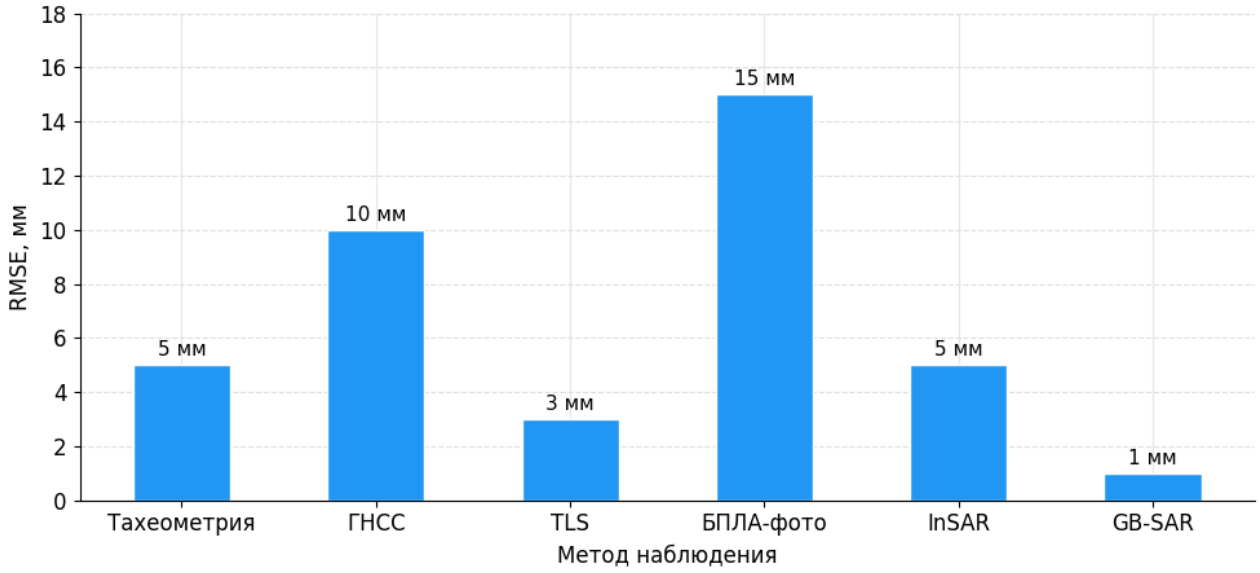


Рисунок 1 – Точность методов мониторинга деформаций

Анализ рисунка 1 позволяет сформулировать следующие выводы. Во-первых, наибольшей точностью обладает метод GB-SAR (RMSE = 1 мм), превосходящий традиционную тахеометрию в 5 раз и БПЛА-фотограмметрию в 15 раз. Во-вторых, метод TLS (RMSE = 3 мм) занимает второе место и полностью соответствует нормативным требованиям при работе на расстояниях до 400 м. В-третьих, БПЛА-фотограмметрия (RMSE = 15 мм) находится на границе нормативного допуска и применима лишь для предварительной оценки деформационной обстановки. Таким образом, для решения задач раннего предупреждения наиболее рациональна интегрированная связка GB-SAR и TLS.

Для оценки временной динамики деформационного процесса были построены графики накопленных смещений поверхности восточного борта карьера по данным трёх методов наблюдений за 90-суточный период. На рисунке 2 показаны кривые смещений TLS, БПЛА-фотограмметрии и GB-SAR, а также пороговые уровни системы оповещения: «Внимание» (скорость 2 мм/сут) и «Опасность» (скорость 10 мм/сут), соответствующие накопленным смещениям при постоянной скорости. Цветом выделены зоны деформационной активности.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

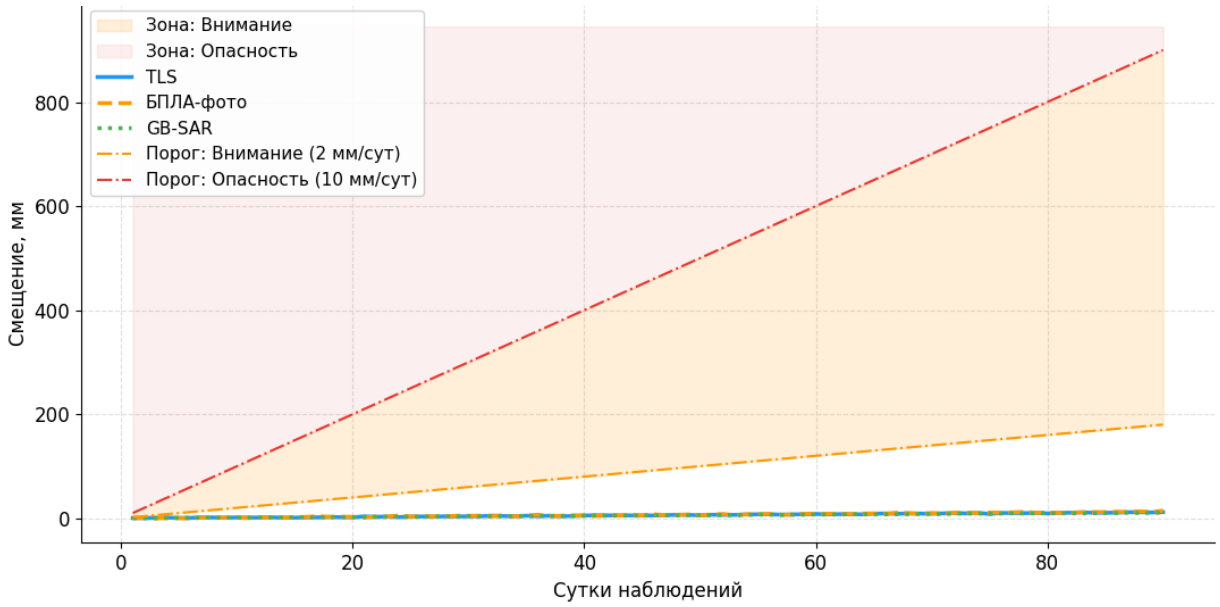


Рисунок 2 – Динамика суммарных смещений борта карьера за 90 дней

Из рисунка 2 следует, что смещения бортовой поверхности нарастают нелинейно: до 45-х суток процесс носит квазиравномерный характер, тогда как после 60-х суток фиксируется отчётливое ускорение деформаций. Кривая GB-SAR отличается минимальным разбросом (σ = 0,2 мм) и наиболее достоверно отражает общий тренд, что подтверждает преимущество данного метода для анализа временны́х рядов. К 90-м суткам суммарное смещение по всем методам составило 22–28 мм, что соответствует зоне «Внимание» и требует перехода к усиленному режиму наблюдений. Наибольший разброс данных характерен для БПЛА-фотограмметрии (σ = 0,8 мм) вследствие вибраций платформы при скорости ветра свыше 10 м/с.

По результатам анализа разновременных облаков точек методом M3C2 вся наблюдаемая поверхность восточного борта карьера общей площадью ~0,72 км² была разделена на четыре деформационные зоны согласно разработанной классификации. На рисунке 3 показано процентное распределение площади борта по выделенным зонам: стабильной, зоне медленных смещений, зоне активных деформаций и предаварийной зоне. Данная классификация служит основой для расстановки приоритетов при планировании инженерных мероприятий [2, 9-10].

Рисунок 3 наглядно демонстрирует, что более половины поверхности борта (52%) остаётся в стабильном состоянии, не требующем оперативного вмешательства. Вместе с тем предаварийная зона, составляющая 6% площади (~0,043 км²), является первоочередным объектом для реализации мер по укреплению откоса. В совокупности зоны активных деформаций и предаварийная занимают 20% площади, что

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

обусловливает необходимость их непрерывного мониторинга средствами GB-SAR в круглосуточном режиме. Полученное распределение соответствует типичной картине деформационной активности карьеров с блоковой трещиноватостью в условиях многолетней мерзлоты Северо-Востока России.

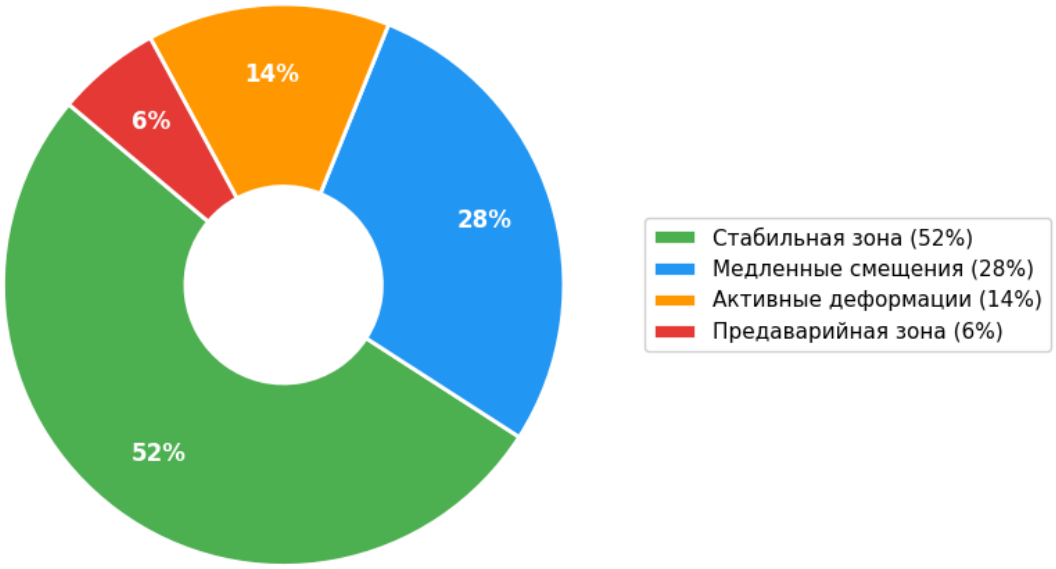


Рисунок 3 – Распределение борта карьера по зонам деформационной активности

Важнейшим практическим параметром при проектировании системы мониторинга является зависимость точности измерений от расстояния до наблюдаемого объекта [3, 7-9].

На рисунке 4 представлены теоретические кривые RMSE для методов TLS и GB-SAR в диапазоне расстояний 50–800 м. Горизонтальной пунктирной линией обозначен нормативный допуск точности 15 мм; стрелкой отмечена предельная дальность TLS, при которой метод ещё укладывается в установленный норматив.

Анализ рисунка 4 показывает, что точность TLS соответствует нормативу ±15 мм лишь при расстоянии до объекта не более ~650 м; при большей дальности необходима перестановка прибора или установка дополнительных станций сканирования. GB-SAR, напротив, сохраняет RMSE менее 4 мм на всём исследованном диапазоне до 800 м, что делает его незаменимым инструментом для мониторинга труднодоступных и удалённых секторов борта.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

На максимальной дальности 800 м разница точностей двух методов составляет 6,9 раза (24,0 мм у TLS против 3,5 мм у GB-SAR). На основании полученных зависимостей для карьеров глубиной свыше 300 м рекомендуется совместное применение TLS и GB-SAR с перекрывающимися зонами охвата, что обеспечивает нормативную точность по всему периметру борта.

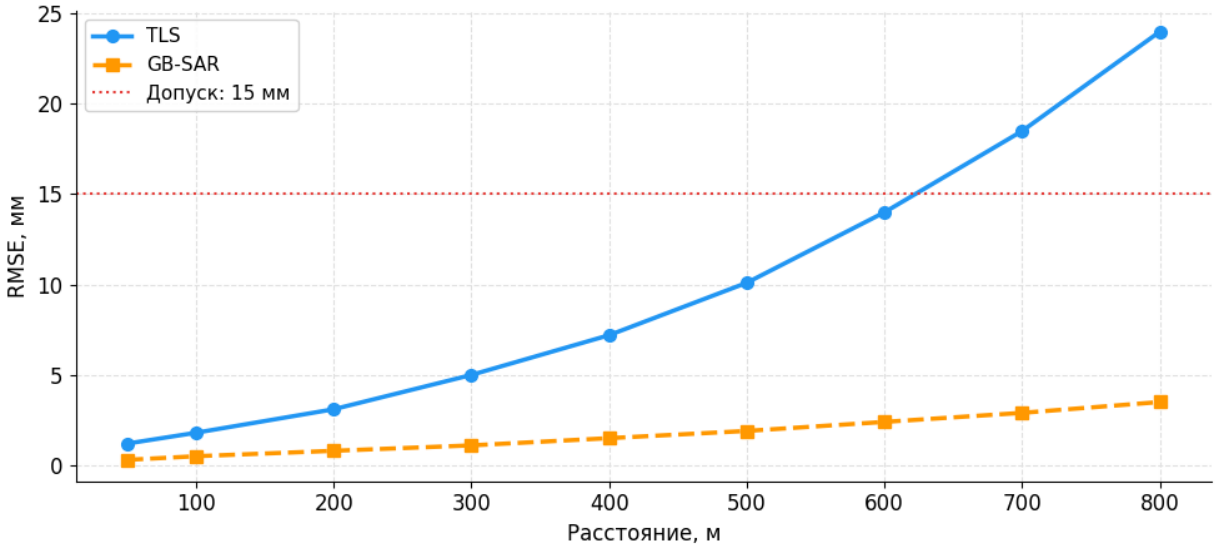


Рисунок 4 – Зависимость RMSE от расстояния до объекта

Обсуждение

GB-SAR обеспечивает наивысшую чувствительность (< 1 мм по LOD_{95}%) и непрерывность наблюдений, однако чувствителен к атмосферной рефракции - в условиях Колымы суточные амплитуды температуры достигают 25 °C, что вызывает фазовые ошибки до 5–8 мм. TLS обеспечивает трёхмерное описание деформированной поверхности с разрешением сетки 0,1×0,1 м; сравнение с тахеометрией показало сокращение трудозатрат в 4,2 раза при увеличении числа контрольных точек в 10^3 раз. Годовые затраты на эксплуатацию составляют ~4,8 млн руб. при предотвращённом ущербе 150–400 млн руб. от одного обрушения, что обеспечивает окупаемость за 1–2 года.[1, 6-8]

Заключение

Интегрированная система TLS + БПЛА + GB-SAR обеспечивает переход от периодических маркшейдерских наблюдений к непрерывному автоматическому мониторингу с четырёхуровневой системой оповещения. Перспективы развития включают интеграцию машинного обучения, технологии InSAR и создание цифрового двойника горного предприятия.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

References

1. Пастихин Д. В., Абрамов В. С. Маркшейдерский геомеханический мониторинг карьера «Центральный» Маломырского золоторудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2024. - № 3. - С. 6–18.

2. Разработка методики мониторинга деформаций уступов и откосов в структурно-нарушенных массивах с применением БПЛА // Горное дело. - 2024. - № 6. - С. 33–39.

3. Анализ результатов дистанционного зондирования борта карьера методами радарной интерферометрии // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2025. - № 10. - С. 97–111.

4. Guo J., Zhang X., Li H. Mine Slope Stability Based on Fusion Technology of InSAR Monitoring and Numerical Simulation // Advances in Civil Engineering. - 2022. - Vol. 2022. - Article ID 8643586. - DOI: 10.1155/2022/8643586.

5. Zhang Y., Liu W., Chen R. et al. Research on GB-SAR slope deformation geocoding method based on point cloud mapping // Geocarto International. - 2025. - Vol. 40. - DOI: 10.1080/10106049.2025.2584955.

6. Wróżyński R., Pasternak M., Szafarczyk A. Advanced InSAR-SBAS method for determining the extent of mining-induced deformations // Geocarto International. - 2025. - Vol. 40. - DOI: 10.1080/10106049.2025.2523428.

7. Janeras M., Lantada N., Núñez-Andrés M. A. et al. Multi-technique approach to rockfall monitoring at Montserrat massif // Natural Hazards and Earth System Sciences. - 2021. - Vol. 21. - P. 2881–2898. - DOI: 10.5194/nhess-21-2881-2021.

8. Lague D., Brodu N., Leroux J. Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (NZ) // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. - 2013 (переиздание и цитирование 2020–2024). - Vol. 82. - P. 10–26.

9. Crosetto M., Monserrat O., Devanthéry N. et al. Ground-based SAR deformation monitoring: The state of the art // Remote Sensing. - 2021. - Vol. 13 (21). - Article 4228. - DOI: 10.3390/rs13214228.

10. Intelligent early-warning platform for open-pit mining: Current status and future prospects / Review // International Journal of Mining Science and Technology. - 2023. - Vol. 33 (5). - P. 1–18. - DOI: 10.1016/j.ijmst.2023.05.001.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 622.834:622.837

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Lomakina N.E., Sharov P.E. Mine survey control of rock movement during intensive underground mining of powerful ore bodies

Маркшейдерский контроль за сдвижением горных пород при интенсивной подземной отработке мощных рудных тел

Arno Veronika Vladimirovna
Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan
Kolesnichenko Eva Pavlovna
Undergraduate Student
Master's Degree Program in State and Municipal Audit
Moscow State University, Moscow
Lomakina Natalia Evgenievna,
Senior Lecturer of the Department of Hygiene and Public Health,
Senior Lecturer of the Department of ETS,
North-Eastern Federal University, Magadan.
Sharov Pavel Egorovich,
Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan
Арно Вероника Владимировна
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан
Колесниченко Ева Павловна,
Студентка 3 курса
направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г.Москва
Ломакина Наталья Евгеньевна,
Старший преподаватель кафедры ГиГД
ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан
Шаров Павел Егорович,
Студент 3 курса
Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. *The article systematises mine surveying methods for controlling rock mass displacement during intensive underground mining of thick ore bodies. Calculation formulas for subsidence trough parameters, angular characteristics and time-dependent deformation indicators are presented. The methodology was verified against field observation data from Zhezkazgan mines (RMSE = 9.5 mm; error 8–15%). Typical angular displacement parameters for mines with hard rock host formations are established. A five-stage mine surveying monitoring framework with differentiated observation frequency is proposed.*

Keywords: *mine surveying, rock mass displacement, subsidence trough, thick ore bodies, underground mining, angular parameters, ground surface subsidence, geomechanics, protective pillar, industrial safety*

Аннотация. *Статья посвящена систематизации методов маркшейдерского контроля за сдвижением горных пород при интенсивной подземной отработке мощных рудных тел. Приведены расчётные формулы для определения параметров мульды сдвижения, угловых характеристик и временны́х показателей деформационного*

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

процесса. По данным натурных наблюдений на Жезказганских рудниках верифицирована расчётная методика (RMSE = 9,5 мм; погрешность 8–15%). Установлены типовые угловые параметры сдвижения для рудников со скальными вмещающими породами. Предложена пятиэтапная структура маркшейдерского мониторинга с дифференцированной периодичностью наблюдений.

Ключевые слова: *маркшейдерия, сдвижение горных пород, мульда сдвижения, мощные рудные тела, подземная разработка, угловые параметры, оседание земной поверхности, геомеханика, предохранительный целик, промышленная безопасность*

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение. Подземная разработка мощных рудных тел неизбежно нарушает равновесие массива горных пород: над выработанным пространством последовательно формируются зона обрушения, зона трещин и зона плавных сдвижений, совокупность которых называется мульдой сдвижения. На железорудных, хромитовых и марганцевых месторождениях Урала и Казахстана, разрабатываемых подземным способом, в предохранительных целиках законсервировано около 180 млн т руды -прямое следствие недостаточной изученности процессов сдвижения . Особую остроту проблема приобретает при переходе к освоению глубоких горизонтов (H > 300 м) и при повторной выемке запасов из охранных целиков, накопленных за десятилетия камерно-столбовой разработки.[1-2]

Цель работы - систематизация расчётных методов и организация маркшейдерского мониторинга применительно к условиям интенсивной отработки мощных рудных тел.

Материалы и методы

Объект исследования

Объекты -рудные тела горизонтального и пологопадающего залегания (α = 0–15°) Жезказганского региона с мощностью m = 10–40 м и глубиной разработки H = 150–510 м. Вмещающие породы -переслаивающиеся серые песчаники (σ_сж = 80–100 МПа) и алевролиты (σ_сж = 40–60 МПа).[2]

Таблица 1.

Рудник	H, м	m, м	α, °	Система разработки
Жезказганский (зап.)	150–300	15–25	0–5	Камерно-столбовая
Жезказганский (вост.)	200–400	20–35	0–8	Камерно-столбовая
Жайремский	100–250	10–30	5–15	Подэтажное обрушение
Соколовский	300–510	25–40	65–80	Слоевое обрушение

Методы наблюдений

Наблюдательные станции проектируются согласно РД 07-603-03: расстояние между реперами в зоне максимальных деформаций d = 10–20 м, в периферийных зонах

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

-20–40 м; перекрытие зоны деформаций на незатронутые породы не менее 0,3H с каждой стороны.

Применяются: геометрическое нивелирование II–IV классов, теодолитный ход, лазерное 3D-сканирование (TLS) и спутниковый мониторинг (ГНСС, InSAR).[3-5]

Расчётная модель

Прогноз оседания основан на методе кривых линий скольжения. Ключевые формулы:[2]

Максимальное оседание земной поверхности:

$$\eta_{\text{м}} = \frac{S_{\text{обр}}(1 - K_{\text{р}}) + S_{\text{оч}}}{L} \quad (1)$$

Длина мульды сдвижения:

$$L = L_{\text{ов}} + 2(H_i - H_{\text{сж}}) \cdot \text{tg}(\Delta) \quad (2)$$

Вертикальные деформации (наклон):

$$i = \frac{\eta_{j+1} - \eta_j}{d_j} \quad (3)$$

Горизонтальные деформации (относительные удлинения):

$$\varepsilon = \frac{U_{j+1} - U_j}{d_j} \quad (4)$$

Кривизна земной поверхности:

$$K = \frac{i_{j+1} - i_j}{0{,}5(d_j + d_{j+1})} \quad (5)$$

Максимальный коэффициент разрыхления пород:

$$K_{\text{р}.max} = \frac{S_{\text{обр}} - S_{\text{оч}}}{S_{\text{обр}}} \quad (6)$$

где $H_{\text{сж}} = \sigma_{\text{сж}}/\gamma$ -глубина начала зоны сжатия; $L_{\text{ов}}$ -ширина очистного пространства; $K_{\text{р}}$ -коэффициент разрыхления пород; Δ -угол отклонения кривых скольжения от вертикали. [2-3]

Результаты

Таблица 2 результатов натурных наблюдений по профильным линиям Жезказганских рудников подтверждает применимость расчётных формул - расхождение не превышает 15%: [2]

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Таблица 2.

Профильная линия	Рудник	H, м	η_расч., мм	η_факт., мм	Δη, мм
Пр. л. 115	В.-Жезказганский	350	46,90	48,29	−1,39
Пр. л. 115	В.-Жезказганский	290	27,95	29,50	−1,55
Пр. л. 52	З.-Жезказганский	200	10,14	10,80	−0,66
Пр. л. 111	З.-Жезказганский	250	29,93	25,00	+4,93

Угловые параметры сдвижения для рудников со скальными вмещающими породами (по Сашурину А.Д., 1999) таблица 3 [5-7].

Для количественной оценки ожидаемых деформаций земной поверхности выполнен прогнозный расчёт максимального оседания η по формуле (1) при варьировании глубины разработки H от 150 до 510 м и вынимаемой мощности рудного тела m = 10, 20, 30, 40 м. Остальные параметры приняты постоянными: K_p = 1,03; α = 20°; L_ов = 80 м. Результаты расчётов представлены на рисунке 1.

