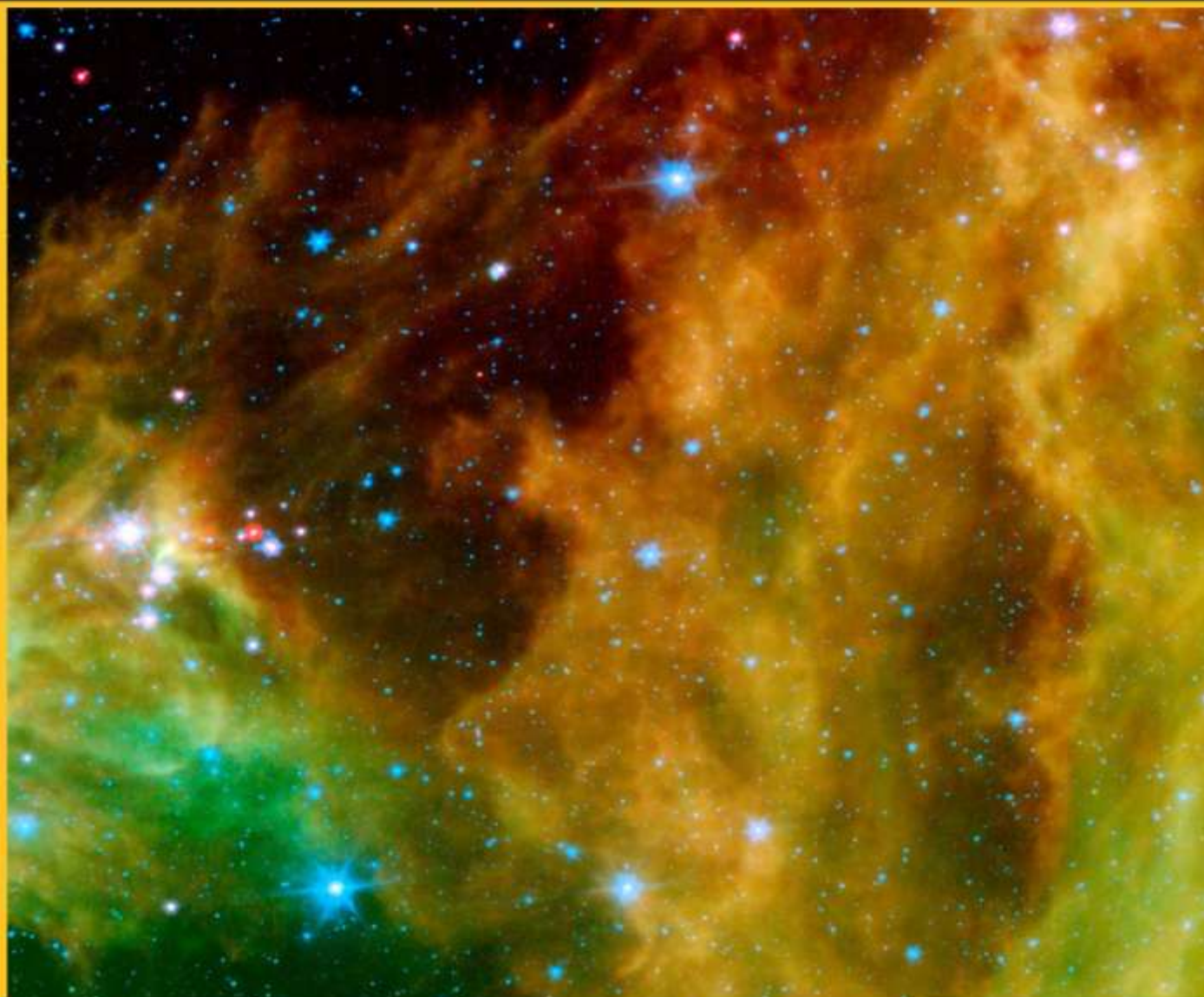


NOVEMBER 2025 | ISSUE #1 1(2)

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”, №11(2) - 2025. 130 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, 2025

Article writers, 2025

Scientific public organization
“Professional science”, 2025

Table of contents

INTRODUCTION	5
BIOLOGY AND BIOMEDICINE	6
Dmitriev D.A., Indeykina O.S., Sushkov I.A. Mental stress suppresses the expression of nonlinear dynamics and heart rate variability.....	6
ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES.....	16
Nashuk D.S., Isakov A.P., Lipatov M.S. Heat-accumulating materials and systems for flexible heat supply	16
INDUSTRIAL RESEARCH AND PRODUCTION.....	23
Nikiforov V.Y., Lobutev R.A., Belova Y.A., Nikiforova O.V., Chorieva A.A. Analysis of harmful production factors using the example of noise- and vibration-hazardous production at the Federal State Enterprise "State Scientific and Practical Institute of Automation and Control Systems named after L.K. Safronov"	23
Yablonskaya E.K., Kajgorodova E.A., Kosyanok N.E., Kiriyanova V.I. The effect of new derivatives of N-Phenyl-2-(6-methyl-4-methoxymethyl-3-cyano-2-oxo-1,2-dihydro-1-pyridinyl) acetamides on seed germination of the Adele winter wheat variety	28
REVIEWS AND ANALYSIS.....	33
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Guzenko A.D. Methods of ensuring the stability of the sides during drilling and blasting operations in a quarry.....	33
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Sharov P.E. Analysis of the Economic Efficiency of Investments in the Development of Mining Enterprises: Audit and Control..	39
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Semykin E.S., Dolbin I.D. Corporate Social Responsibility and Audit in the Mining Sector: Current Trends and Challenges	46
Boshchenko D.A. Comparative analysis of caching algorithms	51
Chagina E.A., Ivanova A.Yu., Teterina M.A., Likhachiova S.E., Pikalova D.D. Pathogenetic basis of a healthy diet in children.....	60
Konovalov G.G. A comparison of Python machine learning libraries	66
Moskalenko P.A., Nechitailov V.V. Technical and economic potential of waste heat for decarbonisation	76
SCIENTIFIC METHODS AND TECHNOLOGIES.....	85
Boshchenko D.A. Application of Regular Expressions in Data Analysis.....	85
Konovalov G.G. Analysis of cryptographic strength of algorithms on elliptic curves	92
Ziangirova L.F. Application of technologies of cloud computing in education	104
TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS.....	109
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Lomakina N.E., Remizov N.A. Satellite and global positioning methods	109
Korbakov D.A. The influence of high-frequency electromagnetic pulses on the hardening and strength of gypsum-sand compositions and concrete.....	115
Vagapov Sh.N. Implementation of automated transport robots in multi-zone warehouse complexes.....	119
CONCLUSION	129

INTRODUCTION

We present issue 11(2) of the International Journal of Professional Science, dedicated to a wide range of current research at the intersection of biomedicine, engineering, ecology, and information technology. This issue brings together theoretical and applied works aimed at solving both fundamental scientific problems and practical issues in industry and education. The "Biology and Biomedicine" section explores the psychophysiological mechanisms of heart rate regulation under mental stress, which is important for the prevention of cardiovascular disorders and the development of health monitoring methods. The "Energy and Environmental Technologies" section examines modern heat-storage materials and flexible heat supply concepts, which are important for improving energy efficiency and reducing carbon footprints.

Industrial research and production are represented by an analysis of harmful factors in noise- and vibration-prone industries, as well as an experimental study of the effects of new chemical compounds on winter wheat seed germination, which is important for agrochemistry and food security. The "Reviews and Analysis" section includes a wide range of materials, from engineering approaches to ensuring slope stability during drilling and blasting operations to economic analysis of investments and corporate social responsibility issues in the mining industry. Also presented are comparative studies in the field of caching algorithms and machine learning libraries, a review of the pathogenetic foundations of healthy childhood nutrition, and an assessment of the technical and economic potential of using waste heat for decarbonization.

The "Scientific Methods and Technologies" section contains papers exploring the application of modern data analysis and security tools: regular expressions for data preprocessing, the cryptographic strength of elliptic curve algorithms, and the potential of cloud computing in educational processes. The "Technological Developments" section concludes the issue with practical solutions for satellite and global positioning, a study of the impact of high-frequency electromagnetic pulses on building materials, and the implementation of automated transport robots in multi-zone warehouse complexes.

The materials included in this issue reflect an interdisciplinary approach, modern research methods, and the practical focus of scientific research. They will be useful to researchers, engineers, project managers and educators interested in integrating new knowledge and technologies into scientific and industrial practice.

Sincerely,
Krasnova N.
Editor-in-Chief
International Journal Of Professional Science

BIOLOGY AND BIOMEDICINE

UDC 616.839:612.172.2

Dmitriev D.A., Indeykina O.S., Sushkov I.A. Mental stress suppresses the expression of nonlinear dynamics and heart rate variability

Ментальный стресс подавляет выраженность нелинейной динамики и вариабельность сердечного ритма

Dmitriev Dmitry Alekseevich

Doctor of Medical Sciences, Professor,
Department of Science Education
Chuvash I. Yakovlev State Pedagogical University

Indeykina Olga Sergeevna

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Department of Science Education
Chuvash I. Yakovlev State Pedagogical University

Sushkov Igor Anatolyevich

Postgraduate Student,
Department of Science Education
Chuvash I. Yakovlev State Pedagogical University

Димитриев Дмитрий Алексеевич
Доктор медицинских наук, профессор кафедры
естественнонаучного образования
Чувашский государственный педагогический
университет им. И.Я. Яковлева

Индейкина Ольга Сергеевна
Кандидат биологических наук, доцент кафедры
естественнонаучного образования
Чувашский государственный педагогический
университет им. И.Я. Яковлева

Сушков Игорь Анатольевич
Аспирант кафедры
естественнонаучного образования
Чувашский государственный педагогический
университет им. И.Я. Яковлева

Abstract. Mental stress can impair cardiovascular function and increase the risk of cardiovascular disease. Despite this, mental stress does not produce a clear, quantifiable disruption of the autonomic balance. The aim of our study is to characterize the effect of internal mental stress on nonlinear heart rate dynamics. Twenty healthy young volunteers (students of the Chuvashia Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev, 5 males, average age 18.18 ± 0.13 years) performed mental arithmetic calculations with varying levels of difficulty (boredom, flow, overload). ECG recordings were made for 5 minutes at rest and during mental arithmetic. All levels of mental load caused an increase in heart rate, with a peak observed at overload. Mental load caused an increase in the decrease in LLE, indicating a reduction in the chaotic dynamics of the heart

rate, as well as changes in the fractal features of heart rate variability. As the difficulty of the mental arithmetic tasks increased, the Hurst exponent decreased, meaning the RR interval time series became more random and less advantageous. Summarizing the obtained results, we can conclude that mental stress reduces the nonlinear dynamics of heart rate variability and, in particular, alters the fractal properties of RR interval time series.

Keywords: mental stress, heart rate variability, nonlinear dynamics.

Аннотация. Ментальная нагрузка может нарушать функции сердечно-сосудистой системы и повышать риск кардиоваскулярных заболеваний. Несмотря на это, при ментальном стрессе не наблюдается явного нарушения вегетативного баланса, которое можно количественно оценить. Целью нашей работы является характеристика влияния ментального стресса на нелинейную динамику сердечного ритма. Двадцать здоровых молодых добровольцев (студенты Чувашского педагогического университета имени И. Я. Яковлева, 5 мужчин, средний возраст $18,18 \pm 0,13$ лет) выполняли арифметические вычисления с различным уровнем сложности (скука, поток, перегрузка) в уме. Запись ЭКГ осуществлялась в течение 5 минут в состоянии покоя и при вычислении в уме. Все уровни ментальной нагрузки вызвали существенное повышение ЧСС, пик наблюдался при перегрузке. Ментальная нагрузка вызвала существенное снижение LLE, что указывает на снижение хаотической динамики ритма сердца, а также существенное изменение фрактальных свойств вариабельности ритма сердца. По мере повышения уровня сложности заданий ментальной арифметики происходило снижение показателя Хёрста, а значит временные серии кардиоинтервалов становились более случайными и менее предсказуемыми. Обобщая полученные результаты, можно прийти к выводу о том, что ментальная нагрузка существенно снижает нелинейную динамику вариабельности сердечного ритма и особенно меняет фрактальные свойства временного ряда кардиоинтервалов.

Ключевые слова: ментальный стресс, вариабельность сердечного ритма, нелинейная динамика.

Рецензент: Великанова Людмила Петровна - д.м.н., профессор, зав. кафедрой наркологии, психотерапии и правоведения. Астраханский государственный медицинский университет

Введение

Исследования умственной работы и её последствий для психики послужили основой для концепции ментальной нагрузки, которая была первоначально описывалась как разница между мощностями системы обработки информации, необходимыми для выполнения задачи и достижения определенного уровня производительности, и когнитивными мощностями, доступными в данный момент времени [7]. Влияние ментальной нагрузки на здоровье было исследовано достаточно широко и подробно, особенно связь между ментальной нагрузкой и сердечно-сосудистыми заболеваниями [4]. Установлено, что профессиональная ментальная нагрузка, сочетающая в себе высокие требования к интенсивности и качеству работы с ограниченной свободой принятия решений, повышает риск ишемической болезни сердца и гипертонии [16]. Однако абсолютная причинно-следственная связь к настоящему времени все еще не выявлена [8]. Хорошо известно, что значительная умственная нагрузка сопровождается повышением частоты сердечных сокращений и артериального давления [12], которые являются релевантными показателями сердечно-сосудистого риска [17]. Более сложные изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, также связанные с повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний, были выявлены в результате анализа вариабельности сердечного ритма (BCR). В ходе

клинических исследований было установлено, что ВСР является высокочувствительным маркером целого ряда патологических состояния, особенно заболеваний сердца и вегетативной нейропатии [3]. Кроме того, ВСР успешно использовалась для оценки влияния на организм экологических или физиологических условий, которые могут изменять симпатико-парасимпатический баланс, даже не вызывая какое-либо сердечно-сосудистое заболевание или вегетативную нейропатию [6]. ВСР снижается при умственном усилии и умственной нагрузке, вероятно, вследствие активации симпатической нервной системы и/или снижения парасимпатического тонуса [11]. Было установлено, что средний интервал RR является показателем, наиболее чувствительным к ментальной нагрузке, даже при наличии выраженной обратной связи между умственным усилием и мощностью вариабельности сердечного ритма [10].

При анализе современной научной литературы следует учитывать, что оценка вариабельности сердечного ритма посредством показателей временной и частотной областей в основном нацелен на оценку вегетативного баланса (даже для оценки барорефлекса); такой подход не полностью и недостаточно надежно описывает сложное временное поведение сердечного ритма. Отсутствие четкого дисбаланса ВНС во время психического стресса и необходимость изучения других метрик (например, нелинейных или многомерных), кроме стандартных измерений во временной и частотной областях, были недавно описаны [14]. Нелинейные методы анализа и метрики позволяют выявить нелинейные динамические свойства, которые характеризуют сложные системы [2]. Колебания сердечного ритма (временные ряды RR) являются результатом сложного процесса, в который вовлечена многокомпонентная система внутри человеческого тела, частью которой является сердце, и несколько влияющих на нее факторов окружающей среды [1]. Эти нелинейные инструменты анализа сердечного ритма являются более чувствительными и точными средствами описания физиологического и клинического статуса и оценки прогноза при различных заболеваниях. Недавние исследования продемонстрировали связь между ментальной нагрузкой/умственным утомлением и нелинейной динамикой ВСР [9]. По мере развития методологии анализа сердечного ритма были разработаны современные нелинейные метрики для характеристики фрактального поведения сигнала во времени, самоподобия или сложности временных рядов.

Цель исследования – оценка изменения нелинейной вариабельности сердечного ритма (ВСР) при ментальной нагрузке разной степени интенсивности.

Материалы и методы исследования

В исследовании принимали участие 20 человек, студенты Чувашского педагогического университета имени И. Я. Яковлева, обучающиеся на разных факультетах. Средний возраст участников исследования составил $18,18 \pm 0,13$ лет.

Участники решали арифметические задач в уме, при этом задачи различались по сложности вычислений. В использованном арифметическом запросе участники мысленно суммировали числа и выдавали результат, который всегда должен состоять из трех цифр. Чтобы свести к минимуму движения тела, участники вводили результат на клавиатуре, отображаемой на экране, с помощью мыши.

Использовались три условия с разной сложностью задания: скука, поток и перегрузка. Состояние «Скука» характеризовалось несложной задачей и предоставляло участникам менее сложную ситуацию. В условии «Поток» использовалась динамическая корректировка, так что сложность задачи всегда корректировалась в соответствии с уровнем навыков участников, таким образом создавая ситуацию с соответствующим уровнем сложности. Условие «Перегрузка» также использовало аналогичную настройку, в то время как была сгенерирована задача повышенной сложности. Все участники выполнили арифметическое задание во всех трех условиях. Условие «Скука» всегда включало в себя два числа, которые нужно было суммировать. Первое число было выбрано случайным образом от 100 до 109, а второе число от 1 до 9.

В условии потока сложность задачи автоматически и непрерывно корректировалась в каждом испытании в соответствии с навыками участников. Каждое испытание начиналось с задания сложности, которая соответствовала заранее определенному уровню навыков участников. Корректировка сложности задания производилась по результатам двух последних заданий. Когда два последних результата были правильными, сложность задания увеличивалась двумя способами, как описано ниже. Если последнее слагаемое последнего математического выражения состояло из одной цифры, последнее слагаемое в следующем вычислении изменялось на двузначное число, так что сложность задачи возрастала. В случае последнего слагаемого с двумя цифрами к следующему вычислению добавлялось дополнительное однозначное слагаемое. Для каждой корректировки применялось одно из этих двух изменений. Таким образом, эти два типа корректировки происходили поочередно. С другой стороны, когда два последовательных результата были неверными, сложность задания уменьшалась в обратном порядке.

В состоянии перегрузки начальная сложность задачи была на три уровня выше, чем в состоянии потока. Сложность задания увеличивалась, если по крайней мере три из последних пяти испытаний давали правильные результаты, и уменьшалась, если по

крайней мере четыре из последних пяти результатов были неверными. Сложность задания не опускалась ниже начального уровня.

Эксперимент включал три блока задач для каждого условия задачи, а также три блока отдыха. Испытания повторялись для каждого блока задач продолжительностью 5 минут. Во время первого блока отдыха проводилось измерение состояния покоя, в ходе которого не выполнялись математические задачи. Чтобы устранить влияние порядка блоков, использовались различные типы последовательностей блоков, и эти последовательности были равно распределены между участниками.

В течение всего исследования испытуемые сидели в удобном кресле. Для записи ритма сердца нами использовался комплекс фирмы «Нейрософт», который включал в себя прибор «ВНС-Микро» и программное обеспечение для записи, фильтрации и первичного анализа ЭКГ «Поли-Спектр». Анализ нелинейной динамики ритма сердца осуществлялся нами с использованием программы HRVanalysis [13]. Анализируемые показатели вариабельности сердечного ритма: частота сердечных сокращений (ЧСС), наибольшая экспонента Ляпунова LLE, меры DFA: alpha1 и alpha2, показатель (экспонента) Хёрста.

Статистическая обработка проводилась с использованием программы Statistica 12.0.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты выполнения заданий были проанализированы в виде доли правильных ответов. Среднее значение числа правильных ответов при выполнении скучного задания составило 98,14%, в состоянии потока – 82,1 %, а при перегрузке – 49,93%. Различие между заданиями по данному показателю было достоверным (ANOVA: $F=44,32$; $p<0,0001$).

Результаты анализа уровня ЧСС при различных уровнях ментальной нагрузки и в состоянии покоя приведены в таблице 1.

Таблица 1

Средние значения, стандартные отклонения ЧСС (ударов в минуту) и вероятности гипотезы об отсутствии парных различий (критерий Уилкоксона для связанных выборок)

	средняя	станд. отклонение	покой	скука	поток	перегрузка
покой	74.691435	8.185009174		0.000517	0.000140	0.000089
скука	79.072525	9.753944934	0.000517		0.019633	0.001713
поток	81.767755	9.71298174	0.000140	0.019633		0.073139
перегрузка	83.389345	10.55436871	0.000089	0.001713	0.073139	

Результаты непараметрической ANOVA по Фридману (ANOVA Chi Sqr. (N = 20, df = 3) = 36,66000 p = 0,00000) свидетельствует о том, что разноуровневая умственная нагрузка оказывает существенное влияние на ЧСС. Попарное сравнение уровней ЧСС указывает на наличие достоверного различия между сравниваемыми состояниями: ЧСС в покое было достоверно ниже, чем при проведении любого из тестов с ментальной арифметикой, что указывает на повышение влияния симпатического отдела ВНС при ментальной арифметике.

Показатель (наибольшая экспонента) Ляпунова LLE количественно отображает чувствительность системы к исходным параметрам. Результаты анализа LLE при ментальной нагрузке разной интенсивности представлены в таблице 2.

Таблица 2

Средние значения, стандартные отклонения LLE и вероятности гипотезы об отсутствии парных различий (критерий Уилкоксона для связанных выборок)

	средняя	станд. отклонение	покой	скука	поток	перегрузка
покой	0.334275	0.080093609	0.000000	0.004644	0.000214	0.000089
скука	0.29375	0.061344476	0.004644	0.000000	0.141877	0.001089
поток	0.27625	0.065377346	0.000214	0.141877	0.000000	0.036386
перегрузка	0.2479915	0.06430919	0.000089	0.001089	0.036386	0.000000

Из представленных в таблице 2 значений LLE и результатов статистического анализа можно заключить, что во всех четырех состояниях для системы регуляции сердечного ритма была характерна хаотическая динамика – значение LLE было положительным и достоверно отличалось от 0 ($p < 0.0001$). В то же время выраженность данной хаотической динамики существенно отличалась при разном уровне когнитивной нагрузки – больше всего она была при нулевой нагрузке и прогредиентно снижалась по мере повышения её уровня. Нами не были обнаружены существенные различия между состояниями потока и перегрузки в выраженности хаотической динамики, количественно оценённой посредством показателя Ляпунова LLE.

Оценка самоподобия рядов RR посредством краткосрочной меры корреляции внутри ряда α_1 , показала, что по мере увеличения уровня когнитивной нагрузки происходит выраженное снижение этого показателя (таблица 3).

Таблица 3

Средние значения, стандартные отклонения показателя DFA alpha1 и вероятности гипотезы об отсутствии парных различий (критерий Уилкоксона для связанных выборок)

	средняя	станд. отклонение	покой	скука	поток	перегрузка
покой	1.2422155	0.167991861	0.000000	0.036562	0.232226	0.016882
скука	1.143722	0.248662851	0.036562	0.000000	0.217958	0.708906
поток	1.2077545	0.208217967	0.232226	0.217958	0.000000	0.030366
перегрузка	1.110015	0.271128877	0.016882	0.708906	0.030366	0.000000

Паттерн alpha1 выявил интересную закономерность – в состоянии потока происходит повышение данного показателя по сравнению со скукой, а затем он падает при переходе на более высокий уровень когнитивной нагрузки – задание с перегрузкой. Этот факт может свидетельствовать о том, что данный показатель может быть использован для дискриминации состояния потока.

При анализе alpha 2 нами было выявлено, что по мере повышения уровня сложности задачи происходит постепенное повышение уровня alpha2, что может указывать на снижения уровня сложности в системе регуляции сердечного ритма и косвенно свидетельствует о напряжении в системах регуляции при выполнении сложных арифметических вычислений в уме (таблица 4).

Таблица 4

Средние значения, стандартные отклонения показателя DFA alpha2 и вероятности гипотезы об отсутствии парных различий (критерий Уилкоксона для связанных выборок)

	средняя	станд. отклонение	покой	скука	поток	перегрузка
покой	0.78288	0.169795736	0.000000	0.411465	0.262723	0.000120
скука	0.8229825	0.116712969	0.411465	0.000000	0.287338	0.011129
поток	0.8430225	0.130006951	0.262723	0.287338	0.000000	0.027622
перегрузка	0.9386685	0.134075015	0.000120	0.011129	0.027622	0.000000

Результаты ANOVA по Фридману указывают на наличие существенных различий между уровнями ментальной нагрузки и уровнем самоподобия и автокорреляционных свойств временного ряда на долговременной шкале по экспоненте Хёрста (ANOVA Chi Sqr. (N = 20, df = 3) = 34,80000 p = ,00000). Анализ данных таблицы 5 показывает, что во всех случаях величина показателя Хёрста находилась в диапазоне от 0 до 0,5, что указывает на то, что для временного ряда интервалов RR характерна

антиперсистентность – любая тенденция стремится смениться противоположной, т.е. повышение ЧСС сменяется его понижением.

Таблица 5

Средние значения, стандартные отклонения показателя Хёрста и вероятности гипотезы об отсутствии парных различий (критерий Уилкоксона для связанных выборок)

	средняя	станд. отклонение	покой	скука	поток	перегрузка
покой	0.246506	0.040833002	0.000000	0.003592	0.000293	0.000103
скука	0.2274945	0.034854375	0.003592	0.000000	0.017759	0.000892
поток	0.216186	0.031405751	0.000293	0.017759	0.000000	0.005734
перегрузка	0.205381	0.026746732	0.000103	0.000892	0.005734	0.000000

Полученные нами в исследовании значения показателя Хёрста, в целом, согласуются с литературными данными [15]. В этой же работе было показано, что негативные эмоции сопровождаются снижением уровня показателя Хёрста. В нашем случае наблюдается выраженное снижение уровня показателя Хёрста по мере повышения степени сложности арифметических заданий.