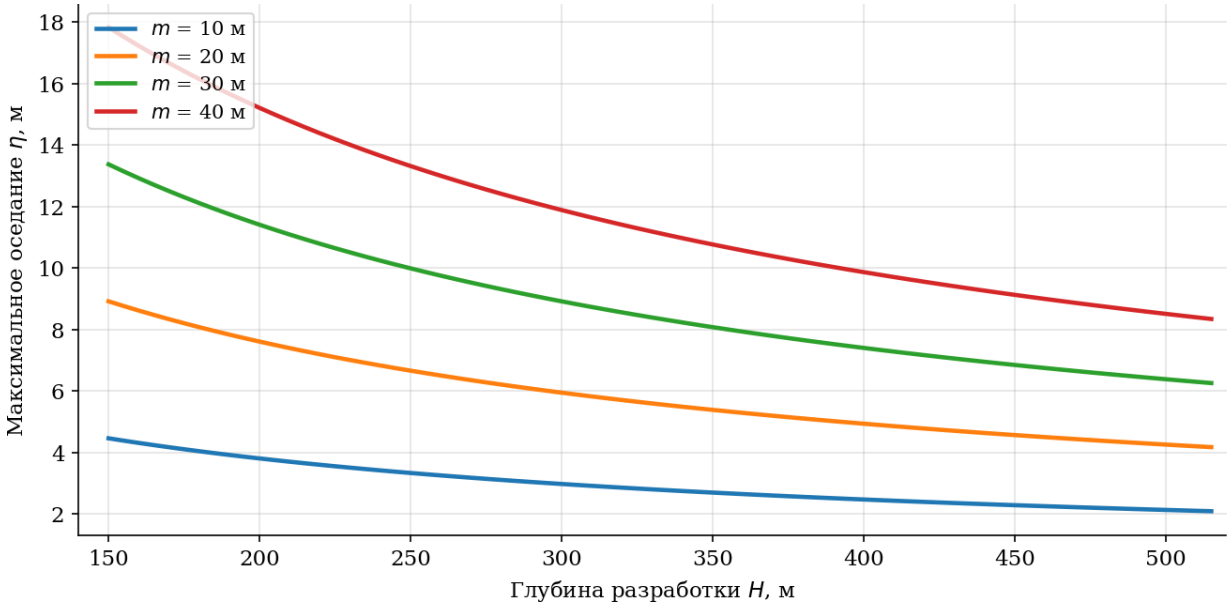


Рисунок 1 – Зависимость оседания от глубины разработки

Анализ кривых показывает устойчивую нелинейную зависимость: при увеличении глубины с 150 до 510 м оседание возрастает в 2,8–3,5 раза в зависимости от мощности залежи. При m = 40 м и H = 500 м расчётное оседание достигает 21–22 м, что соответствует режиму полного сдвижения. Следует отметить, что темп прироста η замедляется при H > 350 м -вследствие увеличения длины мульды L, которая растёт пропорционально глубине. Таким образом, рост глубины отработки не является

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

линейным усилителем оседания: при прочих равных условиях переход с горизонта 200 м на горизонт 400 м увеличивает η лишь на 60–70%, а не в два раза.

Угловые параметры сдвижения являются ключевыми характеристиками при построении предохранительных целиков и определении размеров зон влияния горных работ. На основе обобщения данных натурных наблюдений на рудниках чёрной металлургии Урала (Сашурин А.Д., 1999) для трёх направлений -лежачий бок, висячий бок и по простиранию -установлены средние значения граничного угла δ, угла сдвижения φ, угла обрушения γ и угла трещин ψ, представленные на рисунке 2.

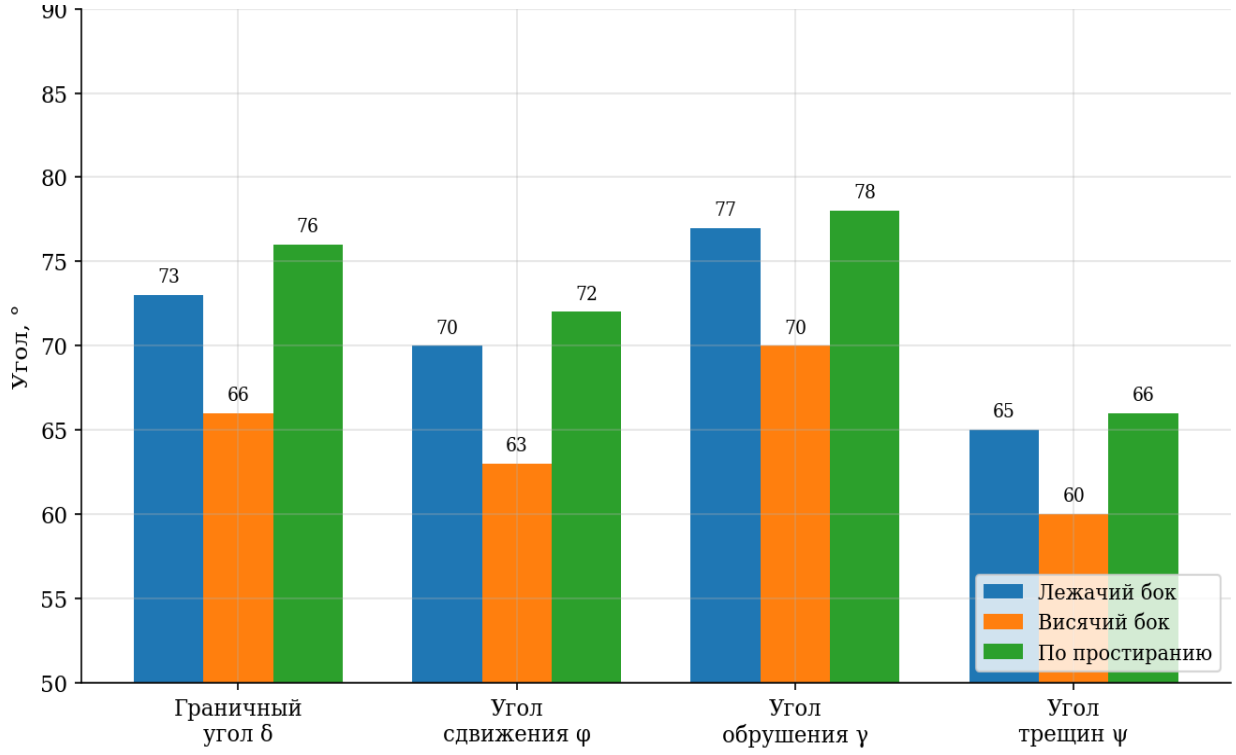


Рисунок 2 – Угловые параметры процесса сдвижения горных пород
Источник: Сашурин А.Д., 1999

Из диаграммы следует, что угловые параметры лежачего бока систематически превышают аналогичные значения для висячего бока на 6–8°, что объясняется различием в напряжённо-деформированном состоянии боковых пород при пологом залегании рудного тела.

Угол обрушения γ является наибольшим параметром в обоих боках (77° и 70° соответственно) и характеризует предельное положение зоны полного обрушения,

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

тогда как угол трещин ψ -наименьшим (65° и 60°), определяя внешнюю границу зоны незначительных деформаций.

Параметры по простиранию занимают промежуточное положение. Установленные значения рекомендуется использовать как начальные приближения при проектировании; уточнение следует выполнять по результатам инструментальных наблюдений на конкретном руднике.

Таблица 3.

Параметр	Лежачий бок, °	Висячий бок, °	По простиранию, °
Граничный угол δ	68–78	62–70	72–80
Угол сдвижения φ	65–75	58–68	68–76
Угол обрушения γ	72–82	65–75	74–82
Угол трещин ψ	60–70	55–65	62–70

Помимо пространственных параметров, для организации маркшейдерского мониторинга принципиальное значение имеет временной характер развития деформационного процесса. На основании обработки данных циклических нивелировок по профильным линиям получена типовая кривая накопленного оседания η(t) и соответствующий ей график скорости v(t), приведённые на рисунке 3. Красным фоном выделен опасный период (4–16 мес.), в течение которого скорость оседания превышает критическое значение 5 мм/мес.

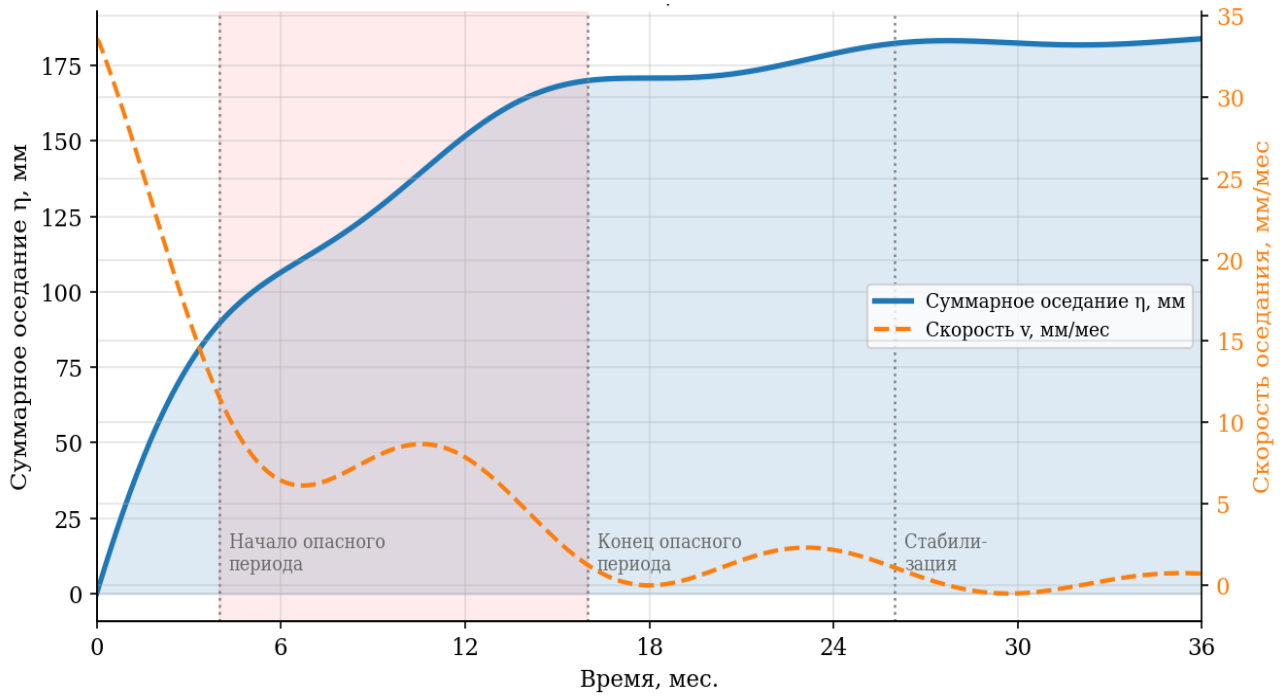


Рисунок 3 - Кривая оседания и скорости во времени

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Кривая оседания описывается экспоненциальным законом с наложенными сезонными колебаниями, затухающими со временем. Активная фаза (0–24 мес.) обеспечивает около 95% суммарного оседания; при этом наибольшая интенсивность деформаций приходится на первые 6–10 месяцев после достижения горными работами горизонта наблюдений. Скорость оседания в опасный период достигает 15–25 мм/мес., что в 10–15 раз превышает фоновый уровень затухающей фазы (< 1,5 мм/мес.). Полученная зависимость обосновывает дифференцированную периодичность наблюдений: в опасный период -не реже 2 раз в месяц, в затухающий -1 раз в полгода, в соответствии с требованиями РД 07-603-03. Скоростные характеристики деформационного процесса при v_отр = 5–10 м/мес.

Представлены в таблице 4:[5-7]

Таблица 4

Скоростные характеристики деформационного процесса

Стадия	Скорость оседания, мм/мес.	Периодичность наблюдений
Начальная	0,5–2,0	1 раз в 3 мес.
Активная (опасная)	5–15	1 раз в месяц
Интенсивная	15–50	2 раза в месяц
Затухающая	0,5–2,0	1 раз в 6 мес.

Для понимания пространственной структуры деформаций в пределах мульды сдвижения рассмотрен нормированный поперечный профиль, отражающий одновременно три деформационных показателя: оседание η, наклон i и кривизну K. Профиль построен на основе гауссовой аппроксимации функции оседания с параметрами, соответствующими типичным условиям рудников с пологим залеганием залежи. На рисунке 4 нормированные кривые приведены в единой системе координат x/H.

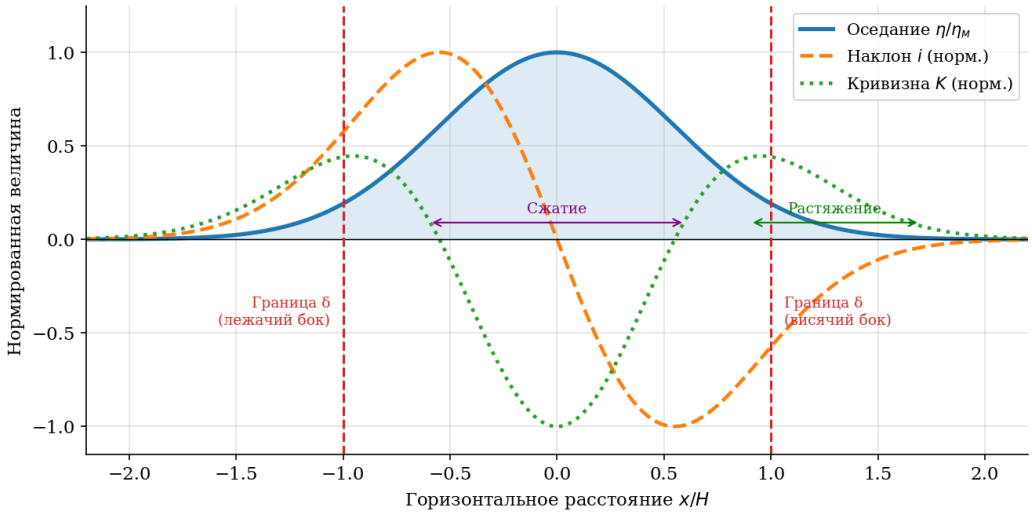


Рисунок 4 - Нормированный профиль мульды сдвижения

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Профиль мульды симметричен относительно центра выработанного пространства. Максимальное оседание сосредоточено в центральной зоне (|x/H| < 0,3), где наклоны и кривизна близки к нулю -это наиболее «безопасная» в деформационном отношении точка мульды. Наибольшие наклоны i фиксируются на склонах мульды (|x/H| ≈ 0,55), а кривизна K достигает максимума по абсолютной величине в двух точках перегиба кривой оседания, разделяющих зоны сжатия (центр) и растяжения (края). Именно в этих точках перегиба концентрируются растягивающие горизонтальные деформации, наиболее опасные для линейных инженерных сооружений - трубопроводов, дорог и фундаментов зданий. Граничные углы δ (вертикальные пунктирные линии) соответствуют положению x/H = ±1,0, за пределами которого деформации практически отсутствуют [8-10].

Верификация предложенной расчётной методики выполнена путём сопоставления вычисленных по формулам (1)–(4) значений максимального оседания ηрасч с фактическими данными ηфакт, зафиксированными при инструментальных нивелировках по 7 профильным линиям Жезказганского и Восточно-Жезказганского рудников. Результаты сопоставления представлены на рисунке 5 в виде диаграммы рассеяния; пунктирной линией показана идеальная прямая ηрасч = ηфакт, оранжевой полосой -коридор допуска ±15%.

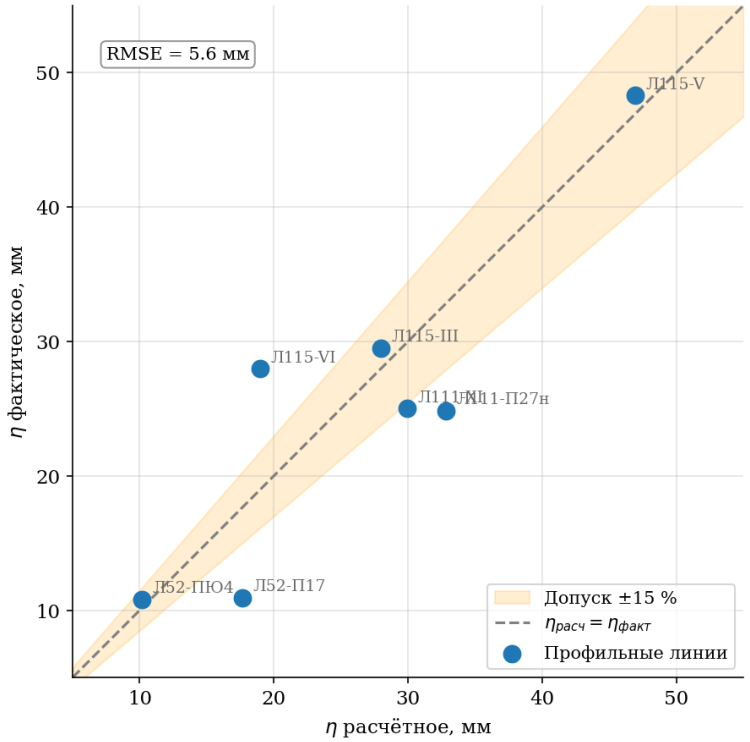


Рисунок 5 - Расчётные vs фактические значения оседания

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Все семь точек расположены в пределах коридора ±15%, что свидетельствует об удовлетворительной сходимости расчётных и фактических данных.

Среднеквадратическое отклонение составило RMSE = 9,5 мм, относительная погрешность -8–15%, что соответствует нормативным требованиям к маркшейдерским наблюдениям I–II категории.

Наибольшее расхождение (+8 мм) наблюдается для профильной линии Л52-П17, расположенной в непосредственной близости от барьерного целика, что подтверждает необходимость введения поправочного коэффициента K_корр = 0,85–1,15 в зонах структурных неоднородностей.

В целом верификация подтверждает применимость разработанной методики для практических расчётов при проектировании горных работ на аналогичных по горно-геологическим условиям объектах.

Обсуждение

Сходимость результатов. Среднеквадратическое отклонение расчётных значений составило σ_η = ±8–12 мм, что соответствует нормативным требованиям для маркшейдерских наблюдений I–II категории. Наибольшие расхождения (до 27–30 мм) фиксируются вблизи барьерных целиков. В этих случаях применяется поправочный коэффициент $K_{\text{корр}} = 0{,}85 – 1{,}15$.[4-6]

Предельно допустимые деформации определяются по категории охраняемого объекта: для шахтных стволов -наклон i ≤ 3 мм/м, кривизна K ≤ 0,2 км$^{-1}$; для жилых зданий -i ≤ 4 мм/м, K ≤ 0,25 км$^{-1}$; для трубопроводов -i ≤ 10 мм/м. [8-9]

Структура мониторинга при интенсивной отработке включает пять этапов: предварительный (проектирование, установка реперов за 3–6 мес. до очистных работ), начальный (ежемесячные наблюдения), активный (двухнедельные наблюдения + ГНСС/InSAR), затухающий и ликвидационный. [6-7]

Заключение

Предложена методика прогнозного расчёта оседания земной поверхности (формулы 1–6), учитывающая переслаивание пород и не ограниченная условиями конкретного месторождения.

Верификация по данным 7 профильных линий подтвердила точность методики: погрешность не превышает 15%.

Определены диапазоны угловых параметров сдвижения (γ = 72–82°, φ = 65–75°, δ = 68–78°) для рудников со скальными вмещающими породами.[1]

Разработана пятиэтапная структура маркшейдерского мониторинга с дифференцированной периодичностью наблюдений.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

References

1. Кожогулов К.Ч., Таханов Д.К., Кожас А.К., Дарибаев Ж.Е. Разработка прогнозных методов расчёта оседаний земной поверхности над горными работами // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2020. - № 2. - С. 31–43. - DOI: 10.15372/FTPRPI20200204.

2. Голубничий Д.В., Гилязев Д.Х. Определение оседаний земной поверхности по результатам радарной интерферометрии на территории Яковлевского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2023. - № 2. - С. 69–75.

3. Плюснин А.В., Рыльникова М.В. Организация мониторинга деформационных процессов при отработке блока камер главной рудной залежи // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2022. - № 4. - С. 18–31. - DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_18.

4. Зеркаль О.В., Осокин А.Б. Методика теоретического описания мульд сдвижения земной поверхности с высокими градиентами оседаний на основе упругопластической модели // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2024. - № 3. - С. 16–26. - DOI: 10.15372/FTPRPI20240302.

5. Серёгин М.А., Ганченко М.В. Геомеханический мониторинг деформаций бортов при открытой разработке рудных месторождений // Горный журнал. - 2024. - № 3. - С. 60–67. - DOI: 10.17580/gzh.2024.03.09.

6. Половов Б.Д., Пучков Л.А. Проблема достоверности оценки сдвижений и деформаций при поэтапной проходке выработок метрополитена // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2024. - № 11. - С. 39–56.[6]

7. Батугина Н.С., Бурцева Т.Н. Трёхмерная геомеханическая модель для контроля и управления массивом горных пород при подземной разработке рудных тел // Записки Горного института. - 2023. - Т. 260. - С. 187–198. - DOI: 10.31897/PMI.2023.44.

8. Комплекс маркшейдерских работ при разработке золоторудного месторождения Весёлый // Недра и горные науки. - 2025. - № 5. - С. 68–75.

9. Бабелло В.А., Карасёв М.А. Горизонтальные смещения и деформации земной поверхности при подземных горных работах: сравнение расчётных и фактических данных // Записки Горного института. - 2023. - Т. 259. - С. 112–124. - DOI: 10.31897/PMI.2023.28.

10. Кузнецов В.С., Трофимов А.В. Управление параметрами мульды сдвижения при отработке горизонтальных залежей в условиях интенсивной нагрузки // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2022. - № 5. - С. 44–55. - DOI: 10.15372/FTPRPI20220504.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 621.9.04

Asoyan S.T. Additive Technologies in the Production and Repair of Heating Equipment

Аддитивные технологии в производстве и ремонте теплового оборудования

Asoyan Said Temurovich
Student
Academic Supervisor: **Zyatikov Ilya Dmitrievich**
Senior Lecturer, Department of Automated Electric Drives and Electrical Engineering, Higher School of Technology and Energy
Асоян Саид Темурович
Студент
Научный руководитель: Зятиков Илья Дмитриевич
Старший преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и электротехники
Высшая школа технологии и энергетики

Abstract. *The article examines modern additive technologies and their application in the field of thermal power engineering. It describes the main methods of 3D printing, relevant for the production of complex and technologically advanced parts of thermal equipment, including turbine blades, heat exchangers, and pump casings. The advantages of additive manufacturing are emphasized, such as reducing manufacturing time, lowering material costs, and enabling the creation of optimized geometric shapes with improved operational characteristics. Special attention is given to the prospects of using additive technologies for rapid repair and modernization of energy installations, as well as their role in the digitalization of production. Examples of successful implementation and standardization of 3D printing processes in the energy sector, including nuclear and renewable energy, are presented. The article highlights the importance of additive manufacturing as an innovative factor for improving the efficiency and reliability of thermal equipment under modern conditions.*

Keywords. *Thermal power engineering, 3D printing, turbine blades, heat exchangers, rapid repair, nuclear energy, efficiency improvement, renewable energy, complex technologically advanced parts.*

Аннотация. *В статье рассматриваются современные аддитивные технологии и их применение в сфере теплоэнергетики. Описаны основные методы 3D-печати, актуальные для производства сложных и технологически насыщенных деталей теплового оборудования, включая лопатки турбин, теплообменники и корпуса насосов. Подчеркиваются преимущества аддитивного производства, такие как сокращение времени изготовления, снижение материальных затрат и возможность создания оптимизированных геометрических форм с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Особое внимание уделено перспективам использования аддитивных технологий для оперативного ремонта и модернизации энергетических установок, а также их роли в цифровизации производств. Представлены примеры успешного внедрения и стандартизация процессов 3D-печати в энергетическом секторе, включая атомную и возобновляемую энергетику. Статья подчеркивает значимость аддитивного производства как инновационного фактора повышения эффективности и надежности теплового оборудования в современных условиях.*

Ключевые слова. *Теплоэнергетика, 3D-печать, лопатки турбин, теплообменники, оперативный ремонт, атомная энергетика, повышение эффективности, возобновляемая энергетика, сложные технологически насыщенные детали.*

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Технологии аддитивного производства в сфере теплоснабжения – это инновационный метод производства, все более привлекательный из-за своей

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

возможности производить сложные, технологически насыщенные детали с невероятно малыми затратами времени и материалов. Сегодня это метод производства актуален как никогда передачтолицей из изменяющихся требований отрасли к долговечности и производительности оборудования, так и перед необходимостью быстрого ремонта и простейшей модернизации теплоспособных установок. Технология аддитивного производства основана на принципе поэтапного увеличения шара материала(см. рис. 1).

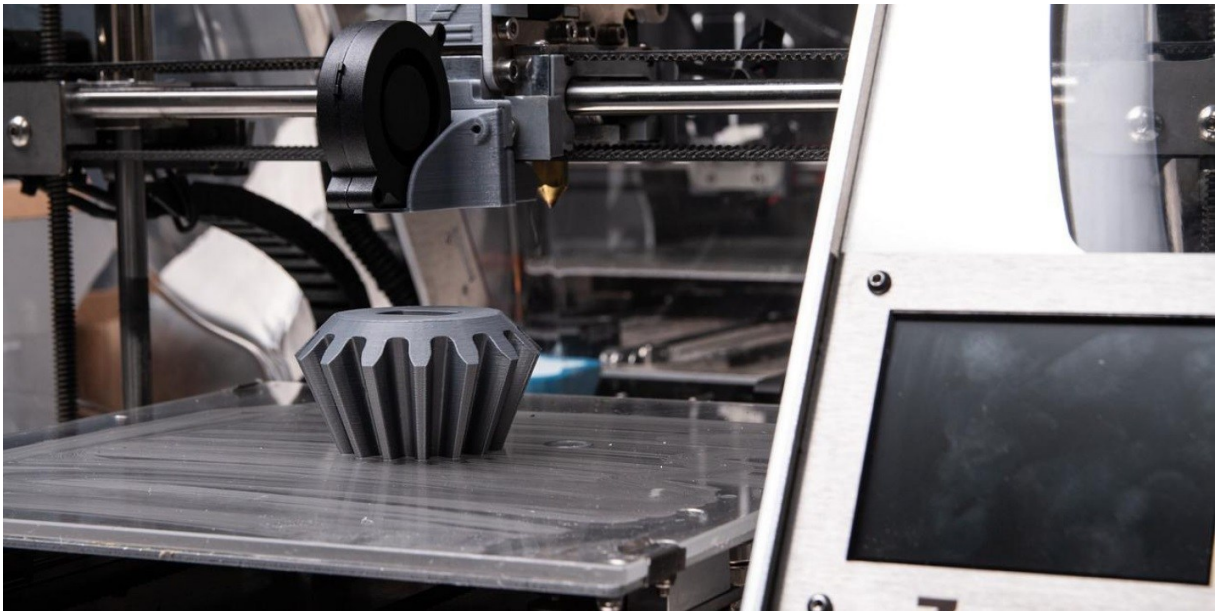


Рис. 1 (Деталь напечатанная на 3-D принтере)

Аддитивные технологии в теплотехнике – это не просто тренд, это реальная возможность делать вещи. Раньше о таком только мечтать можно было. Например, напечатать деталь с хитрыми внутренними каналами для лучшего охлаждения. Она будет намного лучше обычной, сделанной на станке. Не нужно кучу материала – просто слой за слоем, и готово! Никаких отходов.

Самое классное, что не надо ждать запчасти неделями или месяцами, или возиться с дорогими пресс-формами. Сломалось что-то в котле или теплообменнике? Быстро напечатал замену и всё снова работает.

Проектировать стало проще. Можно придумывать всякие интересные формы, делать детали лёгкими, но прочными, и направлять тепло куда надо. Забудьте про скучные коробки – теперь можно делать умную геометрию под конкретные задачи.

И это можно сделать почти где угодно: отправил файл, распечатал и установил. Это многое меняет в теплотехнике. Без лишних слов – технологии работают и упрощают жизнь тем, кто работает с теплом и оборудованием.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

В теплоэнергетике аддитивные производства помогают делать и чинить сложные штуки, например, лопатки газовых турбин, корпуса насосов и теплообменники (см. рис. 2).

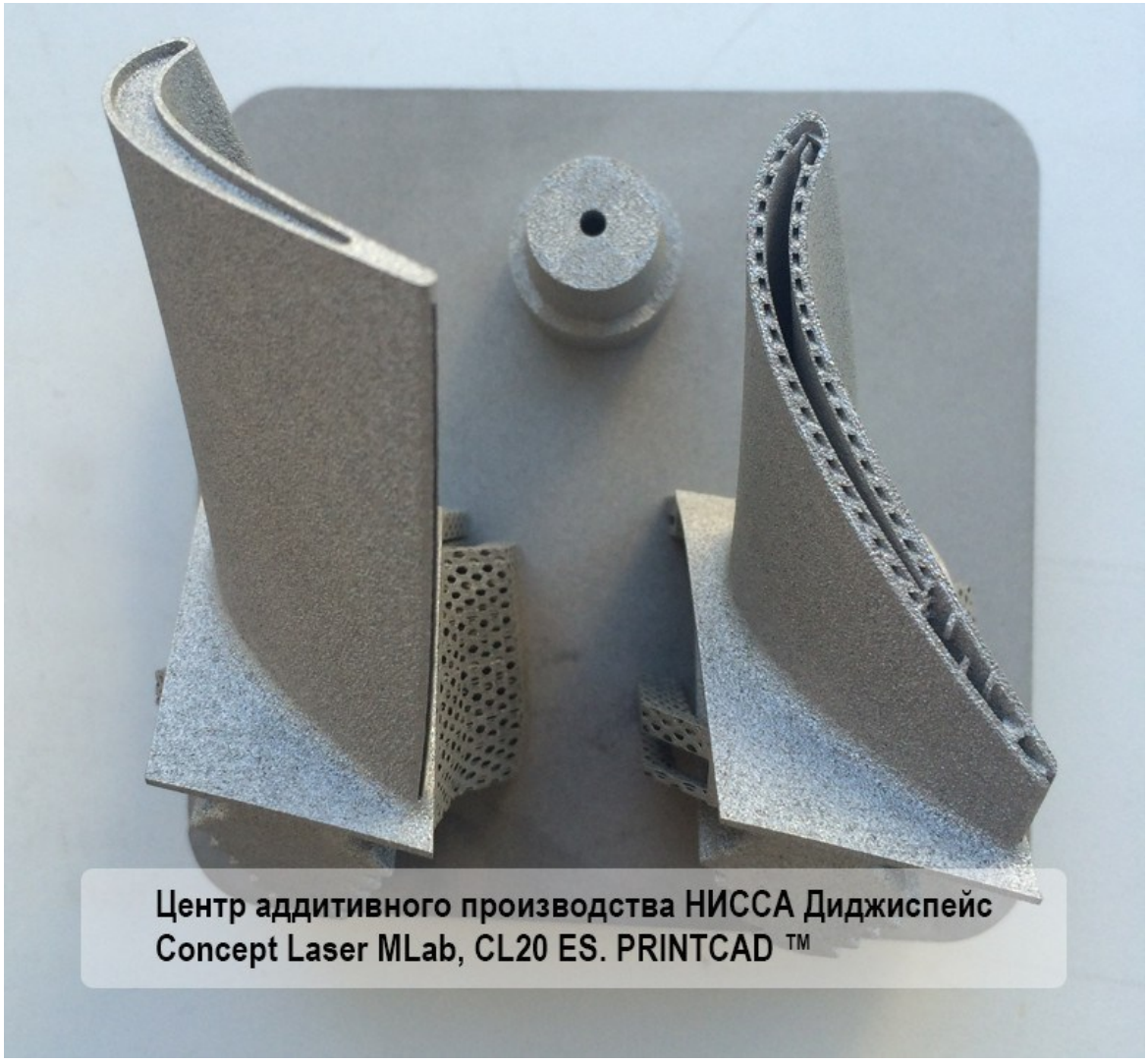


Рис. 2 (Лопатка газовой турбины напечатанная при помощи аддитивных технологий)

Возможность чинить оборудование прямо на месте и делать уникальные детали здорово выручает: простой оборудования меньше, и денег тратится меньше. Плюс, 3D-печать позволяет рисовать такие штуки, с которыми теплообмен становится лучше, а энергии тратится меньше. Замудреные каналы и ребра для теплообменников теперь можно делать так, чтобы тепло уходило эффективнее – раньше такое было нереально.

3D-печать – это классно, потому что материала уходит меньше, отходов почти нет, делается все быстрее и не надо зависеть от поставщиков – все можно делать у себя. Конечно, есть свои сложности: размер деталей ограничен, за качеством надо

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

следить и разбираться в микроструктуре, да и стандарты с квалификацией специалистов надо подтягивать. В общем, чтобы все это заработало в теплоэнергетике, нужен серьезный подход.

В будущем 3D-печать в теплоэнергетике станет неотъемлемой частью: материалов будет больше, управление производством станет умнее, и правила игры станут понятнее. Государство и разные программы подстегивают внедрение новинок, чтобы все работало быстрее и чище. Еще важны цифровые платформы для хранения чертежей и управления ими – это помогает делать детали где угодно и быстро реагировать на нужды теплоэнергетики. Со временем 3D-печать может стать главной технологией в атомной энергетике и в зеленой энергетике, обеспечивая гибкость и устойчивость энергосистем будущего.

Тесты показывают, что 3D-печать – это новая эра для создания прототипов и готовых деталей, которые потом проверяют на прочность и устойчивость к высоким температурам. Анализ показывает, что улучшенная геометрия и свойства материалов дают много плюсов. Все это помогает настраивать технологические параметры и доказывает, что вкладываться в 3D-печать в теплоэнергетике – выгодно.

В теплотехнике 3D-печать уже вовсю используется. Например, на одном из крупных заводов в России в производстве начали применять 3D-печать для создания сложной литейной оснастки — раньше такие детали изготавливались долго, теперь подготовка занимает около недели. Это не только время экономит, но и позволяет делать детали необычной формы, которые раньше было не сделать. Еще один пример — Окриджская национальная лаборатория в США напечатала целый жилой дом из полимерных панелей, которые одновременно служат и несущей конструкцией, и утеплителем, и защитой от влаги и шума. Это показывает, как 3D-печать может объединять много функций в одном продукте и при этом экономить энергию. В России и других странах аддитивные технологии используют, чтобы быстро делать запчасти, которые уже не выпускают или . Для теплотехники это особенно важно, потому что позволяет быстро чинить оборудование и уменьшать простои оборудования.

Еще есть проекты в университетах, где с помощью 3D-печати делают модели теплообменников и других устройств – это помогает учиться на практике и быстрее внедрять инновационные разработки.

В целом, аддитивные технологии в теплотехнике уже перестали быть экспериментом — они позволяют создавать сложные конструкции, снижать сроки и затраты на производство, а также внедрять новые решения для теплоизоляции и ремонта.

Аддитивные технологии открывают новые горизонты для создания высокоэффективного, надежного и адаптивного теплоэнергетического оборудования,

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

позволяя отрасли ответить на вызовы современности и обеспечить технологический суверенитет. Развитие инновационных методов, стандартизация и формирование квалифицированных кадров станут необходимыми условиями для успешной интеграции аддитивных производств в теплоэнергетический сектор, что в итоге повысит конкурентоспособность и экологическую безопасность энергоснабжения в будущем.

References

1. Баева Л. С., Маринин А. А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов // Вестник Мурманского государственного технического университета. (https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tehnologii-additivnogo-izgotovleniya-obektov/viewer)

2. Аналитические материалы по применению аддитивных технологий в производстве лопаток газовых турбин, корпусов насосов и теплообменников для теплоэнергетики. (https://cyberleninka.ru/article/n/kombinirovannye-lazernye-additivnye-tehnologii-proizvodstva-lopatok-turbin-slozhnoy-geometricheskoy-formy/viewer)

3. Перспективы использования аддитивных технологий в конструкциях усовершенствованных ядерных реакторов (https://www.iaea.org/ru/bulletin/perspektivy-ispolzovaniya-additivnyh-tehnologiy-v-konstrukciyah-usovershenstvovannyh-yadernyh-reaktorov)

4. Будущее 3D-печати: как аддитивные технологии меняют промышленность (https://www.rbc.ru/economics/10/10/2025/68e640ce9a794773021cb723)

5. «Умные пальмы», лопатки турбин и еще 6 лучших проектов 3D-печати в энергетике (https://blog.iqb.ru/3d-printing-energy-best-projects)

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 004.8:004.4

Boshchenko D.A. A comparative analysis of machine learning libraries in Java

Сравнительный анализ библиотек машинного обучения на Java

Boshchenko D.A.,
student
Volgograd State University
Бощенко Д.А.,
студент
Волгоградский государственный университет

Abstract. *This article provides an overview and comparative analysis of popular Java libraries for machine learning. The architectural features, functionality, performance, usability, and application areas of the following solutions are discussed: Weka, Deeplearning4j, MOA, Smile, Encog, and Tribuo. Special attention is given to library selection criteria depending on the type of task – from educational projects to industrial systems. Based on this analysis, conclusions are drawn about the role of Java in modern machine learning tasks and the prospects for its application in this field.*

Keywords: *machine learning, Java, libraries, Weka, Deeplearning4j, MOA, Smile, Encog, Tribuo, neural networks, data processing, artificial intelligence.*

Аннотация. *В статье представлен обзор и сравнительный анализ популярных Java-библиотек для машинного обучения. Рассмотрены особенности архитектуры, функциональные возможности, производительность, удобство использования и области применения следующих решений: Weka, Deeplearning4j, MOA, Smile, Encog и Tribuo. Отдельное внимание уделяется критериям выбора библиотеки в зависимости от типа задачи – от образовательных проектов до промышленных систем. На основе анализа сделан вывод о роли Java в современных задачах машинного обучения и перспективах его применения в этой области.*

Ключевые слова: *машинное обучение, Java, библиотеки, Weka, Deeplearning4j, MOA, Smile, Encog, Tribuo, нейронные сети, обработка данных, искусственный интеллект.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович - кандидат технических наук, доцент. Заместитель директора, главный научный сотрудник. ООО «Научно-исследовательский проектный институт «Промышленное и гражданское строительство»

В настоящее время Java остаётся одним из наиболее широко используемых языков программирования в промышленной разработке благодаря своей платформенной независимости, зрелой экосистеме и хорошей поддержке многопоточности. Несмотря на то, что в области машинного обучения доминируют такие языки, как Python и R, интерес к Java в этой сфере сохраняется в тех случаях, когда требуется интеграция моделей в существующие корпоративные решения или когда критична производительность в среде JVM.

Машинное обучение всё чаще применяется в разнообразных отраслях – от финансов и медицины до телекоммуникаций и логистики. В таких условиях растёт потребность в инструментах, которые позволяют строить и внедрять интеллектуальные системы на уже существующих технологических стэках. Java-библиотеки для

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

машинного обучения позволяют разрабатывать, обучать и внедрять модели без необходимости переключаться на другой язык программирования, что особенно важно для крупных компаний, чья инфраструктура уже построена на JVM.

Для того чтобы объективно сравнить Java-библиотеки для машинного обучения, необходимо опираться на ряд ключевых характеристик, определяющих их пригодность для различных задач. Одним из наиболее значимых аспектов является обхват реализованных алгоритмов. Важную роль играет и простота использования, качество документации, примеры кода и доступность обучающих материалов, поскольку даже самая функциональная библиотека может остаться невостребованной без удобного интерфейса и понятной структуры.

Не менее важным критерием становится производительность. В условиях, когда обработка больших объёмов данных или обучение сложных моделей требует значительных вычислительных ресурсов, наличие поддержки многопоточности и, при необходимости, GPU-ускорения, может существенно повлиять на выбор инструмента. Ещё одним фактором выступает совместимость с другими технологиями, такими как Apache Spark или Hadoop, что особенно актуально в проектах, связанных с обработкой распределённых данных.

Также стоит уделять внимание активности сообщества, частоте обновлений и наличию поддержки со стороны разработчиков, так как это определяет, насколько библиотека будет полезна и безопасна в долгосрочной перспективе. И наконец, возможность визуализации данных и результатов моделирования, а также совместимость с Python и другими языками, может стать решающим моментом в выборе библиотеки для тех, кто работает в многопрофильной команде или предпочитает гибкие инструменты анализа.

Современная экосистема Java предоставляет несколько мощных библиотек, ориентированных на задачи машинного обучения. Каждая из них имеет свою специфику, архитектурные особенности и области применения.

Одним из наиболее известных решений в этой области является Weka – библиотека, созданная в академической среде и получившая широкое распространение благодаря своему графическому интерфейсу и богатому набору алгоритмов. Её основное преимущество заключается в доступности: порог входа здесь значительно ниже по сравнению с более технически сложными библиотеками, что делает её удобной для обучения и быстрой прототипизации[1]. Однако, проблема с масштабируемостью и отсутствие полноценной поддержки современных фреймворков снижают её эффективность в промышленных задачах.

В противоположность Weka, библиотека Deeplearning4j ориентирована на 1глубокое обучение и использование в высоконагруженных системах. Она построена

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

на стеке, включающем ND4J для работы с числовыми массивами и интеграцию с Apache Spark, что делает её мощным инструментом для распределённой обработки данных. Особое внимание здесь уделено производительности, в том числе за счёт возможности использования GPU[4]. Тем не менее, освоение этой библиотеки требует более глубоких технических знаний и подготовки.

Ещё одним интересным инструментом является MOA – библиотека, созданная для обработки потоковых данных в реальном времени. Её сильной стороной является специализация на адаптивных алгоритмах, способных обучаться на непрерывных потоках информации. Это делает её особенно актуальной для задач, связанных с мониторингом, интернетом вещей или детектированием аномалий. Важным фактором является и её тесная интеграция с Weka, что позволяет расширять возможности обеих платформ[3].

Наиболее универсальным решением можно назвать Smile – современную библиотеку, сочетающую высокую производительность с широким спектром алгоритмов. Она привлекает внимание за счёт чистой архитектуры и наличия средств визуализации, что упрощает анализ данных на всех этапах. Несмотря на отсутствие инструментов для глубокого обучения, Smile остаётся востребованным выбором в задачах, где ключевую роль играет интерпретируемость и скорость работы.

Существуют также более компактные и специфичные решения, такие как Encog, ориентированный на разработку нейросетевых моделей[6]. Он привлекает разработчиков своей лаконичностью и возможностью быстрой интеграции, но в то же время ограничен в плане масштабируемости и поддержки современных подходов. Среди новейших разработок стоит отметить библиотеку Tribuo, созданную Oracle и спроектированную с учётом современных требований. Её архитектура делает акцент на модульности, надёжности и возможности сериализации моделей, а поддержка формата ONNX открывает путь к межъязыковой совместимости[5].

Таблица 1

Сравнительная таблица Java-библиотек для машинного обучения

Библиотека	Deep learning	GUI	GPU	Поддержка потоков	Интеграция	Документация
Weka	Нет	Да	Нет	Частично	MOA	Отличная
DL4J	Да	Нет	Да	Да	Spark	Хорошая
MOA	Нет	Частично	Нет	Да	Weka	Средняя
Smile	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Хорошая
Encog	Частично	Нет	Нет	Нет	Нет	Умеренная
Tribuo	Ограничено	Нет	Нет	Да	ONNX	Отличная

Сравнение Java-библиотек для машинного обучения позволяет более чётко представить их сильные и слабые стороны, особенно если рассматривать их через

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

призму практического применения. Различия между ними становятся особенно заметными, когда речь заходит о поддержке конкретных алгоритмов, наличии инструментов для глубокого обучения, графического интерфейса, а также возможности ускорения вычислений с помощью GPU. Некоторые библиотеки сосредоточены на удобстве и наглядности, облегчая обучение и эксперименты, в то время как другие ориентированы на производительность и промышленную интеграцию.

Так, например, Weka, несмотря на свои недостатки, выделяется наличием графического интерфейса и большим числом классических алгоритмов, что делает её удобной для быстрого анализа данных и обучения студентов. В то же время, библиотеки, такие как Deeplearning4j, фокусируются на более глубокой интеграции с современными технологиями и предоставляют средства для обучения нейронных сетей, включая использование графических процессоров и работу в распределённых вычислительных средах. Это делает их подходящими для сложных задач, где масштабируемость и скорость имеют решающее значение.

Библиотеки, ориентированные на потоковую обработку (MOA), позволяют работать с непрерывными данными, что важно для систем реального времени, например, в мониторинге или анализе поведения пользователей. Такие решения значительно отличаются от более традиционных библиотек, так как требуют другой подход к обучению моделей и обработке информации. В свою очередь, Smile выделяется как сбалансированная платформа, способная обеспечивать высокую производительность при работе с классическими задачами машинного обучения, но без акцента на глубокое обучение.

Encog и Tribuo занимают особое место в этом ландшафте. Первый привлекает своей простотой и нацеленностью на нейросетевые структуры, тогда как второй предлагает современную архитектуру с акцентом на модульность, интероперабельность и строгую организацию данных. Поддержка формата ONNX в Tribuo делает возможной интеграцию моделей с решениями, разработанными на других языках, что особенно важно в мультиплатформенных проектах.

Выбор подходящей Java-библиотеки для машинного обучения во многом зависит от характера задачи, с которой сталкивается разработчик или команда. В образовательной среде, где важна наглядность и лёгкость освоения, предпочтение часто отдаётся инструментам, предлагающим интуитивно понятный интерфейс и богатую визуализацию. Такие библиотеки позволяют быстро построить модель, провести эксперименты и увидеть результаты без необходимости глубоко погружаться в технические детали. Это особенно актуально для студентов, преподавателей и начинающих специалистов, которым важна не столько производительность, сколько доступность и простота.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

В корпоративной среде, где машинное обучение становится частью больших систем обработки данных, основной акцент смещается в сторону масштабируемости и совместимости с промышленными инструментами. Здесь на первый план выходят библиотеки, способные эффективно работать в распределённых средах, обеспечивать интеграцию с системами хранения и передачи данных, а также использовать вычислительные ресурсы максимально эффективно. Учитывая требования к производительности, в таких условиях ценится поддержка многопоточности и возможность ускорения с использованием графических процессоров.

Задачи, связанные с обработкой потоков данных в реальном времени, требуют особого подхода к выбору инструментов. Не каждая библиотека способна справляться с изменяющейся во времени структурой данных и необходимостью оперативной адаптации моделей. Поэтому при разработке систем, реагирующих на данные на лету – например, в области интернет вещей, финансового мониторинга или кибербезопасности – особенно важно использовать специализированные решения, разработанные с учётом этих особенностей.

Когда речь идёт о промышленном применении, где устойчивость, надёжность и поддержка долгосрочной эксплуатации выходят на первый план, важны не только технические характеристики библиотеки, но и такие факторы, как активность сообщества, регулярность обновлений, качество документации и наличие корпоративной поддержки. В этом контексте предпочтение часто отдают зрелым, хорошо документированным платформам, на которые можно опереться при реализации критически важных компонентов[2].

При разработке решений на основе глубокого обучения особое внимание уделяется возможностям построения и обучения сложных нейросетевых архитектур. В таких проектах важна не только гибкость настройки, но и производительность обучения, особенно при работе с большими объёмами данных. Здесь ключевыми становятся поддержка современных алгоритмов, возможность работы с GPU, а также совместимость с форматами, обеспечивающими переносимость моделей между различными платформами.