Заключение

Результаты проведенного нами исследования показывают, что ментальный арифметический стресс способен вызвать существенное изменение в характере нелинейной динамики ритма сердца. Анализ LLE выявил, что во всех исследуемых состояниях ритм сердца обладает хаотическими свойствами, но LLE значительно ниже значения, характерного для полностью хаотических систем (LLE=1). По мере увеличения сложности арифметической задачи хаотические свойства ритма сердца снижаются, что указывает на уменьшение гибкости системы генерации и регуляции ритма сердца. Уменьшение уровня сложности этой системы по мере повышения ментальной нагрузки также демонстрируют результаты DFA, но эта зависимость носит более сложный характер: показатель самоподобия ряда α_1 несколько повышается при переходе от скуки к потоку, а затем резко падает при перегрузке. Это ставит вопрос о необходимости проведения дальнейшего исследования DFA при градуальном ментальном стрессе с целью уточнения воспроизводимости и устойчивости данного феномена. Анализ экспоненты Хёрста указывает на низкую персистентность временного ряда интервалов RR, которая снижается по мере увеличения ментальной нагрузки.

References

1. Ардашев А.В. Практические аспекты современных методов анализа variability сердечного ритма / А.В. Ардашев, А.Ю. Лоскутов. – Москва : Медпрактика, 2011. – 126 с.
2. Никулина М.В., Антонец В.А. Опыт оценки variability сердечного ритма по сглаженным кардиоинтервалограммам / М.В. Никулина, В.А. Антонец // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – 2022. – Т. 30. – №. 2. – С. 176-188.
3. Electrophysiology T. F. E. S. C. N. A. S. P. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // Circulation. – 1996. – Т. 93. – №. 5. – С. 1043-1065.
4. Esler M. Mental stress and human cardiovascular disease / M. Esler // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2017. – Т. 74. – С. 269-276.
5. Fuchs F.D. High blood pressure and cardiovascular disease / F.D. Fuchs, P.K. Whelton // Hypertension. – 2020. – Т. 75. – №. 2. – С. 285-292.
6. Grégoire J.M. Autonomic nervous system assessment using heart rate variability / J.M. Grégoire et al. // Acta cardiologica. – 2023. – Т. 78. – №. 6. – С. 648-662.
7. Hancock G.M. Mental workload / G.M. Hancock et al. // Handbook of human factors and ergonomics. – 2021. – С. 203-226.
8. Hays A.G. Mental Stress, Significant Sex Differences, and the Substrate for Cardiovascular Disease: Early Insights From CMR / A.G. Hays, S. Kelle //Circulation: Cardiovascular Imaging. – 2025. – С. e019081.
9. He S. Monitoring Construction Workers' Mental Workload Due to Heat Exposure Using Heart Rate Variability and Eye Movement: A Study on Pipe Workers / S. He et al. // Sensors. – 2025. – Т. 25. – №. 8. – С. 2377.
10. Henelius A. Mental workload classification using heart rate metrics / A. Henelius et al. // 2009 annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society. – IEEE, – 2009. – С. 1836-1839.
11. Immanuel S. Heart rate variability for evaluating psychological stress changes in healthy adults: a scoping review / S. Immanuel et al. // Neuropsychobiology. – 2023. – Т. 82. – №. 4. – С. 187-202.
12. Pandey K.R. Influence of acute mental stress on blood pressure, heart rate and heart rate variability in male medical students: An experimental study from tertiary care hospital, Nepal / K.R. Pandey et al. // Journal of Biomedical Sciences. – 2020. – Т. 7. – №. 1. – С. 11-17.

13. Pichot V. HRVanalysis: a free software for analyzing cardiac autonomic activity / V. Pichot et al. // Frontiers in physiology. – 2016. – T. 7. – C. 557.
14. Sarkar S. Quantifying neurophysiological mechanism through heart rate variability: the case of cognitive stress / S. Sarkar, A. Dey, A. Chandra // International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems. – 2025. – T. 18. – №. 1. DOI:10.2478/ijssis-2025-0028.
15. Selvaraj J. Classification of emotional states from electrocardiogram signals: a non-linear approach based on hurst / J. Selvaraj et al. // Biomedical engineering online. – 2013. – T. 12. – C. 1-18.
16. Steptoe A. Stress and cardiovascular disease: an update on current knowledge / A. Steptoe, M. Kivimäki // Annual review of public health. – 2013. – T. 34. – №. 1. – C. 337-354.
17. Tadic M. Heart rate as a predictor of cardiovascular risk / M. Tadic, C. Cuspidi, G. Grassi // European journal of clinical investigation. – 2018. – T. 48. – №. 3. – C. e12892.,

ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES

UDC 66.045.33

Nashuk D.S., Isakov A.P., Lipatov M.S. Heat-accumulating materials and systems for flexible heat supply

Теплоаккумулирующие материалы и системы для гибкого 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

Isakov Alexander Petrovich,

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

Исаков Александр Петрович,

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 provides an overview of modern heat storage materials and systems (HSMS), discusses their principles of operation, key characteristics, design features, and applications, ranging from individual housing construction to industrial facilities. Special attention is given to the potential of HMSS in improving the flexibility and energy efficiency of heating systems, reducing peak loads, and integrating with electricity grids in the context of multi-tariff energy consumption. The article analyzes the barriers and opportunities for implementing these technologies in Russia and suggests areas for further development, including improving the regulatory framework, developing domestic production, and conducting scientific research.

Keywords: heat-accumulating materials, heat energy accumulation, flexibility of heating systems, energy efficiency, heat-accumulating installations.

Аннотация. В статье представлен обзор современных теплоаккумулирующих материалов и систем (ТАМС), рассмотрены принципы их работы, ключевые характеристики, конструктивные особенности и области применения – от индивидуального жилищного строительства до промышленных объектов. Особое внимание уделено потенциалу ТАМС в повышении гибкости и энергоэффективности систем теплоснабжения, снижении

пиковых нагрузок и интеграции с электросетями в условиях многотарифного энергопотребления. Проанализированы барьеры и возможности внедрения данных технологий в России, а также предложены направления дальнейшего развития, включая совершенствование нормативной базы, развитие отечественного производства и научных исследований.

Ключевые слова: теплоаккумулирующие материалы, аккумуляция тепловой энергии, гибкость систем теплоснабжения, энергоэффективность, теплоаккумулирующие установки.

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

В современном мире, где в ряде стран возрастает роль возобновляемых источников энергии и стремление к устойчивому развитию, теплоснабжение играет ключевую роль. Традиционные системы теплоснабжения часто оказываются неспособными эффективно адаптироваться к изменяющимся условиям спроса и предложения тепла. В этой связи, все большее внимание привлекают теплоаккумулирующие материалы и системы, способные аккумулировать тепловую энергию и высвобождать её по мере необходимости, повышая тем самым гибкость и эффективность теплоснабжения.

Теплоаккумулирующие материалы и системы – это устройства и материалы, предназначенные для временного хранения тепловой энергии с целью её последующего использования. Аналогично термосу, но в гораздо большем масштабе, ТАМС позволяют накапливать избыточное тепло, когда оно доступно, например, от солнечных коллекторов днем или от тепловых электростанций ночью, и использовать его в периоды пиковых нагрузок или, когда источник тепла недоступен. Это позволяет сгладить колебания спроса и предложения тепла, повысить эффективность работы теплогенерирующего оборудования и снизить затраты на топливо. Такие системы становятся важным элементом в создании интеллектуальных и энергоэффективных систем теплоснабжения. Материалы, аккумулирующие ощутимую теплоту, такие как вода, камень или бетон, накапливают тепло за счёт повышения своей температуры. Их ключевые характеристики – теплоёмкость, плотность и теплопроводность [1]. Высокая теплоёмкость позволяет аккумулировать больше тепла при заданном изменении температуры, высокая плотность обеспечивает компактность системы, а высокая теплопроводность способствует эффективному теплообмену.

Материалы, использующие скрытую теплоту плавления, обладают более высокой плотностью энергии, чем материалы, аккумулирующие ощутимую теплоту. Они накапливают и высвобождают тепло при фазовом переходе (плавлении или затвердевании) при практически постоянной температуре. Ключевые характеристики таких материалов – температура плавления, теплота плавления и теплопроводность. Важно, чтобы температура плавления соответствовала требованиям конкретной

системы теплоснабжения, а высокая теплота плавления обеспечивала большой объём аккумулируемой энергии. Низкая теплопроводность является существенным недостатком таких материалов и требует применения специальных методов для её повышения, например, добавления теплопроводящих наполнителей или использования микрокапсулирования.

Термохимические материалы аккумулируют тепло за счёт обратимых химических реакций. Их ключевые характеристики – высокая плотность энергии, возможность длительного хранения тепла без потерь и температура реакции. Однако, термохимические материалы требуют сложного оборудования и управления реакцией, что ограничивает их применение.

Выбор теплоаккумулирующих материалов (ТАМ) для конкретной системы теплоснабжения должен основываться на комплексном анализе технических, экономических и экологических факторов. Важно учитывать не только характеристики материала, но и условия эксплуатации, доступность ресурсов и требования к безопасности.

Принцип работы ТАМС основан на использовании физических или химических свойств материалов, позволяющих им поглощать, хранить и высвобождать тепло. Простейшим примером является водяной бак-аккумулятор, где тепло аккумулируется за счет повышения температуры воды (рис. 1). Он является наиболее популярным выбором благодаря своей высокой теплоемкости и доступности [2]. Водяные баки-аккумуляторы широко используются в системах централизованного теплоснабжения, отопления и горячего водоснабжения. Эти системы особенно эффективны в сочетании с когенерационными установками или другими источниками тепла, работающими в непрерывном режиме.



Рисунок. 1. Бак-аккумулятор горячей воды.

Аккумуляторы на основе твердых материалов, таких как камень или бетон, обладают более низкой теплоемкостью, чем вода, но могут аккумулировать тепло при более высоких температурах. Они часто используются в системах солнечного отопления, где тепло от солнечных коллекторов передается на камень или бетон, а затем высвобождается для обогрева помещений. Такие системы требуют хорошей теплоизоляции для минимизации потерь тепла.

Аккумуляция скрытой теплоты плавления представляет собой более эффективный способ хранения тепла, поскольку она позволяет аккумулировать большое количество тепловой энергии при постоянной температуре. В этом случае, тепло аккумулируется за счет фазового перехода материала, например, плавления или затвердевания. Наиболее распространенными материалами, используемыми для аккумулирования скрытой теплоты плавления, являются парафины и соли. Парафины обладают высокой скрытой теплотой плавления и относительно низкой стоимостью, что делает их привлекательными для использования в системах отопления и горячего водоснабжения. Однако, парафины имеют низкую теплопроводность, что может снижать эффективность теплообмена [3]. В таком теплоаккумуляторе эффективный теплообмен обеспечивается змеевиком из гофрированной нержавеющей стали, расположенным внутри и закрепленным на теплопроводном каркасе для равномерного распределения тепла. Такая конструкция заключена в кассету для удобства монтажа и обслуживания: кассеты легко заменяются при необходимости. Соли обладают более высокой теплоемкостью и температурой плавления, чем парафины, что позволяет использовать их в системах централизованного теплоснабжения и промышленных процессах. Соли могут быть более агрессивными к конструкционным материалам, что требует осторожного выбора материалов для теплообменников.

Аккумуляция термохимической энергии является наиболее перспективным, но и наиболее сложным способом хранения тепла. В этом случае, тепло аккумулируется за счет обратимых химических реакций. Преимуществом этого метода является высокая плотность энергии и возможность длительного хранения тепла без значительных потерь. Примерами термохимических аккумуляторов являются аккумуляторы на основе гидратов солей и аккумуляторы на основе реакций адсорбции. Термохимические аккумуляторы находятся на стадии активных исследований и разработок, и в будущем могут стать ключевым элементом в системах аккумулирования тепла.

Один из наиболее распространённых вариантов использования теплоаккумулирующих систем — это индивидуальные дома и многоквартирные здания. В таких сооружениях устанавливаются системы, способные накапливать избыточное тепло летом и отдавать его зимой. Например, тепло, полученное от солнечных панелей днём, может использоваться для отопления вечером или ночью. Для этого применяются специальные теплоаккумулирующие устройства, содержащие воду, минеральные масла

или другие носители тепла. Новейшие разработки предлагают применять теплоаккумулирующие плиты, встроенные в стены или полы зданий. Эти плиты содержат специальную смесь материалов, способных накапливать тепло при комнатной температуре и отдавать его при понижении температуры окружающего пространства. Такое решение улучшает комфорт жильцов и снижает счета за отопление.