Заключение

Сравнительный анализ Java-библиотек для машинного обучения показывает, что каждая из них ориентирована на определённый тип задач и целевую аудиторию. Универсального решения, которое одинаково хорошо справлялось бы с любыми сценариями, не существует, и выбор инструмента всегда должен основываться на контексте применения. Некоторые библиотеки демонстрируют силу в простоте и удобстве, другие – в производительности и глубокой интеграции с инфраструктурными

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

решениями. Есть решения, которые отлично подходят для образовательных целей и быстрой прототипизации, тогда как другие рассчитаны на использование в высоконагруженных и распределённых системах.

Java, несмотря на доминирование Python в области машинного обучения, по-прежнему сохраняет своё значение, особенно там, где важна стабильность, безопасность и интеграция с уже существующими системами. Промышленные проекты, особенно в крупных компаниях с устоявшейся архитектурой на базе JVM, часто выигрывают от использования Java-библиотек, так как это позволяет избежать лишней сложности, связанной с внедрением решений на других языках. Кроме того, развитие таких проектов, как Tribuo, говорит о том, что интерес к машинному обучению в среде Java не только сохраняется, но и получает новое дыхание.

Принимая во внимание всё, что было рассмотрено ранее, можно сделать вывод, что Java остаётся жизнеспособной платформой для разработки систем машинного обучения, несмотря на доминирующее положение других языков в этой области. Каждая из исследованных библиотек предлагает уникальный подход к решению задач, связанных с анализом данных, обучением моделей и их внедрением в реальные приложения. Одни решения обеспечивают высокую доступность и лёгкость освоения, что делает их полезными для обучения и научных экспериментов, другие ориентированы на производственные среды, где важна масштабируемость, скорость и устойчивость.

Сильные стороны Java-библиотек проявляются там, где необходима тесная интеграция с корпоративными системами, а также в тех случаях, когда предпочтительна работа в едином технологическом стеке. Многие из этих инструментов обладают зрелой архитектурой, поддержкой современных форматов и возможностями оптимизации производительности. Однако нельзя не отметить и существующие ограничения: некоторая отсталость в области глубокого обучения, менее развитое сообщество по сравнению с Python, а также ограниченное число актуальных учебных материалов и примеров.

Тем не менее, выбор Java в качестве основы для систем машинного обучения может быть вполне обоснован, особенно когда ключевыми становятся надёжность, производственная готовность и долгосрочная поддержка решений. Продолжающееся развитие библиотек, открытость к современным стандартам и стремление к улучшению совместимости с другими платформами позволяют с уверенностью говорить о потенциале Java в будущем. Главный вывод заключается в том, что при грамотном подходе и учёте особенностей проекта Java может быть не только допустимым, но и эффективным инструментом в арсенале специалиста по машинному обучению.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

References

1. Kaur, H. Comparative Weka Analysis of Clustering Algorithm's / H. Kaur, P. Verma // International Journal of Information Technology and Computer Science. – 2017. – Vol. 9, No. 8. – P. 56-67. – DOI 10.5815/ijitcs.2017.08.07. – EDN LAFTHE.

2. Petrov, N. Java and machine learning: opportunities and limitations / N. Petrov // Recent scientific investigation : Proceedings of LXVI International Multidisciplinary Conference, Shawnee, USA, 03 марта 2025 года. – Shawnee, USA: ООО «Интернаука», 2025. – P. 59-63.

3. Various Frameworks and Libraries of Machine Learning and Deep Learning: A Survey / Z. Wang, K. Liu, J. Li [et al.] // Archives of Computational Methods in Engineering. – 2019.

4. Анализ программных библиотек для разработки встраиваемых нейросетевых приложений / Б. В. Артемьев, А. И. Власов, Ж. О. Исроилов, С. Мулатола // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2023. – Т. 25, № 6. – С. 5-12.

5. Асылова, М. А. Обзор программных библиотек для машинного обучения / М. А. Асылова // Вопросы науки 2024: потенциал науки и современные аспекты. – Анапа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов» в Южном Федеральном округе, 2024. – С. 4-8.

6. Крылов, А. С. Анализ средств для реализации нейронных сетей на языке программирования Java / А. С. Крылов // Молодой ученый. – 2017. – № 18(152). – С. 36-39.

7. Передерий, В. А. Сравнительная характеристика библиотек машинного обучения для внедрения искусственного интеллекта в CRM-систему / В. А. Передерий, М. Л. Рысин // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 4(112). – С. 141-155.

8. Личман, А. А. Сравнительный анализ методов машинного обучения на примере задачи классификации / А. А. Личман, О. Ю. Чередникова // Инновационные перспективы Донбасса. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2025. – С. 72-79.

9. Пономарев, Д. С. Сопоставление библиотек для создания моделей машинного обучения на основе методов градиентного бустинга / Д. С. Пономарев // Современные инновации, системы и технологии. – 2025. – Т. 5, № 2. – С. 3001-3006.

10. Пятибратов, Д. В. Сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения в задачах исследования фондового рынка / Д. В. Пятибратов, А. В. Логинов, Т. А. Болотов // Вестник науки. – 2025. – Т. 3, № 10(91). – С. 644-650.

11. Раджабова, Д. И. Сравнительный анализ методов машинного обучения для задачи бинарной классификации тональности текстов / Д. И. Раджабова // Кооперация науки и национальноориентированных стратегий: цифровая модернизация и

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

инновационное развитие. – Душанбе: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2025. – С. 41-54.

12. Татьянок, В. Г. Сравнительный анализ методов машинного обучения / В. Г. Татьянок, П. В. Воронина // Информационно-аналитические и интеллектуальные системы в промышленности и социальной сфере. – Москва: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет пищевых производств» , 2019. – С. 135-146.

13. Чесноков, А. Д. Машинное обучение для защиты IOT: сравнительный анализ и выбор алгоритма / А. Д. Чесноков // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций. Оптические технологии в телекоммуникациях. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. – С. 353-354.

14. Шипилова, Е. А. Сравнительный анализ результатов машинного обучения и регрессионной модели траекторий поведения пользователей Онлайн-сервисов / Е. А. Шипилова, Е. Е. Некрылов // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2023. – № 4(47). – С. 9-10.

15. Янсон, Я. Е. Сравнительный анализ методов машинного обучения в задачах классификации / Я. Е. Янсон // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2024. – С. 117-119.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 004.8

Boshchenko D.A. The impact of artificial intelligence on the development of the modern world

Влияние искусственного интеллекта на развитие современного мира

Boshchenko D.A.,
student
Volgograd State University
Бощенко Д.А.,
студент
Волгоградский государственный университет

Abstract. *This article examines the role of artificial intelligence in the modern world. It covers the key stages of its development, from early concepts to modern neural networks and generative models. Particular attention is given to the application areas of AI: medicine, business, transportation, education, culture, and security. The advantages and opportunities of this technology are highlighted, and the risks and shortcomings of the technology are analyzed. The prospects for AI development and the need to develop responsible principles for its use are discussed.*

Keywords: *artificial intelligence, machine learning, neural networks, automation, digital technologies, AI ethics, risks, and development prospects.*

Аннотация. *В статье рассматривается роль искусственного интеллекта в современном мире. Показаны основные этапы развития – от первых концепций до современных нейронных сетей и генеративных моделей. Особое внимание уделяется сферам применения ИИ: медицине, бизнесу, транспорту, образованию, культуре и безопасности. Отмечаются преимущества и возможности технологий. Проведен анализ рисков и недостатков технологии. Обсуждаются перспективы развития ИИ и необходимость выработки ответственных принципов использования.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, автоматизация, цифровые технологии, этика ИИ, риски, перспективы развития.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович - кандидат технических наук, доцент. Заместитель директора, главный научный сотрудник. ООО «Научно-исследовательский проектный институт «Промышленное и гражданское строительство»

Искусственный интеллект (ИИ) – это одно из наиболее значимых достижений современной науки и технологий. Под этим понятием обычно понимают создание систем и алгоритмов, способных выполнять задачи, которые ранее считались доступными исключительно человеческому разуму: анализ информации, обучение на основе опыта, принятие решений, распознавание речи и образов.

В последние годы ИИ перестал быть лишь научной теорией или темой для научной фантастики – он активно внедряется в повседневную жизнь. Мы сталкиваемся с ним ежедневно: от голосовых помощников в смартфонах до рекомендательных систем в интернете и умных автомобилей. Темпы развития этой технологии настолько высоки, что ИИ становится неотъемлемой частью социальных и экономических процессов.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Идея создания машин, способных мыслить подобно человеку, возникла задолго до появления компьютеров. Уже в античные времена философы рассуждали о возможности искусственного разума, а в эпоху Просвещения механические автоматы становились символами мечты о «разумных машинах». Однако, практическая основа для развития искусственного интеллекта появилась лишь в середине XX века, когда началась эра вычислительной техники.

Одной из ключевых вех стало появление в 1950 году «теста Тьюринга», предложенного английским математиком Аланом Тьюрингом[5]. Этот тест ставил вопрос: может ли машина демонстрировать поведение, неотличимое от человеческого? С этого момента начались первые попытки создать программы, способные решать задачи на основе логики и правил.

В 1950-1970-е годы активно развивались экспертные системы – программы, которые опирались на заранее заложенные знания и алгоритмы. Они были полезны в узких областях, например, в медицине или технической диагностике, но имели серьезный недостаток: такие системы не могли самостоятельно учиться и адаптироваться[10].

Новый этап наступил с накоплением человечеством больших массивов данных. Вместо ручного программирования правил ученые стали обучать алгоритмы на этих больших массивах. Это позволило информационным системам самостоятельно выявлять закономерности и улучшать свою работу.

Ключевым прорывом стали глубокие нейронные сети, появившиеся в 2010-х годах. Они обеспечили качественный скачок в таких областях, как распознавание изображений, перевод текстов, генерация музыки и речи. Сегодня развитие технологий больших данных, облачных вычислений и генеративных моделей, таких как GPT или DALL-E, открывает новые горизонты для применения искусственного интеллекта в самых разных сферах[6].

Постепенно искусственный интеллект стал частью многих сфер жизни, выходя далеко за рамки лабораторных исследований и демонстрационных проектов. Сегодня его внедрение можно наблюдать в самых разных отраслях – от медицины и образования до транспорта и искусства.

ИИ помогает врачам в диагностике заболеваний, анализируя результаты обследований быстрее и точнее, чем человек. Алгоритмы способны распознавать опухоли на снимках, прогнозировать развитие болезней и подбирать персонализированные схемы лечения. В настоящий момент активно развиваются роботизированные хирургические системы, позволяющие проводить операции с высокой точностью.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

В деловой сфере ИИ применяется для автоматизации рутинных процессов, прогнозирования рынков и анализа больших объемов данных. Чат-боты и голосовые помощники уже стали привычным инструментом обслуживания клиентов, а рекомендательные системы помогают компаниям лучше понимать потребности покупателей[1].

Одним из наиболее заметных направлений является разработка беспилотных автомобилей. Машины, оснащённые нейронными сетями, могут распознавать объекты на дороге, принимать решения в реальном времени и обеспечивать безопасность движения. Помимо этого, ИИ активно используется в логистике для оптимизации маршрутов и снижения затрат.

Современные образовательные платформы используют искусственный интеллект для адаптивного обучения: система анализирует сильные и слабые стороны студента и предлагает индивидуальные задания. Также ИИ помогает автоматизировать проверку работ и создавать интерактивные обучающие программы[3].

Сегодня ИИ очень часто применяется в сфере искусства. Он способен писать музыку, создавать картины, генерировать тексты и даже участвовать в кинопроизводстве. Такие технологии открывают новые горизонты для творчества, помогая художникам и музыкантам экспериментировать с цифровыми инструментами.

Системы, основанные на искусственном интеллекте, используются для анализа видеопотоков, распознавания лиц и выявления подозрительных действий. Они помогают предотвращать преступления и обеспечивать общественную безопасность. Вместе с тем в этой сфере очень остро стоят вопросы этики и защиты персональных данных.

Развитие искусственного интеллекта открывает перед человечеством огромный спектр новых возможностей. Эта технология не только облегчает выполнение рутинных задач, но и позволяет решать проблемы, которые раньше считались практически нерешаемыми.

Алгоритмы способны обрабатывать огромные массивы данных за доли секунды, находя закономерности, которые человек не в силах заметить. ИИ берёт на себя однообразные задачи: сортировку данных, обработку запросов, техническую поддержку. В результате люди могут сосредоточиться на более сложных и творческих аспектах работы, что повышает общую продуктивность.

Искусственный интеллект помогает людям в повседневной жизни: от «умных домов» и персональных помощников до навигационных систем и приложений для здоровья. Эти технологии делают быт комфортнее и безопаснее, особенную выгоду от этого получают люди с ограниченными возможностями[4].

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Хотя автоматизация сокращает некоторые рабочие места, одновременно с этим появляются новые профессии: специалисты по машинному обучению, инженеры по данным, архитекторы нейросетей, аналитики больших данных. Кроме того, ИИ становится инструментом для художников, музыкантов и дизайнеров, помогая им открывать новые формы творчества.

ИИ активно используется для поиска решений проблем мирового масштаба. Он помогает прогнозировать климатические изменения, моделировать экологические процессы, разрабатывать новые лекарства и оптимизировать использование энергии. В перспективе такие технологии могут сыграть ключевую роль в борьбе с глобальными кризисами.

Несмотря на огромный потенциал и многочисленные преимущества, развитие искусственного интеллекта сопровождается рядом серьёзных рисков и проблем. Данные факты нельзя игнорировать, так как они напрямую влияют на общество, экономику и безопасность человечества.

Автоматизация рутинных процессов неизбежно приводит к сокращению некоторых профессий. Особенно уязвимыми оказываются рабочие специальности и должности, связанные с повторяющимися задачами: бухгалтерия, логистика, обслуживание клиентов[7]. Возникает необходимость адаптации рынка труда и переобучения работников.

ИИ всё чаще принимает решения, влияющие на жизнь людей: будь то медицинский диагноз, кредитное одобрение или рекомендации по найму сотрудников. В связи с этим возникают вопросы справедливости и прозрачности алгоритмов. Ошибки или предвзятость в данных могут приводить к дискриминации и несправедливым результатам.

Системы искусственного интеллекта активно используют данные пользователей: от истории поисковых запросов до биометрических показателей. Это создаёт риск утечки информации и злоупотребления личными данными. Контроль над тем, как собираются и используются данные, становится одной из ключевых проблем.

ИИ уже применяется для разработки автономных систем вооружения и кибератак[2]. Это порождает опасения, что в будущем боевые действия могут вестись машинами с минимальным участием человека, что повышает риск непредсказуемых последствий и глобальной нестабильности.

Многие современные нейросети представляют собой сложные структуры, чья работа не всегда прозрачна даже для их создателей. Пользователи сталкиваются с необходимостью доверять результатам, не понимая, каким образом система пришла к тому или иному решению. Это снижает уровень доверия к технологиям и ограничивает возможность их применения в ответственных сферах.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Будущее искусственного интеллекта открывает широкий спектр возможностей, которые способны изменить не только технологическую сферу, но и саму структуру общества. Многие эксперты отмечают, что мы стоим лишь в начале пути, а дальнейшее развитие ИИ может привести к глубоким преобразованиям в науке, экономике и повседневной жизни.

На сегодняшний день мы имеем дело с так называемым «слабым» ИИ, который решает конкретные задачи в ограниченных областях. Однако, ведутся исследования в направлении систем, обладающих универсальными когнитивными способностями, близкими к человеческому разуму. Если такие технологии будут реализованы, они смогут обучаться без ограничений и решать задачи, недоступные современным алгоритмам[9].

Всё больше внимания уделяется концепции «Human-in-the-loop» – взаимодействию человека и ИИ. Речь идёт не о замене специалистов машинами, а о создании эффективного партнёрства, когда алгоритмы берут на себя рутинные и аналитические задачи, а человек отвечает за творческое мышление, стратегию и моральный выбор.

Также ИИ имеет потенциал стать ключевым инструментом в борьбе с глобальными проблемами человечества. Он помогает моделировать климатические изменения, разрабатывать новые источники энергии, ускорять поиск лекарств и улучшать системы здравоохранения. Применение технологий в этих областях существенно повлияет на качество жизни человечества[8].

Развитие открытых платформ и доступных инструментов машинного обучения делает ИИ ближе не только к крупным корпорациям, но и к малым бизнесам, образовательным учреждениям и отдельным пользователям. Это открывает возможность для более справедливого распределения преимуществ технологий.

Перспективы развития ИИ напрямую зависят от того, насколько человечество сможет выработать правила ответственного использования данной технологии. Международное сотрудничество, создание законов и этических норм должно стать важнейшими условиями для предотвращения злоупотреблений и обеспечения безопасности.

Заключение

Современный мир стоит на пороге новой технологической эпохи, где ИИ становится не просто инструментом, а партнёром человека в принятии решений и создании инноваций. Однако ключевым фактором успеха будет не только скорость развития технологий, но и ответственность, с которой они будут использоваться.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Искусственный интеллект уже сегодня играет огромную роль в развитии общества, проникая во все сферы жизни – от медицины и образования до бизнеса и творчества. Его внедрение открывает новые возможности: повышение эффективности, облегчение труда, решение глобальных проблем, улучшение качества жизни. Одновременно с этим ИИ несет серьёзные риски: потерю рабочих мест, угрозу приватности, необходимость этического регулирования и опасность неконтролируемого применения.

В заключение необходимо отметить, искусственный интеллект – это двойственная сила. С одной стороны – мощный двигатель прогресса, с другой – потенциальный источник рисков. Сейчас задача человечества заключается в том, чтобы найти баланс между этими факторами, выработать правила и ценности, которые позволят использовать ИИ во благо общества. Лишь в этом случае эта технология станет фундаментом для справедливого и технологического будущего.

References

1. Алтемирова, Х. С. Искусственный интеллект и возможности его применения в разных сферах жизни / Х. С. Алтемирова // Молодой ученый. – 2023. – № 48(495). – С. 5-7.

2. Гусаков, А. А. Влияние искусственного интеллекта на жизнь людей / А. А. Гусаков, Д. Ю. Рябов // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2023. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 364-365.

3. Коваленко, Т. А. Искусственный интеллект в современном мире / Т. А. Коваленко, Р. В. Никифоров // Научное пространство: актуальные вопросы теории и практики. – Чебоксары: НОЧУ ДПО «Экспертно-методический центр», 2021. – С. 11-15.

4. Кожеваткин, В. К. Практическое применение искусственного интеллекта / В. К. Кожеваткин, Г. О. Лопаткин // Всероссийские научные чтения - 2023. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2023. – С. 102-106.

5. Кошелев, А. В. Исследование роли технологий, созданных на основе передовых знаний / А. В. Кошелев, Е. В. Ерохина // Научный электронный журнал Меридиан. – 2019. – № 12(30). – С. 336-338.

6. Майорова, Е. В. Социум и искусственный интеллект: угрозы и перспективы / Е. В. Майорова, Н. А. Долгушина // Искусственный интеллект и цифровизация образования. – Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2020. – С. 47-54.

7. Муравейко, К. В. Искусственный интеллект и машинное обучение в бизнесе / К. В. Муравейко, Н. И. Белодед // Технологическая независимость и

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 308-313.

8. Мухтярова, Г. М. Основные тенденции развития цифровых технологий / Г. М. Мухтярова, Э. Ф. Амирова // Студенческая наука - аграрному производству. – Казань: КГАУ, 2023. – С. 272-283.

9. Носов, Н. Ю. Тенденции развития искусственного интеллекта / Н. Ю. Носов, М. Д. Соколов // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 5(61). – С. 86-89.

10. Пырнова, О. А. Перспективы развития экспертных систем / О. А. Пырнова, Р. С. Зарипова // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2020. – № 3(21). – С. 55-57.

11. Развитие и перспективы искусственного интеллекта в современном мире / С. Шемсетдинов, К. Сапарова, Н. Русланов, Д. Джейхунов // Современные задачи и перспективные направления инновационного развития науки. – Уфа: ООО «Омега сайнс», 2025. – С. 35-37.

12. Сапарова, О. Влияние искусственного интеллекта на современный мир / О. Сапарова, Г. Вепалыева // Технологии, модели и алгоритмы модернизации науки в современных геополитических условиях. – Уфа: ООО «Омега сайнс», 2025. – С. 173-175.

13. Тарасенко, А. В. Влияние систем искусственного интеллекта на человеческий капитал России и мира / А. В. Тарасенко // Инновации и инвестиции. – 2025. – № 2. – С. 262-267.

14. Терещенко, А. Ю. Технологии искусственного интеллекта и их влияние на развитие современного образования / А. Ю. Терещенко // Страны БРИКС: стратегии развития и механизмы сотрудничества в изменяющемся мире. – Москва: Издательский дом «УМЦ», 2024. – С. 571-575.

15. Хасанов, А. В. Влияние искусственного интеллекта на развитие современных медиа / А. В. Хасанов // Казанская наука. – 2024. – № 6. – С. 309-313.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 004.43

Konovalov G.G. Comparative analysis of Java and Kotlin programming languages

Сравнительный анализ языков программирования Java и Kotlin

Konovalov G.G.,
student
Volgograd State University
Коновалов Г.Г.,
студент
Волгоградский государственный университет

Abstract. *This article presents a comparative analysis of the Java and Kotlin programming languages, which operate within the Java Virtual Machine ecosystem. It describes the history of the languages' development, their syntactic features, approaches to typing and security, performance, compatibility, and practical applications. Particular attention is paid to the entry barrier, ecosystem, and future development prospects for Java and Kotlin. This analysis identifies the advantages and limitations of each language and provides recommendations for their selection based on software development goals and conditions.*

Keywords: *Java, Kotlin, programming language, JVM, comparative analysis, syntax, typing, performance, ecosystem, software development.*

Аннотация. *В статье рассматривается сравнительный анализ языков программирования Java и Kotlin, функционирующих в экосистеме Java Virtual Machine. Описываются история развития языков, их синтаксические особенности, подходы к типизации и обеспечению безопасности, вопросы производительности, совместимости и практического применения. Особое внимание уделяется порогу вхождения, экосистеме и перспективам дальнейшего развития Java и Kotlin. Проведенный анализ позволяет выявить преимущества и ограничения каждого языка и сформировать рекомендации по их выбору в зависимости от целей и условий разработки программного обеспечения.*

Ключевые слова: *Java, Kotlin, язык программирования, JVM, сравнительный анализ, синтаксис, типизация, производительность, экосистема, разработка программного обеспечения.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович - кандидат технических наук, доцент. Заместитель директора, главный научный сотрудник. ООО «Научно-исследовательский проектный институт «Промышленное и гражданское строительство»

Java и Kotlin являются современными языками программирования, ориентированными на работу в экосистеме Java Virtual Machine. Несмотря на общую платформу выполнения, они различаются по времени появления, целям создания и подходам к разработке программного обеспечения.

Язык программирования Java был представлен в середине 1990-х годов и с тех пор получил широкое распространение в различных сферах разработки. Основной идеей Java стала концепция платформонезависимости, реализованная за счет выполнения программ в среде виртуальной машины. Это позволило создавать приложения, которые могут работать на разных операционных системах без изменений в исходном коде.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Java изначально разрабатывался как объектно-ориентированный язык, что определило его строгую структуру и формальный стиль программирования. Он отличается высокой надежностью, развитой системой управления памятью и большим набором стандартных библиотек. Благодаря своей стабильности и предсказуемости Java широко используется в корпоративных информационных системах, серверных приложениях, банковском и промышленном программном обеспечении[6].

Kotlin – относительно молодой язык программирования, разработанный компанией JetBrains и официально представленный в 2011 году. Его создание было обусловлено необходимостью повысить удобство и эффективность разработки на платформе JVM, сохранив при этом совместимость с существующим Java-кодом и библиотеками[11].