Производственные объекты, особенно заводы и фабрики, нуждаются в постоянном доступе к тепловой энергии для обработки материалов и поддержания рабочих температур. В таких случаях теплоаккумулирующие системы позволяют избегать перерывов в работе оборудования и поддерживать постоянный температурный режим. Например, в металлургии теплоаккумулирующие установки обеспечивают стабилизацию температурных режимов плавильных печей, защищая продукцию от дефектов и повышая качество металла.

Применение теплоаккумуляторов в системах теплоснабжения позволяет значительно повысить гибкость таких систем. Под гибкостью систем теплоснабжения имеется ввиду возможность использования различных видов первичного энергоресурса и энергогенерации, а также интеграцию дополнительных источников тепла и аккумулирующих структур. Это способствует устойчивой работе системы в условиях пиковых нагрузок, снижению зависимости от определенного вида топлива и повышению надежности теплоснабжения. В практической эксплуатации теплоаккумулирующие системы способны снижать пиковые тепловые нагрузки до 30%, уменьшая нагрузку на теплообменное и трубопроводное оборудование, а также способствуя сокращению эксплуатационных затрат. Высокие теплотехнические характеристики материалов с фазовым переходом обеспечивают значительное накопление тепла при регулируемых температурах, например, около 55°C для парафиновых аккумуляторов, что особенно эффективно для отопления и горячего водоснабжения индивидуальных домов [4].

Теплоаккумулирующая установка, интегрированная в систему теплоснабжения жилого дома, представляет собой техническое решение, позволяющее временно накапливать избыточную тепловую энергию и использовать её в периоды повышенного спроса или отсутствия внешнего источника тепла (Рис. 2). Такая установка может быть выполнена в виде буферного водяного аккумулятора, модуля на основе фазопереходного материала или гибридной системы, сочетающей несколько принципов аккумуляции. В условиях частного или малоэтажного домостроения теплоаккумулятор обеспечивает стабильную подачу тепла при работе с солнечными коллекторами, тепловыми насосами или твердотопливными котлами, устраняя их цикличность и повышая общую эффективность.



Рисунок. 2. Теплоаккумулирующая установка

Следует отметить, что современные теплоаккумулирующие установки отличаются улучшенными конструктивными решениями, в том числе внедрением теплообменников с бифилярными схемами теплообмена, что увеличивает эффективность использования аккумулирующей способности материала на 40–50% [5]. Это позволяет адаптировать системы теплоснабжения к многотарифному режиму работы электросетей, заряжая аккумуляторы ночью в периоды низкого потребления электроэнергии.

Теплоаккумулирующие материалы связаны с электросетями через использование мульти тарифных режимов работы и балансировку нагрузки. В системах теплоснабжения с теплоаккумуляторами электрическая энергия применяется для нагрева аккумулирующего материала, например, парафина в периоды низкого спроса на электроэнергию, чаще всего ночью, когда тарифы на электроэнергию ниже. Таким образом, аккумуляторы тепла "заряжаются" энергией из электросети, накапливая ее в виде тепловой энергии. Это позволяет снизить пиковые тепловые нагрузки днем, когда спрос на тепло и электроэнергию выше, благодаря последующему использованию накопленного тепла без дополнительного потребления электроэнергии в этот период. Такое сглаживание нагрузки облегчает работу электросети, сокращает необходимость в дорогостоящих и энергоемких пиковых генераторах, повышает общую устойчивость и эффективность энергосистемы. Кроме того, это способствует более рациональному и экономически выгодному использованию электроэнергии и снижению выбросов углерода за счет уменьшения перерасхода энергии [6].

Теплоаккумулирующие материалы и системы являются действенными инструментами повышения гибкости и энергоэффективности теплоснабжения. Они

позволяют накапливать и эффективно перераспределять тепловую энергию, сглаживая дисбаланс между её производством и потреблением. Привлечение ТАМС решает проблемы, возникающие при интеграции возобновляемых источников энергии, способствует снижению пиковых нагрузок на тепловые сети и увеличению срока службы оборудования. Внедрение систем в России сталкивается с рядом проблем, но при государственной поддержке, развитии отечественного производства и проведении научных исследований, такие технологии могут сыграть важную роль в переходе к устойчивому и эффективному теплоснабжению. Необходимо активно изучать и внедрять новые технологии ТАМС, чтобы обеспечить надежное и экологически чистое теплоснабжение для всех граждан России, а также способствовать достижению целей устойчивого развития. Обзор существующих материалов показал, что каждый вид ТАМ имеет свои сильные и слабые стороны, что определяет область их применения. Значительную перспективу представляют комбинированные теплоаккумулирующие системы, способные повышать общий КПД и минимизировать потери энергии. Для успешной реализации теплоаккумулирующих технологий необходимо совершенствовать нормативную базу, стимулировать научные исследования и внедрять современные производственные методики.

References

1. Шаров А.Н. Теплоснабжение: Учебник для вузов. – М.: Издательство Юрайт, 2023. – 469 с.
2. Ширяев, А. Д. Повышение эффективности систем теплоснабжения: проблемы и решения / А. Д. Ширяев // International Journal of Professional Science. – 2023. – № 7. – С. 75-82. – EDN QEJTVN.
3. Ермаков А.П. Энергоэффективные технологии в теплоэнергетике. – М.: Издательство МЭИ, 2019. – 312 с.
4. Абдулов, Р. Р. Теплоизоляционные материалы, применяемые в современном энергоэффективном строительстве / Р. Р. Абдулов, К. В. Хайлов, М. А. Исаев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 8. – С. 417-423.
5. Кондратьев, С. В. Виды теплоизоляционных материалов / С. В. Кондратьев // В мире научных открытий : Материалы VIII Международной студенческой научной конференции – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2024. – С. 2558-2561.
6. Анпилогов, Л. Д. Перспективные теплоизоляционные материалы тепловых сетей / Л. Д. Анпилогов // XXVIII Всероссийский аспирантско- магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика : Материалы докладов. В 3-х томах – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. – С. 168-171.

INDUSTRIAL RESEARCH AND PRODUCTION

UDC 658.567.1

Nikiforov V.Y., Lobutev R.A., Belova Y.A., Nikiforova O.V., Chorieva A.A. Analysis of harmful production factors using the example of noise- and vibration-hazardous production at the Federal State Enterprise "State Scientific and Practical Institute of Automation and Control Systems named after L.K. Safronov"

Анализ вредных производственных факторов на примере шумо- и виброопасного производства ФКП «ГКНИПАС имени Л.К. Сафронова»

Nikiforov Vladislav Yurievich

Senior Lecturer of the Department of Automated Production Technologies at the ETI of the Moscow State Technical University STANKIN

Lobutev Roman Alekseevich

Student at the ETI of the Moscow State Technical University STANKIN

Belova Yulia Andreevna

Student at the ETI of the Moscow State Technical University STANKIN

Nikiforova Olga Vladislavovna

Student of the ETI FGAOU VO MSTU "STANKIN"

Chorieva Anastasia Aleksandrovna

Senior Lecturer of the Department of "Automated Production Technologies" ETI FGAOU VO MSTU "STANKIN"

Никифоров Владислав Юрьевич

Старший преподаватель кафедры «Технологий автоматизированного производства» ЕТИ ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

Лобутев Роман Алексеевич

Обучающийся ЕТИ ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

Белова Юлия Андреевна

Обучающаяся ЕТИ ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

Никифорова Ольга Владиславовна

Обучающаяся ЕТИ ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

Чориева Анастасия Александровна

Старший преподаватель кафедры «Технологий автоматизированного производства» ЕТИ ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

Abstract. *The article discusses methods of protection against noise and vibration hazards in mechanical engineering production. The analysis of regulatory requirements for these factors is carried out. Engineering and technical solutions are proposed to protect employees from noise and vibration. The effectiveness of the adopted engineering solutions is evaluated. The research results can be implemented to improve working conditions in industrial enterprises.*

Keywords: *Vibration, noise, collective safety measures.*

Аннотация. В статье рассматриваются методы защиты от шумовых и вибрационных вредных производственных факторов на машиностроительном производстве. Проведен анализ нормативных требований к этим факторам. Предложены инженерно-технические решения для защиты работников предприятий от шума и вибрации. Оценена эффективность принятых инженерных решений. Результаты исследования могут быть внедрены для улучшения условий труда на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: *Вибрация, шум, средства коллективной безопасности.*

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Шум и вибрация являются одними из наиболее распространенных вредных производственных факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье работников. Длительное воздействие шума приводит к снижению слуха, повышению утомляемости и стрессу, а вибрация вызывает заболевания опорно-двигательного аппарата и нервной системы. В связи с этим разработка эффективных средств коллективной защиты является актуальной задачей для обеспечения безопасности труда [6].

Целью данной работы является разработка и обоснование способов снижения шума и вибрации, а также оценка их эффективности на производстве ФКП «ГкНИПАС имени Л.К. Сафронова» - это один из крупнейших и уникальных Полигонов России, лидер в области наземных испытаний авиационной техники. Полигон создан в целях обеспечения разработки, производства, ремонта, хранения и утилизации образцов вооружения, авиационной, ракетно-космической, военной и другой техники, боеприпасов и их составных частей, а также проведения экспериментальных исследований и комплексных наземных испытаний при воспроизведении натурных внешних воздействующих факторов, проведения экспериментальных исследований на этапах эскизного и рабочего проектирования, опережающих научно-экспериментальных исследований, лётно-конструкторских и государственных испытаний указанных образцов вооружения [3]

Сегодня ФКП «ГкНИПАС» уполномочен проводить предварительные, государственные и сертификационные испытания изделий ведущих разработчиков авиационной и ракетной техники, выполняет научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области аэродинамики, аэробаллистики, боевой живучести, вибропрочности, климатики и других направлений. Комплекс испытательных стендов уникален тем, что позволяет строго соблюдать условия реального применения техники

– физического моделирования всех воздействий, возникающих при автономном полете неуправляемого и управляемого вооружения, а также при их совместном полете на носителе. Здесь прошли испытания боевых снаряжений целого ряда ракет различного назначения, в настоящее время Полигон принимает активное участие в создании новых перспективных изделий, в том числе и гиперзвуковых летательных аппаратов. Кроме того, в последние годы на Полигоне начало активно развиваться направление испытаний современных беспилотных воздушных судов различных классов и назначения [4].

Шум представляет собой акустические колебания, распространяющиеся в воздушной среде, а вибрация — механические колебания твердых тел. Основными источниками шума и вибрации на ФКП «ГкНИПАС» являются:

- Оборудование;
- Транспортные средства;
- Испытательные стенды. [8]

В Российской Федерации уровни шума и вибрации регулируются СанПиН 1.2.3685-21 и ГОСТ 12.1.003-83. Согласно данным нормативным документам допустимые уровни шума на рабочих местах не должны превышать 80 дБА, а вибрации — установленных предельных значений в зависимости от частоты [1],[2].

Для выявления и минимизации шумовых и вибрационных загрязнений на производстве ФКП «ГкНИПАС» нами применялась следующая методика:

1. Анализ условий труда.

- Проведение замеров уровня шума и вибрации с использованием шумомеров и виброметров.

- Сравнение полученных данных с нормативными значениями.

2. Разработка инженерных решений:

- Подбор звуко- и виброизолирующих материалов.

- Проектирование конструкций для защиты работников.

3. Оценка эффективности.

- Проведение повторных замеров после внедрения средств защиты.

- Анализ социально-экономической эффективности [5], [7].

В результате проведенных исследований нами были выявлены следующие проблемы:

- Уровень шума в цехах и испытательных лабораториях достигал 95 дБА (превышение нормы на 15 дБА).

- Вибрации от ударного оборудования превышали допустимые значения на 30%.

Данные показатели превышают допустимые значения регламентированные требованиями СанПиН 1.2.3685-21 и ГОСТ 12.1.003-83 поэтому для снижения данных негативных факторов были предложены следующие решения.

Для снижения шума:

- Установка звукоизолирующих кожухов на оборудование;
- Отделка стен и потолков звукопоглощающими материалами (минеральная вата, акустические панели);
- Уплотнение щелей в дверях и окнах с помощью резиновых или силиконовых уплотнителей;
- Установка двойных стеклопакетов для окон с воздушной прослойкой, снижающей передачу звука;
- Инновационные технологии ("умные окна" с динамической звукоизоляцией).

Для снижения вибрации:

- Использование виброизолирующих амортизаторов;
- Установка оборудования на вибропоглощающие фундаменты;
- Размещение вибрирующего оборудования на отдельных площадках, изолированных от основного здания;
- Прокладка виброизолирующих швов между стенами, полами и оборудованием [5].