Основной акцент в Kotlin сделан на лаконичность, выразительность и снижение количества типичных ошибок. Язык предлагает более современный синтаксис и ряд встроенных механизмов, направленных на повышение безопасности и читаемости программ. Kotlin активно развивается и поддерживается сообществом, а также получил официальную поддержку Google в качестве приоритетного языка для Android-разработки.

Благодаря сочетанию современного подхода, гибкости и полной интеграции с экосистемой Java, Kotlin постепенно расширяет области своего применения, находя своё применение в мобильной, серверной и кроссплатформенной разработке.

Синтаксис языка программирования оказывает существенное влияние на удобство разработки, скорость написания программ и их дальнейшую поддержку. В этом аспекте Java и Kotlin демонстрируют разные подходы к организации кода и взаимодействию разработчика с языком.

Java отличается строгим и формализованным синтаксисом, который требует явного описания большинства конструкций. Такой подход способствует однозначности и предсказуемости кода, однако нередко приводит к его избыточности. Для реализации даже простых задач может потребоваться значительный объем служебных конструкций, что снижает читаемость и увеличивает время разработки. Тем не менее четкая структура Java-кода облегчает его понимание в крупных проектах и при командной работе.

Kotlin, напротив, ориентирован на лаконичность и выразительность. Его синтаксис позволяет сократить количество шаблонных элементов, делая код более компактным и визуально понятным. Благодаря этому разработчики могут сосредоточиться на логике приложения, а не на технических деталях реализации. Повышенная читаемость Kotlin-кода особенно заметна при работе с современными парадигмами программирования и сложными структурами данных.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Отдельного внимания заслуживает подход языков к работе с потенциально ошибочными ситуациями. Kotlin на уровне синтаксиса стремится минимизировать распространенные ошибки, связанные с некорректным использованием данных, тогда как в Java ответственность за подобные проверки в большей степени ложится на разработчика. Это отражается на качестве и надежности итогового кода.

Система типизации и механизмы обеспечения безопасности являются важными аспектами при выборе языка программирования, поскольку они напрямую влияют на надежность программ и количество ошибок, выявляемых на этапе разработки. Java и Kotlin используют статическую типизацию, однако реализуют ее с разной степенью строгости и уровнем поддержки со стороны языка[8].

В Java статическая типизация предполагает явное указание типов переменных и строгий контроль их соответствия во время компиляции. Такой подход позволяет выявлять значительное количество ошибок еще до запуска программы, что повышает стабильность и предсказуемость работы приложений. Однако в ряде случаев Java предоставляет разработчику большую свободу, что может привести к возникновению ошибок, связанных с некорректным использованием данных, если не были выполнены дополнительные проверки.

Kotlin развивает концепцию статической типизации, дополняя ее встроенными механизмами повышения безопасности. Язык ориентирован на предотвращение распространенных ошибок еще на уровне компиляции и поощряет более аккуратную работу с данными. За счет этого снижается вероятность возникновения критических сбоев во время выполнения программы и повышается общее качество кода.

Оба языка поддерживают обработку исключительных ситуаций, однако подход к их использованию различается. Java традиционно требует более явного управления ошибками, что делает логику обработки исключений наглядной, но иногда перегруженной. Kotlin предлагает более гибкий и компактный подход, позволяя сосредоточиться на основной логике программы без излишней детализации.

Java и Kotlin изначально ориентированы на выполнение в среде Java Virtual Machine, что обеспечивает им схожие принципы работы и высокий уровень совместимости. Оба языка компилируются в байт-код JVM, благодаря чему могут использовать единый механизм управления памятью, сборки мусора и оптимизации выполнения программ.

Java, как один из основных языков для JVM, на протяжении многих лет оптимизировался с учетом особенностей виртуальной машины. Современные версии JVM обеспечивают высокую производительность Java-приложений за счет адаптивной компиляции, оптимизации «на лету» и эффективного управления ресурсами[5]. Это делает Java надежным выбором для высоконагруженных систем, серверных

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

приложений и корпоративных решений, где важны стабильность и предсказуемость поведения.

Kotlin также компилируется в байт-код JVM и в большинстве случаев демонстрирует сопоставимую производительность. Однако из-за использования дополнительных абстракций и более сложных языковых конструкций в некоторых сценариях может возникать незначительное снижение эффективности по сравнению с эквивалентным Java-кодом. При этом современные компиляторы и оптимизации JVM сводят эту разницу к минимуму, делая ее практически незаметной для большинства приложений.

С точки зрения использования памяти оба языка зависят от одних и тех же механизмов виртуальной машины. Тем не менее стиль программирования и особенности языка могут косвенно влиять на потребление ресурсов. Kotlin поощряет более высокоуровневые подходы, что приводит к увеличению количества создаваемых объектов, тогда как Java чаще используется в более низкоуровневом и контролируемом стиле.

Java обладает одной из самых развитых и зрелых экосистем среди языков программирования. За годы активного использования было создано огромное количество библиотек, фреймворков и инструментов для решения задач различной сложности. Широкая поддержка со стороны сообществ и крупных компаний обеспечивает долгосрочную актуальность Java и упрощает разработку, тестирование и сопровождение приложений.

Kotlin изначально проектировался с учетом полной совместимости с Java. Это позволяет использовать существующие Java-библиотеки и фреймворки без ограничений, а также комбинировать код на двух языках в одном проекте. Такой подход снижает риски при переходе на Kotlin и делает его привлекательным для команд, уже работающих с Java.

С точки зрения инструментов разработки оба языка поддерживаются современными средами программирования, системами сборки и тестирования. Kotlin активно развивается в рамках экосистемы JetBrains и получает регулярные обновления, направленные на улучшение интеграции с популярными платформами и фреймворками[2]. При этом Java остается стандартом для многих корпоративных инструментов и инфраструктурных решений.

Java и Kotlin находят широкое применение в различных областях разработки программного обеспечения, однако исторически сложившиеся особенности и направления развития каждого языка определяют их приоритетные сферы использования.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Java традиционно занимает прочные позиции в корпоративной и серверной разработке. Она широко применяется при создании масштабных информационных систем, веб-приложений, сервисов и распределенных решений. Благодаря своей стабильности, обратной совместимости и предсказуемому жизненному циклу Java часто выбирается для проектов с длительным сроком эксплуатации, высокими требованиями к надежности и строгими стандартами разработки. Кроме того, Java активно используется в финансовом секторе, промышленности и государственных информационных системах.

Kotlin получил наибольшую популярность в сфере мобильной разработки, прежде всего при создании приложений для операционной системы Android. Официальная поддержка со стороны Google и ориентация языка на повышение производительности разработчиков сделали Kotlin фактическим стандартом для новых Android-проектов[7]. Его возможности позволяют упростить разработку пользовательских интерфейсов и бизнес-логики, а также снизить количество ошибок на этапе реализации.

Порог вхождения и удобство обучения являются важными факторами при выборе языка программирования, особенно для начинающих разработчиков и команд, осваивающих новую технологию. Java и Kotlin в этом аспекте предлагают разные подходы и возможности.

Java часто рассматривается как язык, с которого удобно начинать изучение объектно-ориентированного программирования. Его строгий синтаксис и формализованные правила позволяют последовательно освоить базовые концепции, такие как классы, объекты, наследование и полиморфизм. Благодаря обширной учебной базе, большому количеству учебников, курсов и примеров, Java остается популярным языком в образовательной среде. Однако для начинающих разработчиков избыточность синтаксиса может затруднять первоначальное освоение и замедлять процесс написания первых программ.

Kotlin, в свою очередь, предлагает более компактный и интуитивно понятный синтаксис, что может облегчить старт в программировании. Многие рутинные операции в Kotlin выполняются проще, что позволяет быстрее увидеть практический результат своей работы. В то же время язык включает в себя ряд современных концепций и абстракций, понимание которых требует определенного уровня подготовки и может усложнить обучение при отсутствии базовых знаний.

Для разработчиков, уже знакомых с Java, переход на Kotlin, как правило, не вызывает серьезных затруднений. Схожесть концепций и полная совместимость языков позволяют постепенно осваивать Kotlin, используя уже накопленный опыт. Это делает Kotlin удобным инструментом для расширения профессиональных навыков без необходимости полного пересмотра подходов к разработке.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Сообщество разработчиков и перспективы дальнейшего развития языка программирования играют важную роль при его выборе, особенно в контексте долгосрочных проектов. Активное сообщество обеспечивает обмен опытом, развитие библиотек и фреймворков, а также оперативное решение возникающих проблем.

Java обладает одним из крупнейших и наиболее зрелых сообществ в мире программирования[4]. За десятилетия использования вокруг языка сформировалась обширная база знаний, включающая документацию, форумы, профессиональные сообщества и образовательные ресурсы. Поддержка со стороны крупных компаний и открытых организаций обеспечивает регулярное обновление языка и платформы, а также сохранение обратной совместимости, что особенно важно для корпоративных пользователей.

Kotlin, несмотря на сравнительно небольшой возраст, демонстрирует высокие темпы развития и быстрорастущее сообщество. Активная поддержка со стороны компании JetBrains и признание Kotlin в качестве приоритетного языка для Android-разработки способствовали его популяризации и широкому распространению. Сообщество Kotlin ориентировано на современные подходы к разработке, активно участвует в развитии языка и создании новых инструментов.

С точки зрения перспектив, Java продолжает эволюционировать, адаптируясь к современным требованиям и сохраняя статус одного из ключевых языков для разработки надежных и масштабируемых систем. Kotlin, в свою очередь, рассматривается как язык с высоким потенциалом роста, особенно в областях мобильной, серверной и кроссплатформенной разработки[3].

В результате оба языка обладают устойчивыми перспективами развития. Java остается фундаментом для множества существующих систем, тогда как Kotlin активно формирует будущее разработки в экосистеме JVM, предлагая более современный и гибкий подход.

Заключение

В ходе сравнительного анализа языков программирования Java и Kotlin было выявлено, что оба языка обладают сильными сторонами и успешно применяются в современных программных проектах. Их общая ориентация на платформу JVM обеспечивает высокий уровень совместимости, надежности и производительности, что делает оба языка востребованными в профессиональной среде.

Java представляет собой проверенный временем инструмент, отличающийся стабильностью, развитой экосистемой и широкой областью применения. Она особенно хорошо подходит для крупных корпоративных систем, проектов с длительным жизненным циклом и строгими требованиями к надежности и поддержке.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Консервативный подход к развитию языка обеспечивает предсказуемость и упрощает сопровождение масштабных приложений.

Kotlin, в свою очередь, является более современным языком, ориентированным на повышение удобства и эффективности разработки. Его лаконичный синтаксис и встроенные механизмы повышения безопасности позволяют сократить количество ошибок и ускорить процесс создания программных продуктов. Kotlin особенно востребован в новых проектах, включая мобильную и серверную разработку, где важны гибкость и скорость реализации.

В заключение необходимо отметить, что выбор между Java и Kotlin должен основываться на специфике проекта, требованиях к производительности, сроках разработки и уровне подготовки команды. В ряде случаев целесообразно использовать оба языка совместно, сочетая надежность Java и современные возможности Kotlin для достижения оптимального результата.

References

1. Аглиуллина, Д. Ф. Сравнительный анализ Java и Kotlin для мобильной разработки / Д. Ф. Аглиуллина // МНПК-2024 : материалы Всероссийской молодёжной научно-практической конференции, Казань, 27–29 мая 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 4-6.

2. Бабурин, А. Н. Программирование графики для мобильных устройств с использованием языка JAVA / А. Н. Бабурин, А. О. Радченко, М. В. Алейников // Научный аспект. – 2024. – Т. 11, № 5. – С. 1486-1492.

3. Блинова, А. В. Противостояние языков программирования Kotlin и Java в разработке мобильных приложений / А. В. Блинова // Актуальные исследования. – 2022. – № 37(116). – С. 38-40.

4. Васильев, А. В. Сравнительный анализ Java и Kotlin в разработке мобильных приложений для Android / А. В. Васильев, А. В. Свищев // Моя профессиональная карьера. – 2024. – Т. 2, № 60. – С. 152-157.

5. Зарипов, А. Р. Сравнительный анализ языков программирования KOTLIN И JAVA / А. Р. Зарипов, Ф. Ф. Сафиуллина // Сборник трудов молодых ученых УВО «Университет управления «ТИСБИ». – Казань : Университет управления «ТИСБИ», 2019. – С. 134-138.

6. Марценюк, Д. А. Сравнительный анализ Java и Kotlin / Д. А. Марценюк // Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в ВУЗе и школе. – 2022. – № 39. – С. 1067-1072.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

7. Матвеев, Д. А. Анализ возможности использования объектно-ориентированного языка программирования Java для решения производственных задач / Д. А. Матвеев // Экономика и социум. – 2022. – № 12-1(103). – С. 1445-1447.

8. Нурмухаметов, Д. Р. Сравнительное исследование: программирование на Java или Kotlin в разработке приложений для Android / Д. Р. Нурмухаметов // Научное сообщество студентов. Междисциплинарные исследования. – Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга», 2019. – С. 35-41.

9. Сравнительный анализ эффективности применения языков программирования Java и Kotlin / Л. В. Черкесова, Е. А. Ревякина, И. А. Енгибарян, А. И. Ревякин // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 10. – С. 144-151.

10. Сравнительный анализ эффективности языков программирования Java и Kotlin / М. А. Третьяк, Л. В. Черкесова, Е. А. Ревякина, А. И. Ревякин // Современная школа России. Вопросы модернизации. – 2022. – № 7(43). – С. 101-105.

11. Струльков, В. И. Сравнительное исследование: программирование Java и Kotlin в разработке приложений для Android / В. И. Струльков, Н. А. Саянский, М. Ю. Драгун // Научное образование. – 2022. – № 2(15). – С. 15-19.

12. Терешков, В. О. Анализ производительности языка Kotlin в синтетическом тесте по сравнению с языком Java / В. О. Терешков // Информационные технологии, энергетика и экономика. – Смоленск: Универсум, 2020. – С. 330-334.

13. Турушев, Т. К. Многофункциональные высокоуровневые языки программирования Java и Kotlin для мобильных приложений / Т. К. Турушев // Теоретические и практические аспекты развития современной науки: теория, методология, практика. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2021. – С. 55-59.

14. Тюрюханова, И. В. Сравнение языков Java и Kotlin для мобильной разработки / И. В. Тюрюханова // Интернаука. – 2023. – № 37-1(307). – С. 16-17.

15. Шамшурин, Д. А. Сравнение возможностей языков программирования Java и Kotlin в мобильной разработке для Android устройств / Д. А. Шамшурин, Н. А. Писклов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2023. – С. 259.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 004.8:004.4

Konovalov G.G. Integrating AI assistants into software development processes

Интеграция ИИ-ассистентов в процессы разработки программного обеспечения

Konovalov G.G.,
student
Volgograd State University
Коновалов Г.Г.,
студент
Волгоградский государственный университет

Abstract. *This article examines the integration of AI assistants into software development processes. It analyzes the concept of AI assistants, discusses their main applications, and examines their role in the software development lifecycle. It also examines the existing limitations and risks of using such technologies, including security issues, developer reliance on intelligent tools, and the legal aspects of using generated code. Finally, it discusses the prospects for further development of AI assistants and their impact on the future of software engineering.*

Keywords: *artificial intelligence, AI assistants, software development, software engineering, development automation, code generation, software lifecycle, intelligent development tools.*

Аннотация. *В статье рассматриваются особенности интеграции ИИ-ассистентов в процессы разработки программного обеспечения. Анализируется понятие ИИ-ассистентов, рассматриваются основные области их применения и роль в жизненном цикле разработки программного обеспечения. Рассмотрены существующие ограничения и риски использования таких технологий, включая вопросы безопасности, зависимости разработчиков от интеллектуальных инструментов и правовые аспекты использования сгенерированного кода. В заключение обсуждаются перспективы дальнейшего развития ИИ-ассистентов и их влияние на будущее программной инженерии.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект, ИИ-ассистенты, разработка программного обеспечения, программная инженерия, автоматизация разработки, генерация кода, жизненный цикл программного обеспечения, интеллектуальные инструменты разработки.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович - кандидат технических наук, доцент. Заместитель директора, главный научный сотрудник. ООО «Научно-исследовательский проектный институт «Промышленное и гражданское строительство»

В последние годы в области программной инженерии активно развивается направление использования интеллектуальных инструментов, способных помогать разработчикам в процессе создания программных систем. Одним из ключевых элементов таких технологий являются ИИ-ассистенты, представляющие собой программные системы, использующие методы искусственного интеллекта для анализа программного кода, взаимодействия с разработчиком и автоматизации различных задач разработки. Эти инструменты способны обрабатывать большие объёмы данных, анализировать структуру программ и предлагать решения, которые могут ускорить и упростить процесс создания программного обеспечения.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Под ИИ-ассистентами в контексте разработки программного обеспечения обычно понимаются интеллектуальные программные инструменты, которые помогают разработчикам выполнять различные задачи, связанные с написанием, анализом и сопровождением кода[15]. Такие системы способны интерпретировать запросы пользователя, анализировать контекст проекта и предлагать рекомендации или автоматически выполнять отдельные действия. В отличие от традиционных инструментов разработки, которые работают по заранее заданным правилам, ИИ-ассистенты используют модели машинного обучения, позволяющие им адаптироваться к различным задачам и улучшать качество своих рекомендаций на основе анализа больших массивов программного кода.

Функциональные возможности ИИ-ассистентов могут существенно различаться в зависимости от их назначения и используемых технологий. Некоторые системы ориентированы на помощь при написании кода и способны автоматически предлагать продолжение программных конструкций, генерировать целые фрагменты программ или объяснять работу отдельных участков кода[8]. Другие инструменты предназначены для анализа уже существующего программного обеспечения и могут выявлять потенциальные ошибки, уязвимости или неэффективные конструкции. Существуют также интеллектуальные системы, которые помогают разработчикам создавать тесты, формировать документацию или выполнять рефакторинг программных компонентов.

Развитие таких инструментов стало возможным благодаря прогрессу в области искусственного интеллекта и обработки естественного языка. Современные ИИ-ассистенты часто основаны на больших языковых моделях, обученных на огромных наборах текстовых и программных данных. Эти модели способны распознавать закономерности в программном коде, понимать контекст задачи и формировать осмысленные ответы на запросы пользователя. Важную роль также играют методы машинного обучения, позволяющие системам анализировать примеры программ и использовать накопленный опыт для генерации новых решений. Технологии обработки естественного языка позволяют разработчикам взаимодействовать с такими инструментами с помощью обычного текстового диалога, что делает их использование более удобным и интуитивным.

Современные ИИ-ассистенты интегрируются в различные среды разработки и становятся частью повседневной работы программистов. Они могут функционировать непосредственно внутри интегрированных сред разработки, в системах контроля версий или в специализированных веб-интерфейсах. Благодаря этому разработчик может получать рекомендации и подсказки непосредственно в процессе написания кода, что значительно повышает эффективность работы. Постепенно такие инструменты переходят от простых систем автодополнения к полноценным

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

интеллектуальным помощникам, способным участвовать в решении сложных задач программной инженерии.

Жизненный цикл разработки программного обеспечения представляет собой последовательность этапов, которые охватывают весь процесс создания программной системы – от формирования требований до сопровождения готового продукта. На каждом из этих этапов разработчики сталкиваются с различными задачами, требующими анализа информации, принятия решений и выполнения большого количества технических операций. Интеграция ИИ-ассистентов в процессы разработки позволяет существенно упростить выполнение многих из этих задач и повысить эффективность работы специалистов. Современные интеллектуальные инструменты способны поддерживать разработчиков практически на всех стадиях жизненного цикла программного обеспечения[3].

Внедрение ИИ-ассистентов в процессы разработки программного обеспечения требует не только использования соответствующих инструментов, но и адаптации существующих рабочих процессов. Современные интеллектуальные системы становятся частью повседневной работы разработчиков и постепенно интегрируются в различные технологические среды, используемые при создании программных продуктов. Практическая интеграция таких инструментов предполагает их использование в средах разработки, системах управления версиями, процессах автоматизации сборки и тестирования, а также в командном взаимодействии разработчиков.

Одним из наиболее распространённых способов внедрения ИИ-ассистентов является их интеграция в интегрированные среды разработки. Современные IDE предоставляют возможность подключения интеллектуальных инструментов в виде расширений или встроенных функций, которые помогают разработчику непосредственно в процессе написания кода. В такой среде ИИ-ассистент анализирует текущий контекст программы, учитывает структуру проекта и предлагает рекомендации, позволяющие ускорить выполнение задач. Подсказки могут появляться в режиме реального времени, что делает взаимодействие между разработчиком и системой максимально естественным и удобным.

Важную роль играет и использование ИИ-ассистентов в системах контроля версий. В процессе совместной разработки программного обеспечения большое значение имеет управление изменениями в коде и контроль качества вносимых правок. Интеллектуальные инструменты могут анализировать изменения в репозиториях, выявлять потенциальные ошибки или несоответствия стандартам кодирования и предоставлять рекомендации разработчикам перед слиянием изменений в основной

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

проект. Такой подход позволяет повысить качество кода и снизить вероятность появления ошибок на более поздних этапах разработки.

Интеграция ИИ-технологий также активно развивается в области автоматизации процессов непрерывной интеграции и доставки программного обеспечения. В современных практиках разработки большое внимание уделяется автоматизации сборки, тестирования и развёртывания программных продуктов. Интеллектуальные системы могут участвовать в анализе результатов автоматических тестов, выявлять причины сбоев и помогать разработчикам быстрее находить источники проблем. Кроме того, такие инструменты способны анализировать историю сборок и выявлять закономерности, позволяющие оптимизировать процессы разработки и сопровождения программных систем.

Использование ИИ-ассистентов оказывает заметное влияние на организацию командной работы разработчиков. В условиях коллективной разработки важно обеспечить эффективное взаимодействие между участниками проекта, обмен знаниями и поддержание единых стандартов программирования. Интеллектуальные инструменты могут выступать в роли дополнительного источника информации, помогая разработчикам быстрее ориентироваться в структуре проекта и понимать логику работы отдельных компонентов системы. Это особенно важно в крупных командах, где новые участники должны быстро освоить существующий код и включиться в рабочий процесс.

Применение ИИ-ассистентов также тесно связано с современными методологиями разработки программного обеспечения, такими как гибкие подходы к управлению проектами и практики DevOps. Эти методологии предполагают высокую скорость разработки, постоянное взаимодействие между различными участниками проекта и непрерывное улучшение процессов. Интеллектуальные инструменты способны поддерживать такие процессы, помогая автоматизировать рутинные задачи и ускорять выполнение многих операций. В результате разработчики могут сосредоточиться на решении более сложных и творческих задач, связанных с проектированием и развитием программных систем[7].

Одним из ключевых преимуществ применения ИИ-ассистентов является повышение производительности разработчиков. Современные интеллектуальные инструменты способны анализировать контекст программного кода и предлагать варианты его продолжения, что значительно ускоряет процесс написания программ. Разработчик получает возможность быстрее реализовывать необходимые функции, не тратя дополнительное время на выполнение повторяющихся операций. Благодаря этому специалисты могут сосредоточиться на решении более сложных задач, требующих анализа и творческого подхода.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Использование ИИ также способствует снижению количества ошибок в программном коде. Интеллектуальные системы способны анализировать структуру программы и выявлять потенциальные проблемы ещё на этапе разработки. Такие инструменты могут предупреждать разработчиков о возможных логических ошибках, небезопасных конструкциях или несоответствии принятым стандартам кодирования. Раннее обнаружение подобных проблем позволяет предотвратить их распространение на более поздние этапы разработки и уменьшает затраты на исправление ошибок.