После внедрения предложенных мер в комплексе или по отдельности на каждом проблемном участке предприятия:

- Максимальный уровень шума снизился до 75 дБА (соответствует нормативу);
- Вибрация уменьшилась на 40%.

Разработка средств коллективной защиты от шума и вибрации на производстве позволяет значительно улучшить условия труда работников. Предложенные инженерно-технические решения доказали свою эффективность и могут быть рекомендованы для внедрения на других предприятиях т.к. сократилось количество случаев обращения работников предприятия ФКП «ГкНИПАС» в медицинские учреждения по проблемам связанным с профессиональными заболеваниями.

References

1. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности факторов среды обитания для человека".
2. ГОСТ 12.1.003-83 "ССБТ. Шум. Общие требования безопасности".
3. Испытания длиною в 80 лет – Коломна: Лига, 2023. – 216с.: цв. ил.
4. ГкНИПАС: испытания длиною в 80 лет. // Текст: электронный // Источник: информационно-аналитическое СМИ «Главпортал». - 24 Августа 2021- [Электронный

ресурс]. URL: <https://glavportal.com/materials/gknipas-ispytaniya-dlinoyu-v-80-let> (Дата обращения: 25.10.2025).

5. Влияние шума и вибрации на организм человека. Текст: электронный // Источник: федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Марий Эл» [Электронный ресурс]. URL: <https://12sanepid.ru/press/publications/5162.html> (Дата обращения: 25.10.2025).

6. Методические указания МУК 4.3.3722-21 "Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях" (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 27 декабря 2021 г.) Цитировано по [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403287707/?ysclid=m8o842r64g204641989> (Дата обращения: 25.10.2025)

7. Рогов, В. А. Исследование демпфирующих способностей конструкций расточных токарных резцов со вставками из высоконаполненного композиционного материала / В. А. Рогов, П. С. Белов // Вестник машиностроения. – 2011. – № 6. – С. 69-71. – EDN QISPNJ.

8. Генезис новой парадигмы экономического развития России: глобальные предпосылки и внутренние факторы конкурентоспособности / П. С. Белов, О. А. Бровченко, Н. В. Василенкова [и др.]. – Самара : НИЦ «ПНК», 2024. – 158 с. – ISBN 978-5-605-19462-0. – EDN IIAKAL.

UDC 661.162.6

Yablonskay E.K., Kajgorodova E.A., Kosyanok N.E., Kiriyanova V.I.
The effect of new derivatives of N-Phenyl-2-(6-methyl-4-methoxymethyl-3-cyano-2-oxo-1,2-dihydro-1-pyridinyl) acetamides on seed germination of the Adele winter wheat variety

Влияние новых производных N-Фенил-2-(6-метил-4-метоксиметил-3-циано-2-оксо-1,2-дигидро-1-пиридинил) ацетамидов на всхожести семян озимой пшеницы сорта Адель

Yablonskay Elena Karlenovna

Professor, Department of Chemistry, KubSAU named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Kajgorodova Elena Alekseevna

Professor, Department of Chemistry, KubSAU named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Kosyanok Nina Evgenievna

A.P., department of Chemistry, KubSAU named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Kiriyanova Valentina Ivanovna

1st-year master's student, department of Chemistry,
KubSAU named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Яблонская Елена Карленовна

Профессор кафедры химии Куб ГАУ им. И.Т.Трубилина, Краснодар, Россия

Кайгородова Елена Алексеевна

Профессор кафедры химии Куб ГАУ им. И.Т.Трубилина, Краснодар, Россия

Косянок Нина Евгеньевна

Доцент кафедры химии Куб ГАУ им. И.Т.Трубилина, Краснодар, Россия

Кириянова Валентина Ивановна

Магистрант 1 курс группа ХП 2541 Куб ГАУ им. И.Т.Трубилина, Краснодар, Россия

Аннотация. Производные пиридинов обладают широкой биологической активностью и используются для синтеза лекарственных препаратов и средств защиты растений. Перспективен синтез и исследования влияния новых производных пиридинацетамидов на озимой пшеницы. Проведенные исследования показали высокие результаты по биологической активности.

Ключевые слова: биологическая активность, производные пиридины, регуляторы роста.

Abstract. Pyridine derivatives exhibit broad biological activity and are used to synthesize pharmaceuticals and plant protection products. The synthesis and study of the effects of new pyridineacetamide derivatives on winter wheat is promising. Studies have demonstrated high biological activity.

Keywords: biological activity, pyridineacetamides, growth regulators.

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Известно, что производные пиридинов проявляют высокую биологическую активность ввиду того, что входят в состав природных биологически активных комплексов соединений и используются для синтеза лекарственных препаратов с различным биологическим и

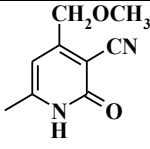
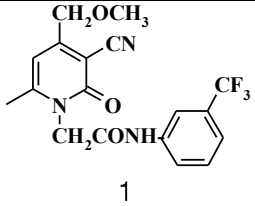
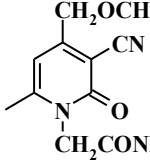
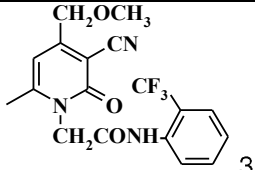
физиологически воздействием [1-7]. Их потенциал физиологического действия достаточно обширен и применение возможно в различных областях науки и практики [8-15].

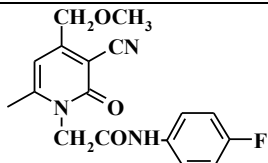
В связи с этим нами были синтезированы производные пиридинов, включающие амидную группировку и получены новые производные N-Фенил-2-(6-метил-4-метоксиметил-3-циано-2-оксо-1,2дигидро-1-пиридинил)ацетамидов по методике : смесь 1,78 г (0,01 моль) 2-оксо-1,2-дигидро-3-пиридинкарбонитрила 1,25 мл DMF, 5,6 мл 10% водного раствора KOH (0,01) и 1,70 г (0,01 моль) N1-фенилхлорацетамида или других хлор производных кипятят в течение 7 ч. После охлаждения реакционную смесь разбавляют двукратным количеством воды, осадок отделяют, промывают водой, сушат и перекристаллизовывают из спирта. Выход продуктов 2,83 -3,0 г (86-91%) . Структура полученных соединений доказана методами ЯМР ¹H и ИК-спектроскопии.

Была изучена рострегулирующая активность производных аминов цианоприримидинов 1-5. К наиболее близким аналогам по структуре применяемого вещества в качестве средства для активации прорастания семян может быть отнесен 6-метил-4- метоксиметил-2-оксоникотинонитрил (Кс) (таблица 1).

Таблица 1

Данные по биологической активности препаратов

Вариант опыта	Концентрация, %	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина		Масса	
				ростка	корня	ростка	корня
вода		80	84	6,69	10,30	0,35	0,29
 Кс	10 ⁻³	71	78	7,14	11,21	0,32	0,24
 1	10 ⁻³	76	80	8,92	5,58	0,38	0,32
	10 ⁻⁴	84	88	6,02	4,06	0,36	0,21
	10 ⁻⁵	78	82	8,92	5,58	0,32	0,27
 2	10 ⁻³	83	88	7,18	11,85	0,29	0,25
	10 ⁻⁴	86	90	7,58	13	0,36	0,33
	10 ⁻⁵	91	94	8,49	12,73	0,37	0,35
 3	10 ⁻³	87	90	8,24	13,64	0,37	0,32
	10 ⁻⁴	84	94	7,88	13,84	0,38	0,34
	10 ⁻⁵	90	92	7,48	12,96	0,39	0,32

 5	10 ⁻³	69	72	7,76	9,4	0,37	0,23
	10 ⁻⁴	81	86	8,05	14,32	0,44	0,36
	10 ⁻⁵	78	82	7,23	11,75	0,30	0,43
HCP _{0,95}		0,41	0,47	0,032	0,086	0,003	0,007

Рострегулирующую активность соединений и их влияние на посевные качества семян определяли модельными методами лабораторного скрининга на семенах озимой пшеницы сорта Адель. В ходе лабораторного скрининга определяли оптимальную ростактивирующую концентрацию соединений, влияние их на посевные качества семян (энергию прорастания, всхожесть, интенсивность прорастания семян. В качестве контроля использовалась вода. Семена озимой пшеницы сорта Адель замачивали перед посевом раствором аналога по строению и свойствам Кс массовой долей 0,001 % (эталон), растворами испытуемых препаратов с массовой долей 0,001 %; 0,0001 %; 0,00001 % и дистиллированной водой (контроль) в течение суток, а затем проращивали в чашках Петри на влажной фильтровальной бумаге в течение 14 дней при комнатной температуре.

Энергию прорастания определяли на 3-е сутки, всхожесть - на 7-е в соответствии с ГОСТом 1238-84. Повторность опыта трехкратная. В каждой повторности использовано по 50 шт. семян. Об оптимальной ростстимулирующей концентрации соединений судили по совокупности следующих показателей: энергия прорастания и всхожесть семян, длина корешков и ростков, их масса (сухая) в расчете на 50 шт. проростков. Полученные в опытах результаты обработаны методом дисперсионного анализа [16]. Результаты определения оптимальной концентрации соединений и их влияние на семена пшеницы приведены в таблице I.

Все изучаемые препараты в исследуемых концентрациях оказывали направленное биологическое воздействие на роста семян озимой пшеницы. Выявлены наиболее перспективные рабочие концентрации изучаемых соединений. Особенно следует выделить вещество 1 с концентрацией 0,001 %, вещество 2 с концентрацией 0,00001 %, вещества 3 и 4 с концентрациями 0,0001 %.

References

1. Кайгородова Е.А., Яблонская Е.К., Жаравина А.А. Новые биологически активные производные пиридо[3,2':4,5]тиено[3,2-d]пиримидин-4-оны. /Сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Защита растений от вредных организмов. Краснодар: КубГАУ.- 2025. С.169-171.

2. Тосунов Я.К. Применение 6-(4,7-диметокси-1,3-бензодиоксол-5-ил)-4-(4-метокси-фенил)-2-тиоксо-1,2-дигидропиридин-3-карбонитрила в качестве средства для активации прорастания семян пшеницы/ Тосунов Я.К., Барчукова А.Я., Иванов С.В., Кайгородова Е.А., Косянок Н.Е., Конюшкин Л.Д. Патент на изобретение RU 2788530 C1, 23.01.2023. Заявка № 2022113983 от 24.05.2022.
3. Макарова Н.А., Кайгородова Е.А., Конюшкин Л.Д. Синтез новых 1-гетарил-метилен-4-сульфанилфуоро-[3,4-с]пиридин-3(1H)-онов. Химия гетероциклических соединений. Москва .- 2022. Т. 58. № 8-9. с. 454-461.
4. Василин В.К. 5Н-пиридо[3,2:4,5]тиено[3,2-б]индолы: реакционная способность и рострегулирующие свойства./ Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии. Межвузовский сборник научных трудов XIV всероссийской конференции молодых ученых с международным участием, Саратов, Издательство "Саратовский источник", 2020, с.50-51.
5. Design, synthesis, and screening of pyridothieno[3,2-b]indole and pyridothieno[3,2-c]cinnoline derivatives as potential biologically active molecules Vasilin V.K., Kanishcheva E.A., Stroganova T.A., Krapivin G.D./ Synthesis. 2022. Т. 54. № 14. С. 3249-3261.
6. Василин В.К., Канищева Е.А., Строганова Т.А. 3-Амино(азидо)-4,6-арил-(гетарил)тиено[2,3-б]пиридины и бензо(фуоро, тиено)[с]тиено[2,3,4-і, j]-2,7-нафтиридины на их основе: синтез, спектральные свойства и прогноз биологического действия/Химия гетероциклических соединений. 2020. Т. 56. № 8. С. 1078-1091.
7. Stroganova T.A., Vasilin V.K., Krapivin G.D. Reductive desulfurization of pyridothieno[3,2-b]indoles: synthesis of 2-(pyridine-3-yl)indoles/ Russian Journal of General Chemistry. 2025. Т. 95. № 2. С. 301-312.
8. Dmitrieva I.G., Vasilin V.K., Dotsenko V.V. 6-(Pyrazol-1-yl)pyrazolo[3,4-b]pyridines: synthesis, structure, and wheat growth regulating activity Russian Journal of General Chemistry. 2024. Т. 94. № 10. С. 2603-2615.
9. Доценко В.В., Халатян К.В., Русских А.А. Синтез и свойства 2-амино-4-арил-6-гексил-7-гидрокси-4h-хромен-3-карбонитрилов/ Журнал общей химии. 2023. Т. 93. № 1. С. 31-42.
10. Канищева Е.А., Василин В.К., Кобзарева А.А. Внутримолекулярная циклизация 3-азидотиено[2,3-б]пиридинов/ Сборник докладов «XXVI всероссийская конференция молодых учёных-химиков (с международным участием)». Нижний Новгород, НИНГУ им. Н.И. Лобачевского.- 2023. С. 62.