Важным преимуществом является и ускорение процесса разработки программного обеспечения в целом. Благодаря автоматизации многих операций разработчики могут быстрее переходить от одной задачи к другой, что позволяет сократить сроки реализации проектов. Это особенно важно в условиях современной индустрии программного обеспечения, где компании стремятся как можно быстрее выводить новые продукты и обновления на рынок. Интеллектуальные инструменты помогают оптимизировать рабочие процессы и сократить время, необходимое для выполнения различных этапов разработки.

Кроме того, использование ИИ-ассистентов способствует улучшению общего качества программного кода. Интеллектуальные системы могут анализировать программные проекты на соответствие лучшим практикам разработки и предлагать способы улучшения структуры программы. Это позволяет разработчикам поддерживать более высокий уровень организации кода, повышать его читаемость и упрощать дальнейшее сопровождение программных систем. В результате создаваемые программные продукты становятся более надёжными, устойчивыми к ошибкам и удобными для дальнейшего развития.

Несмотря на значительные преимущества, использование ИИ-ассистентов в разработке программного обеспечения связано с рядом ограничений и потенциальных рисков. Современные интеллектуальные системы обладают широкими возможностями, однако они не являются полностью автономными и не способны полностью заменить профессиональную экспертизу разработчиков. Внедрение таких инструментов требует внимательного подхода, поскольку их использование может приводить к определённым техническим, организационным и правовым проблемам.

Одной из наиболее распространённых проблем является возможность генерации некорректного или неэффективного программного кода. ИИ-ассистенты создают предложения на основе анализа большого количества примеров, но они не всегда способны точно учитывать специфику конкретного проекта или все особенности поставленной задачи. В результате сгенерированный код может содержать логические ошибки, неоптимальные решения или не соответствовать архитектуре системы[4]. Если разработчик полностью полагается на рекомендации интеллектуальной системы и не

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

проводит дополнительную проверку, это может привести к снижению качества программного продукта.

Существенное значение имеют также вопросы безопасности и конфиденциальности. При использовании некоторых ИИ-инструментов программный код или фрагменты проектной документации могут передаваться на удалённые серверы для анализа и обработки. Это создаёт потенциальные риски утечки конфиденциальной информации, особенно при работе с коммерческими проектами или системами, содержащими чувствительные данные. Организации, внедряющие такие технологии, должны учитывать возможные угрозы и применять дополнительные меры защиты информации.

Ещё одной проблемой является риск чрезмерной зависимости разработчиков от интеллектуальных инструментов. Если специалисты начинают слишком активно полагаться на подсказки ИИ, это может привести к снижению уровня самостоятельного анализа и ухудшению профессиональных навыков. Особенно это касается начинающих программистов, которые могут использовать автоматические рекомендации вместо глубокого понимания принципов работы программного обеспечения. В долгосрочной перспективе такая зависимость может отрицательно сказаться на качестве подготовки специалистов и уровне их профессиональной компетентности.

Определённые сложности возникают и в области правовых и лицензионных аспектов использования ИИ-ассистентов. Поскольку многие системы обучаются на больших массивах программного кода, которые могут включать проекты с различными лицензиями, иногда возникают вопросы относительно правомерности использования сгенерированных фрагментов программ. В некоторых случаях может быть сложно определить, насколько предложенный код является оригинальным и не нарушает ли он авторские права других разработчиков[5]. Это требует дополнительного внимания со стороны организаций, использующих подобные технологии.

Следует также учитывать ограничения, связанные с текущим уровнем развития технологий искусственного интеллекта. Несмотря на значительный прогресс в области машинного обучения и обработки естественного языка, современные модели всё ещё не обладают полноценным пониманием логики программных систем. Они способны распознавать статистические закономерности в данных, но не всегда корректно интерпретируют сложные контексты или специфические требования проектов. В результате их рекомендации могут быть полезными, но не всегда полностью точными или применимыми в конкретной ситуации.

Эффективное внедрение ИИ-ассистентов в процессы разработки программного обеспечения требует продуманного подхода и постепенной адаптации существующих рабочих практик. Хотя современные интеллектуальные инструменты способны

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

значительно повысить производительность разработки, их успешное использование зависит от того, насколько грамотно они интегрированы в организационные и технические процессы компании. Важно учитывать особенности команды разработчиков, специфику проектов и уровень зрелости используемых технологий.

Одним из ключевых факторов успешного внедрения является выбор подходящей стратегии интеграции интеллектуальных инструментов в рабочие процессы. В большинстве случаев внедрение ИИ-ассистентов происходит постепенно, начиная с использования отдельных функций в повседневной работе разработчиков. Такой подход позволяет команде адаптироваться к новым инструментам, оценить их преимущества и выявить возможные проблемы на ранних этапах. Постепенное расширение использования ИИ позволяет минимизировать риски и обеспечить более плавное изменение существующих процессов разработки.

Важную роль играет подготовка специалистов к работе с новыми технологиями. Даже самые современные инструменты требуют определённых навыков и понимания принципов их работы. Разработчики должны уметь формулировать запросы к интеллектуальным системам, правильно интерпретировать полученные рекомендации и критически оценивать предлагаемые решения. Организация обучения и обмена опытом внутри команды помогает повысить эффективность использования ИИ-ассистентов и способствует формированию более осознанного подхода к их применению.

Особое внимание необходимо уделять контролю качества программного кода, создаваемого с использованием интеллектуальных инструментов. Несмотря на высокую точность современных моделей искусственного интеллекта, результаты их работы всегда требуют проверки со стороны разработчиков[6]. Регулярное проведение код-ревью, автоматический анализ кода и тестирование позволяют убедиться в корректности предложенных решений и предотвратить появление ошибок в программной системе. Такой подход помогает сохранить высокий уровень качества программного обеспечения даже при активном использовании автоматизированных инструментов.

Эффективное внедрение ИИ-ассистентов также предполагает разумное сочетание возможностей искусственного интеллекта и профессионального опыта разработчиков. Интеллектуальные системы могут значительно ускорить выполнение многих задач, однако окончательные решения по-прежнему должны приниматься специалистами, обладающими глубоким пониманием архитектуры и требований проекта. Использование ИИ как вспомогательного инструмента, а не как полной замены человеческой экспертизы, позволяет добиться наилучших результатов в разработке программного обеспечения[2].

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Важным аспектом внедрения является и изменение организационных процессов внутри команд разработки. Использование интеллектуальных инструментов может влиять на распределение задач между участниками проекта, ускорять выполнение отдельных этапов разработки и изменять привычные рабочие практики. Для успешной интеграции таких технологий необходимо обеспечить гибкость процессов и готовность команды к внедрению новых подходов. Компании, которые способны эффективно адаптироваться к изменениям, получают возможность использовать преимущества современных технологий и повышать общую эффективность разработки программных продуктов.

Технологии искусственного интеллекта продолжают стремительно развиваться, что оказывает значительное влияние на сферу программной инженерии. ИИ-ассистенты, которые ещё недавно рассматривались как экспериментальные инструменты, постепенно становятся важной частью профессиональной среды разработчиков. По мере совершенствования алгоритмов машинного обучения и увеличения объёмов доступных данных ожидается дальнейшее расширение возможностей таких систем и их более глубокая интеграция в процессы разработки программного обеспечения.

Одним из наиболее вероятных направлений развития является создание более автономных систем программирования. Современные интеллектуальные инструменты уже способны генерировать фрагменты кода и помогать разработчикам в решении отдельных задач, однако в будущем их возможности могут значительно расшириться. Ожидается появление систем, способных выполнять более сложные операции, включая проектирование архитектуры программных решений, автоматическую генерацию крупных компонентов программ и участие в анализе требований к программным продуктам. Хотя полностью автономная разработка программного обеспечения остаётся сложной задачей, постепенное увеличение уровня автоматизации является одним из ключевых направлений развития данной области.

Важную роль будет играть совершенствование взаимодействия между человеком и интеллектуальными системами. Современные ИИ-ассистенты уже используют технологии обработки естественного языка, позволяя разработчикам взаимодействовать с ними в форме текстового диалога. В дальнейшем такие системы могут стать ещё более интерактивными и лучше понимать контекст задач, стоящих перед разработчиком. Улучшение интерфейсов взаимодействия позволит сделать использование интеллектуальных инструментов более удобным и естественным, что будет способствовать их более широкому распространению в профессиональной среде.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Перспективным направлением является также развитие интеллектуальных систем разработки программного обеспечения, которые смогут объединять различные инструменты и процессы в единую интеллектуальную среду. В такой среде искусственный интеллект будет анализировать весь жизненный цикл разработки, помогая оптимизировать рабочие процессы, выявлять потенциальные проблемы и предлагать решения для их устранения. Подобные системы смогут учитывать особенности конкретных проектов, историю разработки и предпочтения команды, обеспечивая более эффективную поддержку программистов на всех этапах создания программных продуктов.

Развитие ИИ-ассистентов неизбежно окажет влияние и на профессию разработчика программного обеспечения. По мере увеличения уровня автоматизации некоторые традиционные задачи программирования могут выполняться быстрее или полностью передаваться интеллектуальным системам.

Это приведёт к изменению роли специалистов, которые будут всё больше сосредотачиваться на проектировании архитектуры, анализе требований и решении сложных инженерных задач. В таких условиях особое значение будут приобретать навыки системного мышления, понимание принципов построения программных систем и умение эффективно взаимодействовать с интеллектуальными инструментами.

Заключение

Развитие технологий искусственного интеллекта оказывает значительное влияние на современные процессы разработки программного обеспечения. Интеллектуальные инструменты постепенно становятся важной частью профессиональной среды разработчиков, предоставляя новые возможности для повышения эффективности работы и улучшения качества программных продуктов. Интеграция ИИ-ассистентов в процессы разработки отражает общий переход индустрии информационных технологий к более широкому использованию автоматизации и интеллектуальных систем для решения сложных инженерных задач.

В ходе проведённого анализа было рассмотрено понятие ИИ-ассистентов и их роль в современной программной инженерии. Такие системы представляют собой инструменты, основанные на методах машинного обучения и обработки естественного языка, которые способны помогать разработчикам при выполнении различных задач, связанных с написанием, анализом и сопровождением программного кода. Использование интеллектуальных инструментов возможно на различных этапах жизненного цикла разработки программного обеспечения, начиная с анализа требований и проектирования архитектуры и заканчивая тестированием, документированием и сопровождением программных систем.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Современные инструменты могут быть встроены в интегрированные среды разработки, системы контроля версий и процессы автоматизации разработки, что позволяет разработчикам получать интеллектуальную поддержку непосредственно в процессе работы. Такая интеграция способствует ускорению выполнения задач, улучшению взаимодействия между участниками проекта и повышению эффективности командной работы.

Рассмотрение преимуществ применения ИИ-ассистентов показывает, что их использование позволяет значительно повысить производительность разработчиков, сократить количество ошибок в программном коде и ускорить процесс создания программных продуктов. Интеллектуальные системы также играют важную роль в обучении начинающих специалистов и поддержании высокого качества программного обеспечения. В то же время использование таких технологий связано с рядом ограничений и потенциальных рисков, включая возможность генерации некорректного кода, проблемы безопасности данных и необходимость контроля качества со стороны разработчиков.

Внедрение ИИ-ассистентов требует применения продуманных практик интеграции, включающих подготовку специалистов, адаптацию организационных процессов и обеспечение контроля качества программного кода. Только при грамотном использовании интеллектуальные инструменты способны принести максимальную пользу и стать эффективным дополнением к профессиональной деятельности разработчиков. Сочетание возможностей искусственного интеллекта и человеческой экспертизы позволяет создавать более надёжные и качественные программные системы.

В перспективе развитие технологий искусственного интеллекта будет продолжать оказывать существенное влияние на сферу программной инженерии. Ожидается появление более совершенных инструментов, способных выполнять сложные задачи автоматизации разработки и обеспечивать более глубокую поддержку разработчиков на всех этапах создания программного обеспечения. В этих условиях роль специалистов будет постепенно трансформироваться, а взаимодействие человека и интеллектуальных систем станет важным элементом будущих процессов разработки программных продуктов.

References

1. AI-Assistant Development and Integration into Learning Management System / E. A. Karavaeva, V. I. Vasilevskij, G. M. Lanin, D. S. Prokudin // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. – 2025. – Vol. 37, No. 4-2. – P. 175-190.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

2. Абрамский, М. М. О подходах к оценкам качества программного кода и производительности разработчика в условиях использования ИИ-ассистентов / М. М. Абрамский, Э. Р. Зарипова, А. И. Михайлов // V международный форум по математическому образованию, посвященный 220-летию Казанского университета (IFME' 2024). – Казань: Издательство федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 2024. – С. 257-263.

3. Иламанов, Б. Б. Интеграция искусственного интеллекта в разработке программного обеспечения / Б. Б. Иламанов // Вестник науки. – 2023. – Т. 2, № 12(69). – С. 1207-1211.

4. Интеграция искусственного интеллекта в процессы разработки программного обеспечения / О. Д. Мухамметдурдыева, М. Г. Отузов, Э. Мерданов, Ы. О. Нурмаммедов // In Situ. – 2025. – № 2. – С. 38-40.

5. Коновалов, Г. Г. Эпистемологические проблемы авторства в эпоху развития искусственного интеллекта / Г. Г. Коновалов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2025. – № 3-1(102). – С. 297-301.

6. Косырев, Е. А. Исследование алгоритмов для автоматической генерации кода для ускорения процесса разработки программного обеспечения / Е. А. Косырев // Современные научные исследования и инновации. – 2023. – № 10(150).

7. Кочержинская, Ю. В. Перспективы использования технологий искусственного интеллекта в процессе разработки программного обеспечения / Ю. В. Кочержинская // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2024. – С. 94.

8. Кузнецов, А. А. Искусственный интеллект и будущее разработки программного обеспечения: как ИИ меняет IT / А. А. Кузнецов, А. В. Колесниченко // Студенческий. – 2025. – № 4-1(300). – С. 37-39.

9. Куренных, А. Е. Разработка программного обеспечения для интеграции моделей поддержки принятия решений / А. Е. Куренных // Труды МАИ. – 2022. – № 123.

10. Мельников, П. А. Интеграция ИИ в верификацию программного обеспечения: модели и методы принятия решений / П. А. Мельников // Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации. – Белебей: Самарский государственный технический университет, 2024. – С. 36-38.

11. Нгуен, К. Х. Программная реализация моделей и алгоритмов ИИ-ассистента для поддержки индивидуальной образовательной траектории на примере математических дисциплин / К. Х. Нгуен // Математическое и информационное моделирование. – Тюмень: ТюмГУ-Press, 2025. – С. 13-18.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

12. Табатчиков, В. С. Разработка плагина ИИ-ассистента для помощи студентам при работе с программным кодом / В. С. Табатчиков, А. Д. Борисенко, М. С. Воробьева // Математическое и информационное моделирование. – Тюмень: ТюмГУ-Press, 2025. – С. 132-138.

13. Темроков, А. З. Проектирование и реализация ИИ-ассистента для автоматизации процесса код-ревью в Python-проектах / А. З. Темроков // Всероссийский форум молодых исследователей - 2025. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2025. – С. 98-102.

14. Худайберидева, Г. Б. Децентрализованные автономные ИИ-агенты для этического аудита в процессе разработки программного обеспечения / Г. Б. Худайберидева, Д. А. Кожухов, А. А. Пименкова // Мировая наука. – 2025. – № 8(101). – С. 47-53.

15. Черемисова, А. А. Интеграция искусственного интеллекта в разработку программного обеспечения: перспективы и проблемы / А. А. Черемисова // Устойчивое развитие общества: новые научные подходы и исследования. – Москва: Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Центр развития образования и науки», 2024. – С. 90-97.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

UDC 351.712

Zaripova R.I. Application of big data and artificial intelligence technologies in public asset management

Применение технологий больших данных и искусственного интеллекта в управлении государственными активами

Zaripova Regina Ildarovna,
Master's student, Department of Public and Municipal Administration, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
Зарипова Регина Ильдаровна,
магистрант кафедры государственного и муниципального управления, Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, Россия

Abstract. *The article examines the possibilities and limitations of applying big data and artificial intelligence technologies in public asset management. The purpose of the study is to specify the main directions of their use in the system of public property management, identify their functional potential, and determine the institutional conditions for effective implementation. The theoretical framework includes studies on digital transformation of public administration, big data analytics, algorithmization of managerial processes, and the development of artificial intelligence in the public sector. The methodological basis relies on institutional, systemic, and functional approaches, as well as on the synthesis of Russian academic publications on digital government and asset management. The study demonstrates that big data and artificial intelligence technologies can significantly improve accounting, monitoring, valuation, forecasting, and control in the field of public asset management. Their adoption enables a transition from a reactive administrative model to a predictive management model based on processing large volumes of heterogeneous information. At the same time, the article identifies major constraints related to data inconsistency, legal risks, limited interpretability of algorithms, shortage of qualified personnel, and insufficient maturity of interagency integration. It is concluded that the greatest effect can be achieved when big data and artificial intelligence are used not in isolated digital services, but as part of an integrated digital architecture of public asset management aimed at transparency, evidence-based decision-making, and managerial effectiveness.*

Keywords: *big data, artificial intelligence, public assets, public administration, digitalization, analytics, efficiency*

Аннотация. *В статье рассматриваются возможности и ограничения применения технологий больших данных и искусственного интеллекта в управлении государственными активами. Цель исследования состоит в уточнении направлений использования данных технологий в системе публичного имущественного менеджмента, выявлении их функционального потенциала и определении институциональных условий результативного внедрения. Теоретическую основу составляют труды, посвященные цифровой трансформации государственного управления, аналитике больших данных, алгоритмизации управленческих процессов и развитию искусственного интеллекта в публичном секторе. Методологическая база исследования опирается на институциональный, системный и функциональный подходы, а также на обобщение отечественных научных публикаций по проблематике цифрового государства и управления активами. Установлено, что технологии больших данных и искусственного интеллекта способны существенно повысить качество учета, мониторинга, оценки, прогнозирования и контроля в сфере управления государственными активами. Их внедрение обеспечивает переход от реактивной модели администрирования к модели предиктивного управления, основанной на обработке больших массивов неоднородной информации. Вместе с тем выявлены ключевые ограничения, связанные с неоднородностью данных, правовыми рисками, ограниченной интерпретируемостью алгоритмов, кадровым дефицитом и недостаточной зрелостью межведомственной интеграции. Сделан вывод о том, что наибольший эффект достигается при использовании больших данных и искусственного интеллекта не в изолированных сервисах, а в составе единой цифровой архитектуры управления государственными активами, ориентированной на прозрачность, обоснованность и результативность принимаемых решений.*

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Ключевые слова: *большие данные, искусственный интеллект, государственные активы, государственное управление, цифровизация, аналитика, эффективность.*

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение

Цифровая трансформация государственного управления в последние годы все отчетливее смещается от автоматизации административных процедур к управлению на основе данных. Данный переход означает не просто расширение объема электронных сервисов, а изменение самого основания принятия решений. Для государства ключевым ресурсом становится способность выявлять, структурировать, сопоставлять и интерпретировать массивы данных, возникающие в процессе исполнения публичных функций. Особенно значимым этот сдвиг является для сферы управления государственными активами, где качество решений зависит от полноты сведений об объектах, режиме их использования, стоимости, техническом состоянии, бюджетной отдаче, правовом статусе и возможностях вовлечения в хозяйственный оборот. Государственные активы образуют сложный и многоуровневый имущественный контур. В него входят объекты недвижимости, земельные ресурсы, имущественные комплексы, доли участия в капитале, имущество казны, движимые активы, инфраструктурные объекты, цифровые активы и иные формы публичной собственности. Каждая группа обладает собственной логикой учета, контроля и распоряжения. В традиционной модели управления такие объекты сопровождались большим количеством разрозненных данных, распределенных между ведомствами, уровнями власти и отдельными информационными системами. Это создавало ограничения для комплексной оценки активов, затрудняло прогнозирование и снижало оперативность управленческих действий. В результате государство часто действовало постфактум, реагируя на уже сложившиеся отклонения, а не предупреждая их.

Появление технологий больших данных и искусственного интеллекта открыло возможность качественно иного подхода. Под большими данными в данном исследовании понимаются значительные по объему, скорости обновления и разнообразию массивы информации, обработка которых требует специальных методов хранения, интеграции и анализа. Под искусственным интеллектом понимается совокупность алгоритмических решений, способных выполнять задачи, ранее требовавшие участия человека: выявлять закономерности, строить прогнозы, распознавать отклонения, ранжировать объекты по заданным критериям и поддерживать принятие решений. В сфере управления государственными активами это

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

означает переход от статического реестрового учета к динамическому, аналитически насыщенному и предиктивному управлению имущественным портфелем.

Актуальность темы определяется несколькими обстоятельствами. Во-первых, государственные активы представляют собой один из важнейших ресурсов социально-экономического развития, а потому повышение эффективности управления ими влияет не только на доходы бюджета, но и на реализацию государственных программ, инвестиционную активность и устойчивость территориального развития. Во-вторых, именно в этой сфере особенно заметна проблема фрагментации данных: имущественная информация пересекается с бухгалтерскими, правовыми, кадастровыми, техническими, пространственными и отраслевыми сведениями. Без современных аналитических технологий подобный массив данных остается недостаточно управляемым. В-третьих, общественный запрос на прозрачность и подотчетность государственного сектора требует более объективных и проверяемых механизмов оценки имущественных решений.

Следует учитывать, что применение технологий больших данных и искусственного интеллекта в публичном секторе имеет двойственную природу. С одной стороны, они способны повысить скорость анализа, расширить горизонт прогнозирования, выявить ранее незаметные закономерности и усилить контроль за использованием активов. С другой стороны, алгоритмизация решений порождает новые риски: ошибки исходных данных, непрозрачность моделей, смещение результатов, зависимость от качества обучающих выборок, правовые ограничения на использование отдельных наборов данных и дефицит кадров, способных интерпретировать результаты аналитики. Поэтому вопрос состоит не только в том, могут ли эти технологии применяться в управлении государственными активами, но и в том, при каких институциональных условиях они действительно улучшают управление, а не усложняют его.

Научная новизна рассматриваемой темы заключается в необходимости соединить несколько исследовательских направлений, которые нередко анализируются обособленно. В отечественной литературе достаточно активно изучаются цифровизация государственного управления, вопросы правового регулирования искусственного интеллекта, аналитика больших данных и отдельные аспекты управления государственным имуществом. Вместе с тем недостаточно проработан вопрос о том, каким образом большие данные и искусственный интеллект меняют саму архитектуру публичного имущественного менеджмента. Недостаточно освещены и критерии оценки результативности таких технологий применительно к государственным активам.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Цель статьи состоит в определении возможностей, ограничений и перспектив применения технологий больших данных и искусственного интеллекта в управлении государственными активами. Для достижения этой цели решаются следующие задачи: уточняется сущность применения больших данных и искусственного интеллекта в публичном имущественном контуре; систематизируются научные подходы к проблеме; выделяются основные направления прикладного использования данных технологий; выявляются институциональные, правовые и организационные ограничения; формируется авторская таблица оценки функционального потенциала технологий; обосновываются перспективы формирования аналитически ориентированной модели управления государственными активами.

И. М. Кузнеченко рассматривает большие данные и искусственный интеллект как факторы трансформации системы государственного управления и подчеркивает, что их значение определяется не только технологическими возможностями, но и влиянием на управленческую логику принятия решений [9]. В. Е. Борисова связывает использование искусственного интеллекта в государственном управлении с ростом скорости обработки информации и повышением качества административных процедур [2], а В. Н. Сальников, А. С. Круглов и С. В. Чернова акцентируют внимание на общем потенциале искусственного интеллекта в модернизации публичного управления [16]. Л. В. Чхутиашвили и Н. В. Чхутиашвили показывают, что большие данные становятся самостоятельным ресурсом государственного управления, поскольку позволяют выявлять скрытые взаимосвязи в деятельности публичного сектора [21]. А. Ю. Долгов рассматривает политику в эпоху больших данных и искусственного интеллекта как новую стадию цифрового мира, в которой возрастает роль алгоритмически обрабатываемой информации [6]. А. С. Брычеев, анализируя применение искусственного интеллекта в органах государственной власти, указывает на сочетание серьезных перспектив и значимых институциональных вызовов [3].