11. Изучение биологической активности новых тетрагидро-пиридо и 2,3-дигидропиридо[3,2/:4,5]тиено[3,2-d] ПИРИМИДИН-4-ОНОВ Кайгородова Е.А., Яблонская Е.К., Жаравина А.А. / Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2024 год. Сборник трудов конференции. Краснодар, 2025. С. 112-114.
12. Новые биологически активные производные пирио[3,2/:4,5]тиено[3,2-d]пиримидин-4-оны/ Кайгородова Е.А., Яблонская Е.К., Жаравина А.А.// Защита растений от вредных организмов. Сборник статей по материалам XII Международной научно-практической конференции. Краснодар, 2025. С. 169-171.
13. Поиск перспективных антидотов в ряду пиридинсодержащих соединений/Кайгородова Е.А., Макарова Н.А., Косянок Н.Е.//В сборнике: Защита растений от вредных организмов. Материалы XI международной научно-практической конференции. Краснодар, 2023. С. 177-180.
14. Синтез новых 1-гетарилметилен-4-сульфанилфуоро-[3,4-с]пиридин-3(1H)-онов/Кайгородова Е.А., Макарова Н.А., Конюшкин Л.Д., Крапивин Г.Д.//Химия гетероциклических соединений. 2022. Т. 58. № 8-9. С. 454-461.
15. Производные 3-циано-2(1h)-пиридона: синтез и биологическая активность/Кайгородова Е.А. Год науки и технологий 2021. Сборник тезисов по материалам Всероссийской научно-практической конференции. Краснодар, 2021. С. 13.
16. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта. / Б. А. Доспехов - М.: Колос, 1985. - 351 с.

REVIEWS AND ANALYSIS

UDC 622.235.535.2

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Guzenko A.D. **Methods of ensuring the stability of the sides during drilling and blasting operations in a quarry**

Методы обеспечения устойчивости бортов при буровзрывных работах в карьере

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

Guzenko Alexey 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

Гузенко Алексей Дмитриевич,
Студент 3 курса
Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. In the article, modern methods for ensuring the stability of berms during blasting operations at quarries under various geological conditions are considered. Special attention is given to contour blasting, slot cutting technology, and staged bench blasting as effective means to reduce seismic loads and prevent berm collapses. The study is based on the application of the finite element method to model the stress-strain state of rock masses, including both hard granite-gneisses and loose rocks. Engineering calculations related to blasting parameters are presented, taking into account the mechanical properties of the rocks, effective charge initiation schemes, as well as structural solutions for shielding layers. Comparative calculation examples for different rock types are provided, with recommendations implemented for optimizing contour blasting parameters, slot width and depth, and staged blasting to increase the durability and safety of berms. The results of

the work have a high practical significance for the mining industry, contributing to reducing accident risks and improving quarry operational conditions.

Keywords: *berm stability, drilling and blasting operations, contour blasting, slot cutting, quarry (or open-pit mine), stress-strain state, granite-gneisses, loose rocks.*

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы обеспечения устойчивости бортов при проведении буровзрывных работ на карьерах различных горно-геологических условий. Основное внимание уделено контурному взрыванию, технологии целеобразования и поэтапному взрыванию уступов как эффективным средствам снижения сейсмических нагрузок и предотвращения обрушений бортов. Исследование основано на применении метода конечных элементов для моделирования напряженно-деформированного состояния массивов пород, включая как твердые гранитогнейсы, так и рыхлые породы. Представлены инженерные расчеты по параметрам взрывных работ с учетом механических свойств пород, эффективные схемы инициирования зарядов, а также конструктивные решения для экранирующих слоев. Приведены сравнительные примеры расчетов для различных пород, реализованы рекомендации по оптимизации параметров контурного взрывания, ширины и глубины целеобразования, а также поэтапного взрывания для повышения долговечности и безопасности бортов. Итоги работы имеют высокую практическую значимость для горной промышленности, способствуя снижению рисков аварий и улучшению условий эксплуатации карьеров.

Ключевые слова: *устойчивость бортов, буровзрывные работы, контурное взрывание, целеобразование, карьер, напряженно-деформированное состояние, гранитогнейсы, рыхлые породы*

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение

Одной из важнейших задач карьерной отработки является обеспечение устойчивости бортов в условиях интенсивных взрывных работ. Негативные эффекты, вызванные сейсмическими нагрузками и динамическими воздействиями, способны привести к авариям, ухудшению условий труда и снижению эффективности добычи. В данном исследовании проведен всесторонний анализ методов повышения устойчивости борта, адаптированных к различным типам массивов, с применением современных расчетных и экспериментальных подходов [1-5].

Материалы и методы.

Использованы данные геомеханических исследований пород гранитогнейсов и рыхлых осадочных пород [4-7, 13]. Основные физико-механические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	Гранитогнейсы	Рыхлые породы
Модуль упругости, ГПа	10	0,5
Предел прочности, МПа	8	1,2
Плотность, г/см ³	2,7	1,8
Коэффициент трещиноватости	Низкий	Высокий

Для оценки напряженно-деформированного состояния применялся метод конечных элементов (PLAXIS 3D), учитывающий характеристики пород, геометрию борта, параметры взрывных зарядов и последовательность инициации [8-10, 14].

Расчет параметров контурного взрывания выполнен по методике, основанной на зависимости расстояния между скважинами от диаметра буровых скважин, свойств пород и удельного расхода взрывчатых веществ. Для гранитогнейсов расстояния между шпурами составляют 0,8–1,2 м, масса заряда на метр 0,3–0,5 кг; для рыхлых пород — 0,6–0,9 м и 0,2–0,4 кг/м соответственно.

Параметры щелеобразования рассчитываются по формулам 1:

$$H_s = k_1 \sqrt{Q}, W_s = k_2 \cdot H_s, \quad 1$$

где Q — суммарная масса заряда; k_1 и k_2 — эмпирические коэффициенты (гранитогнейсы: $k_1 = 0,6$, $k_2 = 0,2$; рыхлые породы: $k_1 = 0,5$, $k_2 = 0,3$).

Результаты

1. Контурное взрывание

Применение контурного взрывания с оптимальными параметрами позволило снизить сейсмическую нагрузку на борта и минимизировать разрушение массива. В гранитогнейсовом массиве эффективность обеспечивается более редким размещением скважин и увеличенным объемом заряда по сравнению с рыхлыми породами [11-13].

2. Щелеобразование

Для гранитогнейсов при суммарной массе заряда 500 кг оптимальная глубина щели рассчитана в 13,4 м, ширина — 2,7 м; для рыхлых пород — 11,2 м глубина и 3,4 м ширина. Эти параметры позволяют эффективно ослабить напряжения в приконтурной зоне.

3. Поэтапное взрывание

Включение поэтапного взрывания с задержками 20 мс между этапами снижает амплитуду сейсмических волн на 15–25%, особенно эффективно для рыхлых пород с высокой трещиноватостью [14-15].

4. Экранирующие слои

Применение глинистых и песчанистых замков толщиной 1–1,5 м с армирующими геосетками снижает передачу сейсмических колебаний и увеличивает прочность борта на 20–30%.

Рекомендации по противообрушительным мерам

Оптимизация схемы контурного взрывания с учетом типа и свойств пород карьера.

Обоснованный расчет и создание щелей ослабления приконтурного массива [1-3].

Использование поэтапного взрывания с контролируемыми задержками для уменьшения динамической нагрузки.

Внедрение экранирующих слоев из глинистых и песчанистых пород,

армированных геосетками.

Мониторинг состояния бортов с применением геодезических и сейсмических систем для оперативного управления процессом взрывных работ.

Примеры расчетов

Таблица 2.

Расчет параметров контурного взрывания и щелеобразования

Параметр	Гранитогнейсы	Рыхлые породы
Удельный расход ВВ, кг/м	0,4	0,3
Диаметр скважин, мм	42	38
Расстояние между шпурами, м	1,0	0,75
Масса заряда Q, кг	500	500
Глубина щели Hs, м	13,4	11,2
Ширина щели Ws, м	2,7	3,4

Выводы

Формирование устойчивости бортов при проведении взрывных работ в карьерах достигается комплексным использованием контурного взрывания, щелеобразования и поэтапного инициирования зарядов, дополненных применением экранирующих материалов. Различия в механических свойствах пород требуют адаптации параметров взрывных работ: гранитогнейсы характеризуются большей прочностью и меньшей трещиноватостью, что позволяет использовать более крупные интервалы между скважинами и глубокие щели, в то время как для рыхлых пород необходимы более плотные схемы взрывов и расширение щелей.

Предложенные методы обеспечивают надежное предотвращение обрушений, сокращение сейсмического воздействия и повышение безопасности горных работ, что подтверждается результатами натурных испытаний и численным моделированием.

References

1. Кутуев В. А., Васильева Л. А., Жариков С. Н. Об устойчивости бортов карьера Джетыгаринского месторождения при ведении взрывных работ в приконтурной зоне // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024 – № 7-1. – С. 25–36. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_71_0_25.
2. Мельник В. В. Геомеханический мониторинг геофизическими методами при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом // Проблемы недропользования. —2021 — № 4 — С. 36—43. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.036.
3. Жариков С. Н., Кутуев В. А. Результаты экспериментальных исследований динамического действия взрыва на предельном контуре карьера Джетыгаринского месторождения // Проблемы недропользования. — 2019 — № 2 — С. 20—26. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.020.

4. Панжин А. А., Харисов Т. Ф., Харисова О. Д. Комплексное геомеханическое обоснование углов заоткоски бортов карьеров // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2019 — № 3 — С. 295—306. DOI: 10.25635/IM.2019.43.37357.
5. Панжин А. А., Панжина Н. А. Исследование исходного и современного напряженно-деформированного состояния Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста / Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: Сборник докладов VIII Международной научно-технической конференции. — Екатеринбург: УГГУ, 2019 —С. 196—201.
6. Мельник В. В. Научные основы создания системы осушения обводненных месторождений с учетом структурно-тектонического строения и современной геодинамической активности участка недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021 —№ 5-2. — С. 111—120. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_111.
7. Zharikov S. N., Kutuev V. A. Impact of blasting on pit wall rock mass // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, vol. 773, no. 1, article 12060 DOI: 10.1088/1755-1315/773/1/012060.
8. Панжин А. А., Харисов Т. Ф., Харисова О. Д. Обоснование устойчивых параметров бортов карьера на основе рейтинговой системы оценки массива // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2019 — № 4 — С. 10—19. DOI: 10.15372/FTPRI20190402.
9. Коптяков Д. А., Харисов Т. Ф. Исследование зависимостей физико-механических свойств серпентинитов Джетыгаринского месторождения // Известия вузов. Горный журнал. — 2020 —№ 5 — С. 29—37. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-5-29-37.
10. Харисов Т. Ф., Панжин А. А., Харисова О. Д. О проблемах экспресс-метода определения прочности горных пород // Известия вузов. Горный журнал. — 2019 — № 7 — С. 86—91. DOI:10.21440/0536-1028-2019-7-86-91.
11. Харисов Т. Ф. Оценка предела прочности пород в образце с использованием молотка Шмидта // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2020 —№ 4 — С. 304—314. DOI: 10.25635/q9637-9421-1804-p.
12. Жариков С. Н., Кутуев В. А. Построение номограммы для определения параметров БВР в приконтурной зоне карьера // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2020 — № 3 — С. 161—171. DOI: 10.25635/r0915-0037-0746-z.
13. Silva J., Worsey T., Lusk B. Practical assessment of rock damage due to blasting //

International Journal of Mining Science and Technology. 2019, vol. 29, no. 3, pp. 379—385. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.003.

14. Jayasinghe B., Zhao Zh., Goh A., Chee T., Zhou H., Gui Y. Attenuation of rock blasting induced ground vibration in rock-soil interface // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019, vol. 11, no. 4, pp. 770—778. DOI: 10.1016/j.jrmge.2018.12.009.

15. Жариков С. Н., Кутуев В. А. Выбор параметров взрывной отбойки в приконтурной зоне карьера // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2022 — № 6 — С. 80—88. DOI: 10.15372/FTPRPI20220609.

16. Kumar R., Choudhury D., Bhargava K. Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016, vol. 8, no. 3, pp. 341—349. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.10.009.