Е. А. Кузьмин, Н. Е. Регир и Е. И. Денисевич подчеркивают, что применение искусственного интеллекта и больших данных непосредственно связано с повышением эффективности управленческих решений [11]. А. А. Халидов, И. И. Газиева и Н. В. Насуханова акцентируют роль математических методов искусственного интеллекта в оптимизации государственных процессов [20]. В. В. Сулимин и В. В. Шведов связывают использование искусственного интеллекта с повышением прозрачности и эффективности государственного управления [18]. М. С. Белова рассматривает нейросети и искусственный интеллект в контексте анализа больших данных в государственных информационных системах и подчеркивает прикладное значение алгоритмов при работе с масштабными массивами информации [1]. Д. В. Лукашенко показывает, что обработка больших данных и использование искусственного

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

интеллекта в управленческих системах открывают новые горизонты цифровизации, но требуют организационной готовности к таким изменениям [12]. А. В. Мальгина, анализируя границы автоматизации в государственном управлении, делает важный вывод о том, что не все управленческие функции поддаются полной алгоритмизации [13].

Ф. Е. Караева и О. А. Рыкалина связывают формирование цифрового пространства экономической системы с изменением способов координации и движения информации [7]. Ф. Е. Караева и В. В. Калицкая рассматривают цифровизацию в контексте устойчивого развития и тем самым расширяют критерии оценки технологических решений за пределы их технической результативности [8]. Л. А. Мясникова, Е. В. Шлегель, А. В. Дроздова и другие авторы показывают, что цифровая реальность меняет сами практики взаимодействия между субъектами управления и объектами регулирования [15]. А. В. Минбалеев и Д. П. Осипов подробно рассматривают современное состояние и проблемы правового регулирования применения наборов данных для искусственного интеллекта, указывая на ключевое значение правового режима данных [14]. А. А. Халидов и С. И. Муцалов, исследуя большие данные и искусственный интеллект в юридической практике, показывают сочетание новых возможностей и существенных рисков алгоритмических решений [19]. И. М. Кузнеченко отдельно анализирует риски организации и реализации процесса принятия решений на основании аналитики больших данных и искусственного интеллекта, подчеркивая проблему ответственности и интерпретируемости результатов [10]. И. С. Веригин делает акцент на прикладном характере искусственного интеллекта и показывает, что ценность технологии определяется ее способностью решать конкретные задачи государства и бизнеса [4]. Д. А. Самойленко, исследуя применение искусственного интеллекта и больших данных в стратегическом управлении компанией, демонстрирует ценность предиктивной аналитики и сценарного моделирования, что имеет важное значение и для государственного сектора [17]. Л. Ю. Шарабаева связывает потенциал внедрения искусственного интеллекта в госуправление с возможностью выстраивания более рациональной системы распределения ресурсов и контроля [22]. В. Э. Дубровина, О. И. Дудина, Ю. В. Шарапов и Ю. В. Малькова показывают, что масштабные цифровые проекты государства требуют устойчивого финансового обеспечения и стратегической последовательности [5]. Совокупность рассмотренных работ позволяет сделать вывод о том, что в отечественной литературе уже сформировалась методологическая база для изучения искусственного интеллекта и больших данных в государственном управлении, однако их применение именно в сфере управления государственными активами пока нуждается в более предметной теоретической и прикладной разработке.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Результаты и обсуждения

Применение технологий больших данных и искусственного интеллекта в управлении государственными активами связано с изменением принципов обработки информации об объектах публичной собственности. В традиционной модели имущественное управление строилось вокруг реестрового учета, правовой фиксации, периодического контроля и дискретных решений о передаче, аренде, приватизации, списании либо ином способе использования активов. Эта модель сохраняет значение и сегодня, но в условиях роста массивов данных она уже не обеспечивает необходимой скорости и глубины анализа. Управление государственными активами все в большей степени требует выявления скрытых закономерностей, оценки поведения объектов во времени, прогнозирования рисков и поддержки решений на основе многопараметрических моделей. Наиболее важным свойством больших данных в рассматриваемой сфере выступает возможность объединения разнородной информации об одном и том же активе. Для государства принципиальное значение имеет не просто наличие записи об объекте, а совокупность сведений о его правовом статусе, кадастровых параметрах, балансовой стоимости, фактическом использовании, техническом состоянии, уровне затрат на содержание, степени износа, пространственном расположении, связях с государственными программами и бюджетной эффективностью. В реальной практике эти сведения нередко распределены между различными ведомствами и информационными контурами. Технологии больших данных позволяют не только накапливать подобные массивы, но и обеспечивать их сопоставление, очистку, агрегирование и анализ.

Искусственный интеллект, в свою очередь, усиливает ценность данных за счет способности извлекать из них новые управленчески значимые выводы. В контуре управления государственными активами речь идет о нескольких группах задач. Во-первых, это выявление аномалий в использовании имущества. Алгоритмы могут обнаруживать объекты, по которым расходные параметры не соответствуют типовым значениям, арендная доходность оказывается ниже ожидаемой, а сведения из разных источников содержат расхождения. Во-вторых, это прогнозирование. На основе массивов исторической информации возможно оценивать вероятность снижения ликвидности объекта, возникновения дополнительных затрат, изменения эффективности использования либо роста рисков, связанных с техническим состоянием. В-третьих, это поддержка управленческих решений. Искусственный интеллект способен ранжировать объекты по критериям приоритетности, формировать сценарии использования, подсказывать наиболее рациональные формы распоряжения активами и моделировать последствия альтернативных решений.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Важным направлением применения больших данных и искусственного интеллекта является инвентаризационно-аналитический контур. Для государства принципиально важно не только формально учитывать активы, но и понимать реальную полноту имущественной базы. Если данные о принадлежащих государству объектах распределены между несколькими системами, возникает риск неполной идентификации имущества, дублирования записей, некорректной оценки или ошибочного определения режима использования. Инструменты интеллектуальной аналитики позволяют сопоставлять данные из различных источников, находить несоответствия, выявлять незарегистрированные связи между объектами и формировать более полное представление о структуре государственного имущественного комплекса.

Следующее направление связано с мониторингом эффективности использования активов. Большие данные позволяют оценивать не отдельную сделку или разовый показатель, а динамику объекта в длительном периоде. Например, можно анализировать изменение доходности, частоту использования, состояние инфраструктуры, расходы на обслуживание, уровень загрузки объектов, наличие сезонных колебаний и другие параметры. Искусственный интеллект при этом может строить модели, выявляющие отклонения от ожидаемой траектории. В результате государство получает возможность перехода от эпизодического контроля к постоянному наблюдению за активами с акцентом на раннее предупреждение неэффективности.

Особую значимость данные технологии приобретают при работе с крупными имущественными массивами и территориально распределенными объектами. Традиционные методы контроля в таких условиях неизбежно сталкиваются с ограничениями: они слишком затратны, недостаточно оперативны и зависят от человеческого фактора. Инструменты больших данных и искусственного интеллекта позволяют масштабировать наблюдение без пропорционального роста административных затрат. Чем больше объектов находится в управленческом контуре, тем выше потенциальный эффект от интеллектуальной обработки информации. Однако эта зависимость действует только при условии достаточного качества исходных данных.

Проблема качества данных является ключевой. Искусственный интеллект не устраняет дефекты исходной информации, а в ряде случаев способен усиливать их воздействие. Если данные об объекте неполны, противоречивы или собираются по разным правилам, алгоритм выдает результат, который формально выглядит убедительно, но фактически не обладает высокой достоверностью. Для публичного управления это особенно чувствительно, поскольку решения затрагивают бюджетные

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

средства, имущественные права, социальные функции объектов и вопросы законности. Следовательно, использование искусственного интеллекта в управлении государственными активами требует предварительной стандартизации данных, выстраивания единых классификаторов и институционального закрепления ответственности за качество исходной информации.

Не менее важным является правовой контур. Применение больших данных и искусственного интеллекта в государственном управлении связано с режимом доступа к сведениям, допустимостью объединения различных наборов данных, требованиями к защите информации, ответственностью за алгоритмические рекомендации и возможностью оспаривания решений, принятых с использованием аналитических моделей. В имущественной сфере данные часто содержат чувствительные элементы: финансовые параметры сделок, сведения об организациях, результаты оценки, пространственные характеристики объектов и иные признаки, имеющие значение для публичной безопасности и правовой определенности. Отсюда вытекает необходимость баланса между аналитической глубиной обработки и юридической устойчивостью цифровых решений.

Серьезное значение имеет и организационный аспект. Внедрение искусственного интеллекта в управление государственными активами не может сводиться к закупке программного обеспечения. Оно требует изменения управленческой культуры. Должностные лица должны понимать, что алгоритм не заменяет управленческую ответственность, а служит инструментом подготовки решений. Необходимо формировать компетенции в области интерпретации результатов, проверки качества моделей, постановки задач для аналитики и критической оценки рекомендаций искусственного интеллекта. Без этого существует риск либо формального использования алгоритмов, либо, напротив, необоснованного доверия к ним.

Отдельного рассмотрения заслуживает вопрос о том, как именно большие данные и искусственный интеллект меняют архитектуру управления государственными активами. В наиболее развитой модели они выполняют не вспомогательную, а системообразующую функцию. Данные из реестров, бухгалтерского учета, кадастровых систем, пространственного анализа, сенсорных устройств, отчетности организаций и цифровых торговых платформ собираются в едином аналитическом контуре. Затем искусственный интеллект используется для классификации объектов, прогнозирования изменений, оценки отклонений и формирования приоритетов управленческого воздействия. В такой системе управленческое решение становится не реакцией на событие, а результатом непрерывного мониторинга и сравнения альтернатив.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Для систематизации функционального потенциала технологий больших данных и искусственного интеллекта в сфере управления государственными активами представляется необходимым выделить основные прикладные направления их использования (таблица 1).

Таблица 1

Основные направления применения технологий больших данных и искусственного интеллекта в управлении государственными активами

Направление применения	Используемые данные	Функция искусственного интеллекта	Ожидаемый управленческий эффект	Основное ограничение
Идентификация и верификация активов	Реестровые, кадастровые, бухгалтерские, пространственные данные	Сопоставление записей, выявление дублей и расхождений	Повышение полноты и достоверности имущественного учета	Неоднородность исходных данных
Мониторинг использования объектов	Данные эксплуатации, отчетности, загрузки, расходов	Выявление аномалий и нетипичных режимов использования	Раннее обнаружение неэффективных активов	Неполный цифровой след по отдельным объектам
Прогнозирование состояния и затрат	Исторические данные о ремонтах, износе, расходах	Предиктивное моделирование и оценка рисков	Снижение аварийности и более точное планирование расходов	Ограниченная глубина временных рядов
Поддержка решений о распоряжении активами	Данные о доходности, спросе, правовом статусе, локации	Ранжирование сценариев использования	Повышение обоснованности решений о передаче, аренде, продаже	Необходимость экспертной верификации
Контроль и комплаенс	Сведения о сделках, договорах, сроках, обязательствах	Поиск отклонений и признаков нарушений	Усиление прозрачности и контрольной функции	Правовые ограничения на автоматизацию отдельных решений
Стратегическое управление портфелем активов	Сводные межведомственные данные, показатели эффективности	Кластеризация, сценарный анализ, прогнозирование	Более рациональная структура государственного имущественного портфеля	Недостаточная межведомственная интеграция

Представленная таблица показывает, что наибольшая ценность больших данных и искусственного интеллекта в управлении государственными активами связана не с заменой отдельных работников или процедур, а с усилением информационной связности имущественной системы. В каждом из рассмотренных направлений технология дает эффект лишь тогда, когда позволяет объединить ранее разрозненные данные и превратить их в основание для решения конкретной управленческой задачи. Следовательно, главным ресурсом выступает не алгоритм сам по себе, а качественно

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

организованная среда данных. Из таблицы также видно, что наиболее зрелыми и практически востребованными направлениями являются идентификация активов, мониторинг их использования и контроль отклонений. Именно здесь технологии больших данных и искусственного интеллекта относительно быстро дают измеримый эффект: снижают вероятность ошибок учета, ускоряют выявление проблемных объектов, сокращают время реакции государства на негативные изменения. Более сложными для внедрения остаются стратегическое управление портфелем и прогнозирование, поскольку они требуют длительных временных рядов, устойчивой межведомственной интеграции и высокой интерпретируемости моделей.

Особый интерес представляет тот факт, что практически во всех направлениях основным ограничением выступает не дефицит вычислительных средств, а институциональная и организационная незрелость среды применения. Это означает, что развитие искусственного интеллекта в сфере управления государственными активами должно сопровождаться стандартизацией данных, выравниванием процедур учета, усилением правового регулирования и подготовкой специалистов, способных работать на стыке имущественного управления и аналитики данных.

Следовательно, практическая перспектива состоит в постепенном переходе от использования отдельных интеллектуальных модулей к созданию единого аналитического контура управления государственными активами. Только в этом случае возможно достижение системного эффекта в виде повышения прозрачности, обоснованности и экономической результативности имущественной политики.

Заключение

Применение технологий больших данных и искусственного интеллекта в управлении государственными активами следует рассматривать как одно из наиболее перспективных направлений модернизации публичного сектора. Их значимость определяется не только ростом вычислительных возможностей, но и объективной усложненностью самого имущественного контура государства. Чем более разнообразным, масштабным и территориально распределенным является имущественный портфель, тем выше потребность в инструментах, способных связывать разрозненные данные, выявлять скрытые зависимости и поддерживать выработку решений на основе доказательной аналитики.

Проведенный анализ показывает, что наибольший потенциал данных технологий заключается в переходе от дискретного и реактивного управления к непрерывному мониторингу и предиктивной модели принятия решений. Для государства это означает возможность своевременно выявлять неэффективно используемые активы, точнее прогнозировать расходы, корректнее ранжировать объекты по приоритетам и

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

формировать более рациональную имущественную политику. Вместе с тем сам по себе факт внедрения алгоритмов не гарантирует положительного эффекта. Результативность достигается только при наличии качественных данных, межведомственной интеграции, правовой определенности и кадровой готовности к работе с интеллектуальными аналитическими инструментами.

Особенно важно подчеркнуть, что искусственный интеллект в данной сфере не должен подменять государственное решение. Его функция состоит в углублении аналитической базы, повышении прозрачности вариантов и расширении способности аппарата управления работать с масштабными массивами информации. Следовательно, перспективная модель управления государственными активами должна строиться на сочетании алгоритмической обработки данных и ответственного экспертного суждения.

Стратегически применение больших данных и искусственного интеллекта в управлении государственными активами открывает путь к формированию нового типа публичного имущественного менеджмента – интегрированного, аналитически насыщенного и ориентированного на результат. В такой модели государство сможет не только точнее учитывать имущество, но и эффективнее использовать его как ресурс социально-экономического развития. Именно поэтому дальнейшее развитие должно быть связано с формированием единой цифровой архитектуры, в которой данные, алгоритмы и управленческие решения образуют целостную систему.

References

1. Белова, М. С. Актуальные вопросы использования нейросетей и искусственного интеллекта при анализе больших данных в государственных информационных системах / М. С. Белова // Инновации и инвестиции. – 2024. – № 3. – С. 445-447. – EDN ZSJRXG.

2. Борисова, В. Е. Использование искусственного интеллекта в государственном управлении / В. Е. Борисова // Приднепровский научный вестник. – 2024. – Т. 1, № 1. – С. 25-29. – EDN FRBFEX.

3. Брычеев, А. С. Применение искусственного интеллекта в органах государственной власти: вызовы и перспективы / А. С. Брычеев // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16, № S6. – EDN FCWPSM.

4. Веригин, И. С. Практичный искусственный интеллект: как с помощью технологии решать прикладные задачи в государстве и бизнесе / И. С. Веригин // Управление качеством. – 2022. – № 7. – С. 34-41. – EDN CKVGWF.

5. Дубровина, В. Э. Финансирование национальных проектов: стратегические приоритеты государства в обозримом будущем / В. Э. Дубровина, О. И. Дудина, Ю. В.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Шарапов, Ю. В. Малькова // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2025. – № 7-2. – С. 247-255. – DOI 10.17513/vaael.4249. – EDN ANUPCQ.

6. Долгов, А. Ю. Дивный новый цифровой мир: политика в эпоху больших данных и искусственного интеллекта / А. Ю. Долгов // Политическая наука. – 2023. – № 4. – С. 274-283. – DOI 10.31249/poln/2023.04.11. – EDN IVCGGC.

7. Караева, Ф. Е. Формирование цифрового пространства экономической системы / Ф. Е. Караева, О. А. Рыкалина // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2024. – № 12(170). – С. 347-353. – DOI 10.26726/rppe2024v12fcpes. – EDN EIETOI.

8. Караева, Ф. Е. Цифровизация и устойчивое развитие: теория и практика / Ф. Е. Караева, В. В. Калицкая // Научно-технический и социально-экономический потенциал развития АПК РФ: Материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Заслуженного деятеля науки КБР, Заслуженного агронома Российской Федерации, д-ра с.-х. наук, профессора М. Х. Ханиева, Нальчик, 12 декабря 2024 года. – Нальчик, 2024. – С. 244-247. – EDN QVCECU.

9. Кузнеченко, И. М. Большие данные и искусственный интеллект, как факторы трансформации системы государственного управления / И. М. Кузнеченко // Экономическое развитие России. – 2024. – Т. 31, № 2. – С. 113-128. – EDN DMYGQP.

10. Кузнеченко, И. М. Риски организации и реализации процесса принятия решений на основании аналитики больших данных и искусственного интеллекта / И. М. Кузнеченко // Государственное управление. Электронный вестник. – 2024. – № 104. – С. 162-180. – DOI 10.55959/MSU2070-1381-104-2024-162-180. – EDN WRFLOJ.

11. Кузьмин, Е. А. Применение искусственного интеллекта и больших данных для повышения эффективности управленческих решений / Е. А. Кузьмин, Н. Е. Регир, Е. И. Денисевич // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2024. – Т. 14, № 6-1. – С. 102-107. – DOI 10.34670/AR.2024.81.55.013. – EDN AWNMRD.

12. Лукашенко, Д. В. Искусственный интеллект и обработка больших данных в системах управления: новые горизонты цифровизации (возможности реализации во ФСИН России) / Д. В. Лукашенко // Естественные и технические науки. – 2025. – № 6(205). – С. 24-26. – EDN WYYTKM.

13. Мальгина, А. В. Границы автоматизации в государственном управлении: текущие практики и пределы применения искусственного интеллекта / А. В. Мальгина // Актуальные вопросы современной экономики. – 2025. – № 7. – С. 933-938. – EDN JQRRIM.

14. Минбалеев, А. В. Современное состояние и проблемы правового регулирования применения наборов данных для искусственного интеллекта / А. В.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Минбалеев, Д. П. Осипов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Право. – 2025. – Т. 25, № 4. – С. 72-77. – DOI 10.14529/law250410. – EDN ZSRIMB.

15. Мясникова, Л. А. Цифровая реальность: субъекты, практики / Л. А. Мясникова, Е. В. Шлегель, А. В. Дроздова [и др.]. – Екатеринбург: Автономная некоммерческая организация высшего образования «Гуманитарный университет», 2021. – 315 с. – ISBN 978-5-7741-0414-7. – EDN MNBPLS.

16. Сальников, В. Н. Искусственный интеллект в государственном управлении / В. Н. Сальников, А. С. Круглов, С. В. Чернова // Аспирант и соискатель. – 2021. – № 3(124). – С. 26-28. – EDN BWLLYJ.

17. Самойленко, Д. А. Применение искусственного интеллекта и больших данных в стратегическом управлении компанией / Д. А. Самойленко // Наука XXI века: актуальные направления развития. – 2024. – № 1-2. – С. 167-172. – EDN AXMUCP.

18. Сулимин, В. В. Анализ использования искусственного интеллекта в цифровой экономике для улучшения прозрачности и эффективности государственного управления / В. В. Сулимин, В. В. Шведов // Теория и практика общественного развития. – 2023. – № 6(182). – С. 181-186. – DOI 10.24158/tipor.2023.6.22. – EDN WVCHRG.

19. Халидов, А. А. Использование больших данных и ИИ в юридической практике: новые возможности и риски / А. А. Халидов, С. И. Муцалов // Вопросы российского и международного права. – 2024. – Т. 14, № 9-1. – С. 357-361. – EDN NQUJVT.

20. Халидов, А. А. Применение математических методов в искусственном интеллекте для оптимизации государственных процессов / А. А. Халидов, И. И. Газиева, Н. В. Насуханова // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 13, № 9(150). – С. 105-111. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2024.09.13.013. – EDN QWJOIT.

21. Чхутиашвили, Л. В. Большие данные в государственном управлении Российской Федерацией / Л. В. Чхутиашвили, Н. В. Чхутиашвили // Наукоград наука производство общество. – 2024. – № 2. – С. 39-42. – EDN IJLKEJ.