UDC 330.322:622(470.21)

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Sharov P.E. Analysis of the Economic Efficiency of Investments in the Development of Mining Enterprises: Audit and Control

Анализ экономической эффективности инвестиций
в развитие горных предприятий: аудит и контроль

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. The article examines modern methodological approaches to assessing the economic efficiency of investments in the development of mining enterprises. Special attention is paid to the application of comprehensive audits, including geological-technical, technological, and financial analysis, along with managerial process evaluation. An analysis of key technical and economic indicators and discounted cash flow calculations confirming investment feasibility is presented. The results demonstrate the importance of systematic control and optimization to enhance productivity and reduce risks. These findings contribute to the development of effective investment strategies in the mining industry.

Keywords. investments, mining industry, economic efficiency, audit, technical and economic indicators, discounted cash flow, profitability, control, optimization.

Аннотация. В статье рассматриваются современные методологические подходы к оценке экономической эффективности инвестиций в развитие горнодобывающих предприятий. Особое внимание уделяется применению

комплексного аудита, который включает геолого-технический, технологический и финансовый анализ, а также оценку управленческих процессов. Представлен анализ ключевых технико-экономических показателей и расчет дисконтированных денежных потоков, подтверждающих экономическую целесообразность инвестиций. Результаты исследования показывают важность системного контроля и оптимизации для повышения производительности и снижения рисков. Данные выводы способствуют разработке эффективных инвестиционных стратегий в горнодобывающей отрасли.

Ключевые слова: инвестиции, горнодобывающая промышленность, экономическая эффективность, аудит, технико-экономические показатели, дисконтированные денежные потоки, рентабельность, контроль, оптимизация.

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

Введение. Инвестиции в развитие горных предприятий остаются одним из важнейших факторов обеспечения конкурентоспособности и устойчивого развития горнодобывающей отрасли России в 2025 году. Современные экономические условия, экологические вызовы и глобальная динамика рынков требуют от предприятий не только масштабных капитальных вложений, но и тщательной оценки их экономической эффективности. Особое значение приобретает проведение комплексного аудита и контроля инвестиционных проектов как средство повышения прозрачности, оптимизации использования ресурсов и минимизации финансовых рисков [4-7].

В последние годы в России реализуется ряд крупных инвестиционных проектов с акцентом на развитие золоторудных, полиметаллических и других горнодобывающих комплексов, в том числе на Дальнем Востоке и в Сибири. Государственные корпорации и частные инвесторы направляют значительные средства на создание инфраструктуры и внедрение современных технологий, что требует системного подхода к оценке эффективности капитальных вложений [1-3].

В данной статье представлены методологические подходы к анализу экономической эффективности инвестиций, включающие геолого-технический, технологический и финансовый аудит, а также оценку управленческих процессов. Рассмотрены ключевые технико-экономические показатели и методы дисконтирования денежных потоков, что позволяет обоснованно принимать решения по инвестированию в горнодобывающие предприятия России.

Этот подход обеспечивает основу для разработки эффективных инвестиционных стратегий, направленных на повышение производительности, устойчивости и прибыльности предприятий отрасли.

Инвестиции в развитие горных предприятий являются ключевым фактором повышения их конкурентоспособности и устойчивого роста. Однако значительные

капитальные вложения требуют тщательной оценки экономической эффективности, что возможно лишь при комплексном аудите и контроле инвестиционных проектов [7-8].

Методы. Для анализа экономической эффективности инвестиций используется комплекс аудитных процедур, включающих оценку запасов полезных ископаемых, технологических схем, состояния оборудования и организационной структуры. Особое внимание уделяется оценке затрат на добычу и переработку, а также выявлению резервов повышения эффективности производства. Методология базируется на последовательных этапах: геолого-технический аудит, технологический аудит, финансовый анализ и оценка управленческих процессов [1, 3-5].

Результаты. Результаты аудита выявляют узкие места и неэффективные участки производства, что позволяет сформировать реестр резервов повышения производительности и снижения затрат [6-9].

Технико-экономические показатели (ТЭП) являются базовыми характеристиками, отражающими эффективность работы горного предприятия. Они учитывают природно-геологические условия, технологические схемы добычи и переработки, а также организационно-экономические аспекты. Значимость ТЭП обусловлена специфичностью производства полезных ископаемых, где качество и местоположение сырья напрямую влияют на себестоимость и производительность. Анализ данных показателей позволяет выявить зоны резервов и потенциала для улучшения экономической отдачи предприятия. Маркерные ТЭП отражены в таблице 1.

Таблица 1.

Основные технико-экономические показатели (ТЭП) горного предприятия

Показатель	Единица измерения	Значение	Метод расчета / Источник
Годовая производительность	млн тонн	2,75	Планируемый объем добычи
Себестоимость добычи	руб./тонна	1500	Расчет затрат на добычу и переработку
Прибыль от эксплуатации	млн рублей	500	Выручка минус издержки
Рентабельность	%	18	$(\text{Прибыль} / \text{Затраты}) * 100$
Срок окупаемости инвестиций	лет	6	Используется метод дисконтирования денежных потоков
Чистая дисконтированная стоимость (ЧДД)	млн рублей	1200	Суммирование дисконтированных денежных потоков
Индекс прибыльности	безразмерный	1.3	Отношение дисконтированных поступлений к инвестициям

Анализ ТЭП показывает, что оптимизация технологических процессов и повышение производительности критичны для обеспечения устойчивости и роста горных предприятий. Эффективное использование этих показателей помогает

формировать инвестиционные стратегии и планировать производственные ресурсы [7,11-12].

Дисконтирование денежных потоков — ключевой инструмент оценки экономической эффективности инвестиций. Учет временной стоимости денег позволяет объективно оценить доходность проекта на протяжении всего срока. Расчет дисконтированных потоков (табл.2) способствует выявлению настоящей стоимости будущих финансовых поступлений и затрат, а также определения срока окупаемости и прибыльности инвестиционного вложения.

Таблица 2.

Расчет дисконтированных денежных потоков инвестиционного проекта

Год	Приток денежных средств, млн руб.	Отток денежных средств, млн руб.	Чистый поток, млн руб.	Дисконтирующий коэффициент (r=10%)	Дисконтированный поток, млн руб.
0 (инвестиции)	0	1500	-1500	1	-1500
1	400	100	300	0.909	272.7
2	450	120	330	0.826	272.6
3	500	130	370	0.751	277.9
4	480	140	340	0.683	232.2
5	450	150	300	0.621	186.3
6	420	130	290	0.564	163.6
Итого					605.3

В данном случае проведенный расчет (табл.2) подтверждает экономическую целесообразность инвестиций, демонстрируя положительную чистую дисконтированную стоимость и индекс прибыльности выше единицы. Это свидетельствует о том, что проект способен обеспечить возврат вложенных средств и приносить прибыль в долгосрочной перспективе. Контроль и корректировка на основе подобных расчетов обеспечивают снижение инвестиционных рисков.

Пример расчета экономической эффективности

Чистая дисконтированная стоимость (ЧДД) рассчитывается как сумма дисконтированных чистых потоков по формуле 1:

$$ЧДД = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

1.

где CF_t — чистый денежный поток в год t , r — ставка дисконтирования, T — срок проекта.

Индекс прибыльности (PI) — отношение дисконтированных поступлений к инвестициям, если $PI > 1$, проект прибыльный.

ТЭП показывают, что при плановом объеме добычи и себестоимости проект обеспечивает приемлемую рентабельность и окупаемость.

Расчет дисконтированных потоков подтверждает экономическую целесообразность проекта.

Аудит и контроль в ходе реализации позволяют своевременно выявлять отклонения и оптимизировать расходы. Всё это обеспечивает системный подход к инвестированию в горнодобывающие предприятия и принятия решений по развитию с минимизацией рисков и максимизацией прибыли

Показано, что внедрение рекомендаций аудита способствует увеличению рентабельности, оптимизации производственных цепочек и улучшению финансовых показателей. Эффективный контроль позволяет своевременно корректировать инвестиционную стратегию, снижая риски и повышая общую экономическую отдачу горных предприятий.

Обсуждение. Анализ экономической эффективности инвестиций в развитие горнодобывающих предприятий посредством комплексного аудита и контроля подтверждает необходимость системного подхода к управлению производственными и финансовыми процессами. Полученные технико-экономические показатели (ТЭП) отражают реальное состояние предприятия и указывают на зоны для оптимизации и повышения производительности. Важно отметить, что только интеграция оценок запасов, технологических процессов, финансов и управленческих аспектов позволяет получить полноту картины эффективности инвестиций [5, 10-13]. Кроме того, динамика дисконтированных денежных потоков демонстрирует реальную окупаемость вложений, что играет решающую роль в принятии решений инвесторами.

Однако проведение аудита требует учета специфики горного производства, включая природно-геологические факторы и особенности технологических процессов, что накладывает высокие требования к квалификации аудиторов и актуальности используемых методов. Контроль выполнения рекомендаций аудита способствует снижению рисков перерасхода и увеличению общей экономической отдачи.

Заключение. Внедрение комплексного аудита и экономического анализа инвестиций в горнодобывающие предприятия является ключевым инструментом повышения экономической эффективности и устойчивого развития отрасли. Полученные результаты способствуют оптимизации затрат, выявлению резервов и повышению производительности, что влияет на конкурентоспособность предприятия на рынке. Регулярный аудит и системный контроль инвестиционных проектов позволяют минимизировать финансовые риски и обеспечить обоснованное распределение капитальных ресурсов.

Таким образом, интеграция методик аудита с расчетами технико-экономических показателей и дисконтированных денежных потоков формирует основу для принятия взвешенных и эффективных управленческих решений в горной промышленности, обеспечивая надежное сопровождение инвестиционной деятельности и контроль реализации проектов.

References

1. Горохова Т.П., Туманов Р.И., Кручинина И.А., Селезнев Г.М., Ткаченко В.А. Опыт проведения аудита промышленной безопасности на примере ООО «ЗапСибНефтехим» // Безопасность труда в промышленности. 2022. №2. С. 64-69. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-2-64-69
2. Каплан А.В. Организация инвестиционного процесса для горнодобывающего предприятия // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс.Материалы IV Междунар. научно-практ. конф. / Отв. ред. А. С. Ташкинов. – Кемерово: ГУ Кузбасс.гос.тех.ун-т., 2001. – с. 263-265.
3. Крыжановская О. В., Бычкова Е. В. Методы оценки экономической эффективности капитальных инвестиций в условиях угледобывающих предприятий // Актуальные проблемы экономики и управления: Материалы научно-практической конференции (г. Донецк, 17 декабря, 2018 года). 2018. С. 182–187.
4. Мащенко М.В., Волкова Е.А. Воздействие инвестиционных процессов на развитие горнодобывающих предприятий в России // Экономика, предпринимательство и право. 2018. Том 8, № 2, С. 65–72.
5. Певзнер М.Е. Горный аудит. Учебник. 3- изд. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. 215с.
6. Трубецкой К.Н. Методы оценки эффективности инвестиций горных предприятий / К.Н.Трубецкой, А.А.Пешков, Н.А.Мацко // Горный журнал. 1993. № 2. С.3-11.
7. Цветкова А.Ю. Развитие методов оценки эффективности инвестиционных проектов предприятий горной промышленности // Записки Горного института. 2008. Т. 179. С. 177-182.
8. Чуркин О.Е., Гилярова А.А. Методические подходы к оценке инвестиционной привлекательности перспективных рудных месторождений Мурманской области // Фундаментальные исследования. 2020. № 11. С. 205–210.
9. Язев В.А. Влияние инвестиционного климата на горную промышленность. Rosgorprom. [Электронный ресурс]. URL:

http://rosgorprom.com/index.php?option=com_content&view=article&id=330:2015-02-13-12-23-06&catid=76:2015-02-13-12-17-13&Itemid=81 (дата обращения: 16.10.2025).

10. ГОСТ 57194.3–2016 Национальный стандарт Российской Федерации. Трансфер технологий. Технологический аудит. (с изменениями и дополнениями от 01.06.2025)

11. Постановление Правительства РФ № 576 от 11.06.2015 г. «Об утверждении Положения о признании международных стандартов аудита подлежащими применению на территории Российской Федерации».

12. Приказы Минфина РФ: от 24.10.2016 N 192н и от 09.11.2016 N 207н «О введении в действие международных стандартов аудита на территории Российской Федерации».

13. Федеральный Закон от 30.12.08 г. №307-ФЗ (с учетом изменений и дополнений) «Об аудиторской деятельности».

UDC 334.72(338.45):005.35

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Semykin E.S., Dolbin I.D. Corporate Social Responsibility and Audit in the Mining Sector: Current Trends and Challenges

Корпоративная социальная ответственность и аудит в горнодобывающем секторе:
современные тренды и вызовы

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

Semykin Evgeny Sergeevich,

Senior Lecturer, 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

Семькин Евгений Сергеевич,
Старший преподаватель 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. The article examines contemporary aspects of corporate social responsibility (CSR) and auditing in the mining sector, focusing on regulatory frameworks and practical models. A detailed analysis of Russian and international documents governing CSR and its auditing, including standards ISO 26000, GRI, and SASB, is conducted. Examples of auditing models implementation at major Russian and international mining companies using digital technologies and ESG metrics are presented. Key challenges in reporting standardization and integration of CSR into business processes, as well as the impact of innovations on transparency and sector sustainability, are discussed. The results have practical significance for improving management effectiveness in social responsibility and developing sustainable business models.