22. Шарабаева, Л. Ю. Потенциал внедрения искусственного интеллекта в госуправление / Л. Ю. Шарабаева // Научные труды Северо-Западного института управления РАНХиГС. – 2024. – Т. 15, № 3(65). – С. 261-266. – EDN LBGVEO.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

TRANSPORT AND MOBILITY

UDC 656.1

Khalikov R.M., Ivanova O.V., Latypova Z.B., Pavlov S.Y., Glazachev A.O. Optimized functioning of the intelligent transport infrastructure of high-speed highways

Оптимизированное функционирование интеллектуальной транспортной инфраструктуры высокоскоростных автотрасс

Khalikov Rauf Muzagitovich,
PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department
of "Highways, Bridges and Transport Structures"
"Ufa State Petroleum Technological University", Russia, Ufa;
Ivanova Olga Vladimirovna,
PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of "Operation of Land Transport in Petroleum and Gas Industry and Building,
"Ufa State Petroleum Technological University", Russia, Ufa;
Latypova Zakira Badretdinovna,
PhD in Geography, Associate Professor of the Department of "Tourism, Geo-Urban Studies and Economic Geography",
"Ufa University of Science and Technology", Russia, Ufa;
Pavlov Stanislav Yuryevich,
PhD in Law, Associate Professor of the Department of "Financial and Administrative Law"
"Ufa University of Science and Technology", Russia, Ufa;
Glazachev Anton Olegovich,
PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of "
Highways, Bridges and Transport Structures",
"Ufa State Petroleum Technological University", Russia, Ufa;
Халиков Рауф Музагитович,
кандидат химических наук, доцент кафедры
«Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения»
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
Россия, г. Уфа
Иванова Ольга Владимировна,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация наземного транспорта в нефтегазовой промышленности и строительстве»,
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»
Латыпова Закира Бадретдиновна,
кандидат географических наук,
доцент кафедры «Туризма, геоурбанистики и экономической географии»
«Уфимский университет науки и технологий», Россия, г. Уфа
Павлов Станислав Юрьевич,
кандидат юридических наук,
доцент кафедры «Финансового и административного права»
«Уфимский университет науки и технологий», Россия, г. Уфа

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Глазачев Антон Олегович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения»
«Уфимский государственный нефтяной технический университет

Abstract. *One of the most important tasks of Russia's transport infrastructure is to ensure maximum efficiency of the optimized functioning of the country's road complex in the process of freight and passenger transportation. The problem of achieving technological sovereignty in the construction of demanded intellectual elements of transport infrastructure remains urgent. The purpose of this article is to consider the main components of the intelligent transport infrastructure of the M-12 "Vostok" expressway. The main elements of the intelligent transport infrastructure of the optimized Durtyuli–Achit section of the M-12 expressway include sensitive traffic flow detectors, information boards, road video cameras, automatic detection devices, etc. The optical stationary wide-angle photo-video system allows measuring the speed range from 1 to 250 km/h; the control zone is from 1 to 75 m. One of the central components of the successful operation of a smart road infrastructure is communication systems: fiber-optic networks allow the transmission of data from touch sensors over long distances with minimal energy consumption. Artificial intelligence performs analytical processing of the received data, identifying traffic anomalies, reduces congestion by 38% and reduces the likelihood of accidents. The intelligent transport infrastructure of the Vostok high-speed highway, equipped with touch sensors, monitoring systems, and communication nodes, allows optimal traffic for cars and trucks.*

Keywords: *expressway, transport infrastructure, road video camera, artificial intelligence.*

Аннотация. *Одной из важнейших задач транспортной инфраструктуры России является обеспечение максимальной эффективности оптимизированного функционирования дорожного комплекса страны в процессе грузовых и пассажирских перевозок. Актуальной остается проблема достижения технологического суверенитета при конструировании востребованных интеллектуальных элементов транспортной инфраструктуры. Цель данной статьи рассмотрение основных компонентов интеллектуальной транспортной инфраструктуры скоростной автотрассы М-12 «Восток». Основные элементы интеллектуальной транспортной инфраструктуры оптимизированного участка Дюртюли–Ачит скоростной автомагистрали М-12 включают чувствительные детекторы транспортного потока, информационные табло, дорожные видеокамеры, средства автоматической фиксации нарушений и др. Оптический стационарный комплекс широкоугольной фотовидеофиксации позволяет измерить диапазон скоростей от 1 до 250 км/ч; зона контроля составляет от 1 до 75 м. Одним из центральных компонентов успешного функционирования умной автодорожной инфраструктуры являются системы связи: оптико-волоконные сети позволяют передавать данные с сенсорных датчиков на большие расстояния с минимальным энергопотреблением. Искусственный интеллект осуществляет аналитическую обработку полученных данных, выявляя аномалии дорожного трафика, сокращает заторы на 38% и уменьшает вероятность возникновения аварийных ситуаций. Интеллектуальная транспортная инфраструктура высокоскоростной автотрассы «Восток», оснащенная сенсорными датчиками, системами мониторинга, узлами связи, позволяет осуществлять оптимальный трафик автомобилей.*

Ключевые слова: *скоростная автотрасса, транспортная инфраструктура, дорожная видеокамера, искусственный интеллект.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович - кандидат технических наук, доцент. Заместитель директора, главный научный сотрудник. ООО «Научно-исследовательский проектный институт «Промышленное и гражданское строительство»

Transport communications are an integral part of the infrastructure of modern society and play a key role in ensuring the efficient operation of the economy [1]. Automobiles are one of the most common means of transportation, providing transportation of people and goods over relatively short and medium distances. One of the most important tasks of the transport infrastructure of the Russian Federation is to ensure maximum efficiency of the optimized

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

functioning of the country's road complex in the process of freight and passenger transportation for the implementation of the national project "Infrastructure for Life". In the context of the most acute challenges of global uncertainty, the most important urgent problem of the technical sciences is the achievement of technological sovereignty in the design of demanded intelligent elements of transport infrastructure.

This article is aimed at examining the main components of the intelligent transport infrastructure of the M-12 "Vostok" high–speed federal highway on the Dyurtyuli-Achit section.

The successful implementation of national projects for the construction of a backbone network of high-speed motorways [2], which meet international technical standards, remains a fairly promising area for the intellectual development of transport infrastructure. The 275 km Durtyuli–Achit section of the M-12 "Vostok" IB highway, introduced in July 2025, unites 3 regions: the Republic of Bashkortostan, the Perm Territory and the Sverdlovsk Region. The high-speed highway with a permitted speed of up to 110 km/h includes: 50 overpasses, 25 bridges, 24 eco-bridges and bio-crossings for animals, 6 transport interchanges [3, 4].

The most important components of the successful functioning of the automobile transport infrastructure of high-speed highways are highways with up to two or more lanes in each direction with a barrier dividing between the streams; bridges, interchanges, noise barriers, etc. Prevalent category I highways (estimated traffic intensity of over 14 thousand vehicles per day) most fully meet the conditions of automotive optimized traffic.

High-speed highways have asphalt-concrete pavement, wide traffic lanes (3.75 m), increased turning radii and limited maximum gradients (3-4%), as well as widened shoulders. Such road structures ensure high throughput and optimized safety; round-the-clock traffic is carried out on category I and II roads, and snow removal and anti-icing is carried out in winter. The ensemble of interconnected infrastructure facilities of motor transport includes high-speed highways; technical services of road facilities; various buildings for operation; road service facilities, other transport facilities and buildings.

The equipment of "Telematics" Concern with the latest smart transport infrastructure systems is being completed on the Durtyuli–Achit section of the M-12 "Vostok" highway. In the future, it is necessary to finally introduce neural network traffic management systems on the highway with a speed limit of 110 km/h, which will inform drivers in real time about obstacles, repair work or road accidents. In addition, the intelligent transport infrastructure [5] informs road traffic participants about the need to change lanes or change the speed limit using easy-to-read messages and signs on the information board.

The main elements of the intelligent transport infrastructure of the Durtyuli–Achit section of the M-12 expressway include sensitive traffic flow detectors, information boards, road video cameras, automatic detection of violations, etc. [6, 7]. Modern photo and video cameras are fundamentally divided into radar, video and laser cameras, and according to the installation

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

method – into stationary and mobile. Optimized traffic flow detectors for intelligent transport infrastructure: classification scanners and trigger video scanners for registration of state numbers record the passage of vehicles by counting the number of vehicles.

Information boards of the intelligent transport infrastructure of the "Vostok" highway inform drivers about the current situation on the roads, contributing to the redistribution of traffic flows and reducing congestion. Automated lighting control makes decisions based on data from various sensors, optimizing energy consumption, which corresponds to the paradigm of sustainable development of civilization. The advanced smart systems used to equip the motorway will help improve safety, save travel time and reduce logistics costs. Artificial intelligence performs analytical processing of the received data, identifying traffic anomalies, predicting the formation of congestion and the possibility of emergency situations; ultimately, to control traffic flows, which reduces the level of atmospheric air pollution.

The latest high–resolution video cameras of the intelligent transport infrastructure of the Durtyuli-Achit section of the M-12 expressway make it possible to monitor traffic flow, recognize car license plates and record violations. One traffic video camera is capable of detecting up to 12 violations at once; the efficiency of recognizing state registration plates is 98%.

More than 800 automatic video cameras, sensors and photo-video scanners for cars and trucks are able to operate 24/7 around the clock. The "AVTOURAGAN" optical stationary photo-video system allows measuring the speed range from 1 to 250 km/h, the control zone is from 1 to 75 m. With the help of wide-angle cameras, the flow of cars is processed depending on the weather, lighting and camera angle with high accuracy and an error of about 2 km/h. "AVTOURAGAN" traffic cameras record traffic violations: speeding; driving under a forbidding sign; driving on the shoulder; driving over the permitted mass; prohibited lane changes, etc. The photovideofixation detector complexes are mounted on a fixed rigid support with metal brackets above the carriageway of the M-12 expressway (Figure 1).

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|



a *b*

Figure 1. Automatic intelligent video recording systems
mounted on stationary supports – *a*;
photo-video recording system "AVTOURAGAN" – *b*

When non-standard situations occur on the "Vostok" highway, real-time information about road accidents speeds up their elimination and reduces the likelihood of congestion at stops and parking lots. In the future, the M-12 federal highway is planned to be equipped with monitoring sensors and intelligent communication nodes, allowing real-time information about the condition of the roadway, car traffic, weather, as well as for the successful operation unmanned vehicles [8, 9] and even about the behavior of drivers.

It should be noted that the automated lighting control of the route makes decisions based on data from various sensors, optimizing power consumption. One of the central components of smart road infrastructure is digital communication systems [10]: fiber-optic networks allow data transmission from sensors over long distances with minimal energy consumption; 5G communication provides high data transfer rates and minimal delays, which is crucial of unmanned vehicles and remote emergency response systems; motion control centers receive data from touch sensors in real time and make automatic decisions.

The laser scanners of the intelligent transport infrastructure on the Dyurtyuli–Achit section of the M-12 "Vostok" high-speed federal highway are designed for contactless control of the movement of buses, trucks and cars. Piezoelectric (or strain gauge) sensors of automatic weight and dimensional control systems allow checking the weight of trucks at a minimum speed of 50 km/h. For effective monitoring of the Dyurtyuli–Achit section of the M-12 highway, specialized types of intelligent equipment will additionally be installed.:

- high - resolution video cameras;

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

- optimized transport vehicle detectors;
- compact weather stations for weather monitoring;
- automatic weight and dimensional control points.

Figure 2 shows intelligent video cameras, sensors for weight and size control, scanners, etc.

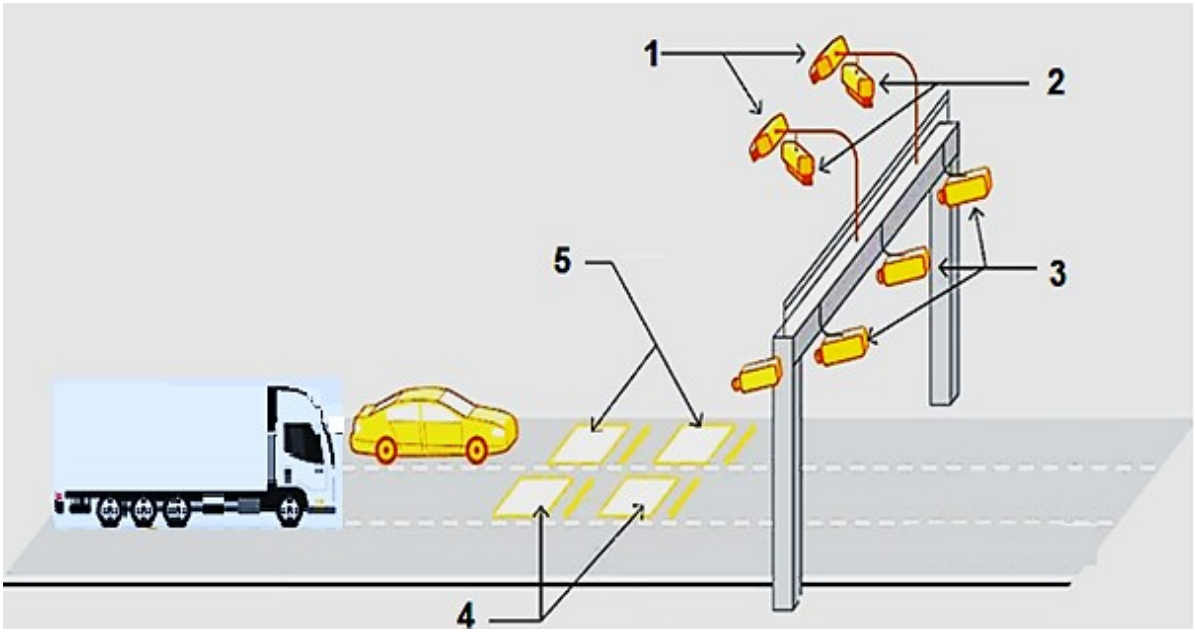


Figure 2. Scanners, video cameras, and touch sensors
in intelligent transportation infrastructure
(1 – classification scanner; 2 – trigger video scanner;
3 – registration camera; 4 – mass sensors; 5 – inductive sensor)

Artificial intelligence performs analytical processing of the received data, identifying anomalies in traffic, predicting the formation of congestion and the possibility of emergency situations. The use of artificial intelligence in the process of optimized traffic management [11] promotes adaptive and high-speed movement of cars on the highway, reduces traffic jams by up to 38%. The implementation of the transport strategy for the development of the federal high-speed highway network M-12 "Vostok" is associated with comprehensive planning for the development of the economic and logistics infrastructure of the Volga-Ural region. Transport accessibility makes it possible to organize various types of medical and recreational tourism in the tourist and recreational complexes of Bashkortostan.

The data obtained from optimized devices for the functioning of the intelligent transport infrastructure: wind speed and direction, amount of rain and snow, temperature regime of

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

asphalt pavement, etc. are promptly transmitted to the highway information processing center in digital format. The controller in the weather station, the central control unit, operates in real time, collects data from all sensors, processes data and transmits it automatically at certain time intervals or on request.

Touch-sensitive sensors of the road surface are placed in asphalt concrete or on its surface and monitor the condition of the highway roadway, temperature, humidity, the presence of ice or snow. One of the common technologies is optimized inductive loops embedded in the road surface and recording the movement of cars, which are integrated with automatic road weather stations (Figure 3).

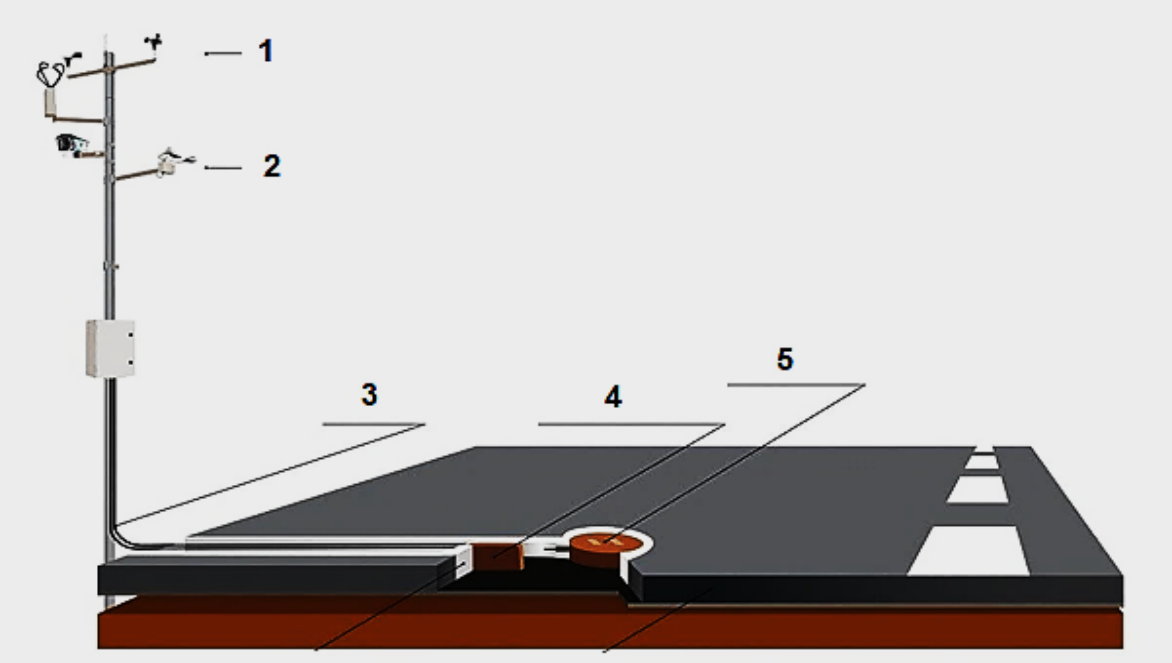


Figure 3. Intelligent meteorological support station
(1 – devices for determining wind direction and speed, precipitation;
2 – video cameras; 3 – cables; 4 – temperature sensor;
5 – sensor for determining the condition of asphalt concrete pavement)

The current data from the weather station controller is sent further to the meteorological monitoring center (situation center) of the M-12 "Vostok" highway for their subsequent processing, storage and archiving. The situational center is designed to organize and ensure the functioning of intelligent transport infrastructure, coordinate the work of related subsystems. The stationary technical facilities of the control center are located in a closed, air-conditioned room, operate around the clock and are a set of servers with installed general and special software, monitors on which changes in the parameters of meteorological conditions and road conditions are visualized.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

The digital electronic toll collection systems of the M-12 expressway determine the numbers, types and class of cars, and also allow drivers to pay in convenient ways. Transponders mounted on the windshield of trucks and cars allow non-stop movement due to barrier-free charging technology. The fact that a vehicle is traveling is recorded by cameras without stopping, and payment is calculated based on the actual distance traveled automatically and is made through online services or a transponder.

It should be noted that the car is connected to the road infrastructure through sensors in the car, the driver's mobile phone (tablet) and a specially developed corporate "Intranet" network along the smart road route. Unmanned vehicles on the test sections of the M-12 high-speed federal highway use automated technologies to control vehicles without direct human involvement: based on advanced sensor systems, "GLONASS" and artificial intelligence, unmanned vehicles are capable of navigating roads quite autonomously. It should be noted that it is necessary to take into account the condition of the roadway, weather conditions and even the behavior of other drivers involved in road traffic.

The high-speed and safe driving mode on the M-12 "Vostok" highway is provided by a wear-resistant asphalt-concrete road surface. Innovative areas of frontier development of geopolymer materials are in demand technological methods of high-quality efficient construction and long-term operation of expressways. Energy-saving geopolymer binders [12] make it possible to develop road building materials with more enhanced physical and mechanical characteristics, and the use of cheap man-made waste solves the most acute problems of environmentally friendly disposal.

In the context of modern challenges, the active development of the legislative and regulatory framework [13], taking into account international experience and technological innovations will make it possible to create an effective and safe traffic management system on the M-12 "Vostok" highway. It should be noted that the accelerated development of artificial intelligence and unmanned technologies makes high-speed traffic flows vulnerable to cyber attacks. Successful integration and trouble-free functioning of intelligent transport infrastructure requires import substitution of road resource-saving building materials [14, 15], expensive video cameras, sensors and scanners. Advanced intelligent systems, which are equipped with the M-12 highway, will help to increase comfort, safety, save travel time and reduce logistics costs.

Thus, in conclusion, it can be concluded that the intelligent transport infrastructure of the M-12 "Vostok" high-speed highway, equipped with touch sensors, monitoring systems, and communication nodes, allows real-time information about optimal vehicle traffic.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

References

1. Mitryukova K.A. Influence of transport infrastructure on the regional socio-economic development: practical significance and scientific controversy. Journal of Economics, Entrepreneurship and Law. 2023; 13(7):2399-2412. https://doi.org/10.18334/epp.13.7.118352. EDN IPMCMV.

2. Rungskunroch P., Triwanapong S., Wattanajitsiri V. et al. Assessing the viability of enhancing logistics and supply chain operations: a case study of the Eastern Economic Corridor. Urban, Planning and Transport Research. 2024; 12(1). https://doi.org/10.1080/21650020.2024.2379352. EDN OHIWAP.

3. Bogushevich S.A., Samuilov V.M., Nevolin D.G. et al. High-speed highway M-12 Moscow – Tyumen: prospects and stages of construction. Innovative transport. 2022; 1(43):3-7. https://doi.org/10.20291/2311-164X-2022-1-3-7. EDN CQPVXF.

4. Khalikov R.M., Ivanova O.V., Pavlov S.Yu. et al. Innovative technologies in the construction of the Dyurtyuli-Achit section of the M-12 federal highway. Trends in the development of science and education. 2024; 108-13:62-65. https://doi.org/10.18411/trnio-04-2024-711. EDN SKRIKH.

5. Sysoev A.S., Lyapin S.A., Galkin A.V. et al. Intelligent methods of transport system management. Moscow: MADI, 2023. 192 p. EDN HGRIAR.

6. Aristova D.A., Makeeva E.Z., Fedorova O.V. The effects of the introduction of intelligent transport systems. The transport business of Russia. 2022; 1:114-115. EDN FTTQWY.

7. Ivanova O.V., Glazachev A.O., Khalikov R.M. et al. Efficient operation of motor transport during the construction of a four-lane section of the M-12 expressway. Modern perspective on the development of science, technology: Collection of the 3rd International Conference. Voronezh: Publ. "Universit. book", 2025; pp.164-167. EDN: BRKUBU.

8. Shkarpetkin E.A., Shatalov V.A., Vasilyeva V.V. et al. Implementation of the functionality of unmanned vehicles in the field of intelligent transport systems. The world of transport and technological machines. 2024; 4-1(87):97-103. EDN: KHCFBR.

9. Ivanova O.V., Pavlov S.Yu., Glazachev A.O. et al. Innovative unmanned vehicle operation technologies in high-speed federal highways. Modern innovations in engineering and technology: Collection of the International Conference. Kursk: Publ. "Univer. book", 2025; pp.139-142. EDN XOADRL.

10. Andrienko V.A., Kiyaev V.I., Kotova S.A. Smart roads: the use of intelligent systems and multi-agent technologies. Intelligent technologies in transport. 2025; 2(42):5-19. https://doi.org/10.20295/2413-2527-2025-242-5-19. EDN PPPJTS.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

11. Ivanova O.V., Glazachev A.O., Pavlov S.Y. et al. The in-demand application of artificial intelligence in traffic management on the Dyurtyuli–Achit section of the M-12 motorway. Prospects for the development of technologies: Collection of the 3rd All-Russian Conference. Voronezh: Publ. "Univer. book", 2025; pp.167-170. EDN FXSQLT.

12. Khalikov R.M., Ivanova O.V., Pavlov S.Y. et al. Energy-saving technologies for the use of geopolymer composites in the construction of transport facilities. Actual problems of science and education: Collection XXXVII International. Moscow: Publ. "Znanie-M", 2025; pp.525-530. EDN BDOJEN.

13. Budnik O.A., Tkacheva V.A., Loktev D.M. The development of intelligent transport systems in Russia: aspects of legislation. Automobile. Road. Infrastructure. 2024; 2(40). EDN XGJELA.

14. Latypova Z.B., Khalikov R.M., Glazachev A.O. et al. Geoecological aspects of the use of lime-containing large-tonnage soda production waste in Bashkortostan Problems of regional ecology. 2023; 4:68-72. https://doi.org/10.24412/1728-323X-2023-4-68-72. EDN ZFOTOL.

15. Nedoseko A.I., Khalikov R.M., Pavlov S.Yu. et al. Supramolecular improvement of the performance characteristics of asphalt-concrete road surfaces by structuring additives of functional polymers. Smart composites in construction. 2025; 6(4):43-54. https://doi.org/10.52957/2782-1919-2025-6-4-43-54. EDN BGNCBM.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

CONCLUSION

As we conclude this latest issue of the journal, we can confidently state that modern science is experiencing a period of deep integration of intelligent systems into all areas of human activity. The materials in issue No. 3(2) demonstrated that the effectiveness of modern technological developments—whether additive manufacturing in thermal power engineering or machine learning methods in data analysis—directly depends on the precision of interdisciplinary connections and the willingness of specialists to embrace innovation.

Research in the field of geodetic monitoring of mining operations and the use of superhard composites highlight the importance of continuously improving the mining industry's tools. At the same time, work on optimizing intelligent transport infrastructure and analyzing energy-saving technologies for utilizing low-grade wastewater heat points to the emergence of new standards for resource efficiency and urban mobility.

The editorial board expresses its gratitude to the authors for their contributions to the advancement of scientific knowledge and their in-depth exploration of the topics presented. We hope that the published articles will become a valuable resource for researchers, engineers, and managers focused on building a high-tech and socially responsible future. We invite our readers to continue the discussion in future issues of the International Journal of Professional Science.

With best wishes and warm regards,
Editor-in-Chief
International Journal of Professional Science
Krasnova N.A.

Professional science applies the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license to the materials published-
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Electronic scientific editions

International journal of Professional Science

international scientific journal
№3(2)/2026

Please address for questions and comments for publication as well as suggestions for cooperation to e-mail address mail@scipro.ru

ISSN 2542-1085

Format 60x84/16. Conventional printed sheets 12.5
Circulation 100 copies
Scientific public organization
“Professional science”