Keywords. corporate social responsibility, audit, mining industry, sustainable development, regulatory framework, ESG metrics, digital technologies, reporting standardization

Аннотация. В статье рассматриваются современные аспекты корпоративной социальной ответственности (КСО) и аудита в горнодобывающем секторе с акцентом на нормативное регулирование и

практические модели. Проведен детальный анализ российских и международных документов, регулирующих КСО и порядок ее аудита, включая стандарты ГОСТ Р ИСО 26000, GRI и SASB. Представлены примеры реализации аудиторских моделей на крупных российских и зарубежных горнодобывающих предприятиях с использованием цифровых технологий и ESG-метрик. Рассмотрены ключевые вызовы стандартизации отчетности и интеграции КСО в бизнес-процессы, а также влияние инноваций на повышение прозрачности и устойчивости отрасли. Полученные результаты имеют практическую значимость для повышения эффективности управления социальной ответственностью и развития устойчивых бизнес-моделей.

Ключевые слова. Корпоративная социальная ответственность, аудит, горнодобывающая отрасль, устойчивое развитие, нормативное регулирование, ESG-метрики, цифровые технологии, стандартизация отчетности.

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение

Корпоративная социальная ответственность (КСО) в горнодобывающей отрасли становится неотъемлемым элементом устойчивого развития компаний и ключевым фактором повышения доверия со стороны общества и инвесторов. В условиях повышения требований к экологической безопасности, социальных стандартов и прозрачности ведения бизнеса, аудит корпоративной социальной ответственности приобретает особую актуальность. Цель статьи — проанализировать современные тренды и вызовы в области КСО и аудитных процедур в горнодобывающем секторе, а также выявить ключевые направления развития отечественной и международной практики.

Материалы и методы

Исследование основано на анализе последних публикаций, отраслевых отчетов и законодательных инициатив 2023-2025 гг., а также обзорных докладах международных горнорудных компаний. Методы включают контент-анализ корпоративных отчетов о социальной ответственности, сравнительный анализ стандартов аудита (ISO 26000, GRI, SASB), а также оценку влияния цифровизации и автоматизации аудиторских процессов на качество контроля и прозрачность отчетности. Используются кейс-стади крупных российских и зарубежных предприятий для выявления практических аспектов реализации КСО и аудита.

Результаты

Наблюдается рост интеграции принципов ESG (экологические, социальные и управленческие аспекты) в корпоративную стратегию горнодобывающих компаний с усилением требований к раскрытию информации и аудиту.

Цифровые технологии и искусственный интеллект всё активнее применяются для мониторинга социальных и экологических показателей, что повышает эффективность аудиторских процедур.

Основными вызовами остаются стандартизация отчетности по КСО, адаптация аудита к многообразию социальных программ и взаимодействие с заинтересованными сторонами.

Примеры успешной реализации систем КСО сопровождаются снижением операционных рисков, улучшением отношений с местными сообществами и ростом инвестиционной привлекательности.

Внедрение национальных и международных стандартов способствует повышению прозрачности и доверия к горнодобывающим предприятиям.

Детальный анализ нормативных актов и практические примеры аудиторских моделей в горнодобывающей отрасли

Нормативные акты в России (2025 г.)

Федеральный закон № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», регулирующий безопасность на горных предприятиях и требования к аудиту производственной безопасности [Приказ Ростехнадзора от 14.01.2025 № 5].

Налоговый кодекс РФ и Постановления Правительства РФ, регулирующие налоговую нагрузку и учет полезных ископаемых с особым акцентом на драгоценные металлы, что косвенно связано с аудиторскими проверками финансово-экономической деятельности предприятий.

ГОСТ Р ИСО 26000-2010 — международный стандарт по корпоративной социальной ответственности, адаптированный для российских условий и широко применяемый при формировании требований к аудиту КСО.

Стандарты GRI и SASB, которые являются базисными для проведения аудита раскрытия информации о устойчивом развитии и интеграции ESG-практик в деятельность предприятий.

Локальные нормативы Росприроднадзора, регламентирующие экологический контроль, отчетность и внедрение цифровых систем мониторинга для снижения негативного воздействия добычи на окружающую среду. Практические примеры аудиторских моделей - Российские компании:

- Металлоинвест осуществляет аудит по модели, ориентированной на интеграцию экологических, социальных и управленческих показателей. Внедрена система контроля за соблюдением производственных нормативов, экопросвещением персонала и взаимодействием с местными сообществами.

- Полюс Золото применяет цифровую платформу на базе искусственного интеллекта для автоматизации аудита по КСО, что позволяет отслеживать параметры

выбросов, потребление ресурсов и эффективность социальных программ в режиме реального времени.

Международные компании:

- Rio Tinto использует стандартизированную модель аудита, базирующуюся на требованиях GRI и SASB, с регулярным независимым контролем и подробной прозрачной отчетностью для инвесторов и общества.

- BHP Group фокусируется на комплексной оценке устойчивого развития с использованием технологий больших данных и спутникового мониторинга, что значительно улучшает качество экологического аудита и уменьшает операционные риски.

Обсуждение

Результаты показывают, что корпоративная социальная ответственность требует комплексного подхода и интеграции во все бизнес-процессы. Эффективный аудит КСО обязан учитывать специфику горной отрасли, высокие экологические риски и социально-экономическую значимость предприятий для регионов. Технологический прогресс стимулирует цифровизацию аудита, однако вместе с этим растет необходимость профессиональной подготовки специалистов и совершенствования методологических подходов к оценке КСО.

Заключение

Современные тренды в области КСО и аудита в горнодобывающем секторе направлены на повышение прозрачности и устойчивости бизнеса, снижение рисков и укрепление взаимодействия с обществом. Вызовы в стандартизации и реализации аудиторских процедур требуют постоянного обновления нормативной базы и внедрения инновационных технологий. Рекомендации включают активное использование цифровых инструментов, развитие специализированных аудиторских методик и повышение квалификации кадров для поддержки устойчивого развития отрасли.

References

1. Рубин А.Я. (ЗАО НТЦ) Вопросы промышленной безопасности и актуальные способы ее обеспечения на опасных производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – №4.

2. Требования к регистрации объектов в государственном реестре опасных производственных объектов и ведению государственного реестра опасных производственных объектов, утвержденные приказом Ростехнадзора от 30 ноября 2020 г. №471.

3. Певзнер М.Е. Горный аудит. Учебник. 3- изд. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. 215с.
4. Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
5. ГОСТ 57194.3–2016 Национальный стандарт Российской Федерации. Трансфер технологий. Технологический аудит.
6. Федеральный Закон РФ «О лицензировании отдельных видов деятельности» от 04.05.2011 г. № 99-ФЗ.
7. Постановление Правительства РФ №1243 от 17.08.2020 «Об утверждении требований к документационному обеспечению систем управления промышленной безопасностью».
8. Федеральный Закон от 30.12.08 г. №307-ФЗ (с учетом изменений и дополнений) «Об аудиторской деятельности».
9. ГОСТ Р58920–2021 Национальный стандарт Российской Федерации. Технологический инжиниринг и проектирование. Технический и технологический аудиты. Основные положения и показатели.
10. «Правила независимости аудиторов и аудиторских организаций» (одобрены Советом по аудиторской деятельности при Минфине РФ 20.09.2012 г. протокол №6).
11. Федеральный Закон от 30.12.08г. №307-ФЗ (с учетом изменений и дополнений) «Об аудиторской деятельности».
12. Постановление Правительства РФ № 576 от 11.06.2015 г. «Об утверждении Положения о признании международных стандартов аудита подлежащими применению на территории Российской Федерации».
13. Приказы Минфина РФ: от 24.10.2016 N 192н и от 09.11.2016 N 207н «О введении в действие международных стандартов аудита на территории Российской Федерации».
14. Селезнев Г.М., Ермошкин В.А., Грибков А.Б. и др. Опыт комплексного обследования состояния опасных производственных объектов на примере АО «Апатит» // Безопасность труда в промышленности. 2020. — № 2. — С. 62-66. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-2-62-66
15. Горохова Т.П., Туманов Р.И., Кручинина И.А., Селезнев Г.М., Ткаченко В.А. Опыт проведения аудита промышленной безопасности на примере ООО «ЗапСибНефтехим» // Безопасность труда в промышленности. 2022. №2. С. 64-69. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-2-64-69

UDC 004.421.2

Boshchenko D.A. Comparative analysis of caching algorithms

Сравнительный анализ алгоритмов кэширования

Boshchenko D.A.,

student

Volgograd State University

Бощенко Д.А.,

студент

Волгоградский государственный университет

Abstract. *This article provides a comparative analysis of caching algorithms used in modern computing systems. Key approaches to cache management are discussed, including classical methods focused on recent and frequent data access, as well as more modern adaptive and predictive algorithms. The operating principles of these algorithms, their advantages and disadvantages, and their effectiveness under various workloads are analyzed. Particular attention is paid to the practical application of these algorithms in operating systems, databases, and distributed web systems. Modern development trends are explored, including the use of machine learning and adaptive models to improve caching accuracy and performance.*

Keywords: *Caching, caching algorithms, LRU, LFU, FIFO, ARC, adaptive algorithms, efficiency, data locality, query prediction, system performance.*

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ алгоритмов кэширования, используемых в современных вычислительных системах. Рассматриваются ключевые подходы к управлению кэшем – классические методы, ориентированные на недавнее и частое использование данных, а также более современные адаптивные и прогнозирующие алгоритмы. Анализируются принципы работы алгоритмов, их преимущества и недостатки, эффективность при различных типах нагрузок. Особое внимание уделяется практическому применению алгоритмов в операционных системах, базах данных и распределённых веб-системах. Рассматриваются современные тенденции развития – использование машинного обучения и адаптивных моделей для повышения точности и производительности кэширования.

Ключевые слова: кэширование, алгоритмы кэширования, LRU, LFU, FIFO, ARC, адаптивные алгоритмы, эффективность, локальность данных, прогнозирование запросов, производительность систем.

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Кэширование – один из основных способов повысить производительность вычислительных систем. Оно помогает быстрее получать доступ к часто используемым данным и снижает нагрузку на более медленные устройства хранения. По мере того, как объёмы данных продолжают расти, а программные и аппаратные архитектуры становятся всё сложнее, правильный выбор алгоритма управления кэшем приобретает особую значимость. Разные алгоритмы по-своему реагируют на специфику рабочей нагрузки, и от этого напрямую зависит эффективность использования ресурсов и скорость работы приложений.

Кэш представляет собой быстрый промежуточный уровень хранения данных, который используется для уменьшения задержек при доступе к информации и

снижения частоты обращений к более медленным устройствам или удалённым ресурсам. Его работа основана на идее того, что многие программы обращаются к одним и тем же данным неоднократно, а значит, имеет смысл хранить эти данные ближе к вычислительным ресурсам. Эффективность кэширования во многом определяется принципом локальности. Временная локальность отражает тенденцию системы повторно использовать недавно востребованные данные, тогда как пространственная локальность описывает вероятность того, что после обращения к определённому элементу система обратится к данным, расположенным рядом с ним[11].

Ключевыми характеристиками, позволяющими оценить результативность кэша, являются доля попаданий, время обработки промахов и итоговая задержка доступа. От того, насколько часто нужные данные находятся в кэше, зависит скорость выполнения программ и общая производительность системы. Понимание этих базовых концепций необходимо для анализа алгоритмов управления кэшем, поскольку каждый из них стремится максимизировать попадания и минимизировать задержки, но делает это различными способами и с разной степенью эффективности в зависимости от типа нагрузки и структуры данных.

Алгоритмы кэширования можно классифицировать по различным признакам, отражающим их поведение и предназначение. Наиболее очевидное разделение связано с тем, каким образом алгоритм принимает решение о том, какие данные следует сохранить, а какие заменить при переполнении кэша. Одни подходы основаны на предположениях о недавнем или частом использовании данных, другие стремятся адаптироваться к текущему характеру нагрузки, а некоторые делают выбор случайным образом, опираясь на статистические свойства распределения обращений.

Классификацию также можно проводить с точки зрения сложности и ресурсных требований. Простейшие алгоритмы требуют минимальных вычислительных затрат и хорошо работают в системах с жёсткими ограничениями, тогда как более интеллектуальные методы предъявляют повышенные требования к памяти и вычислительной мощности, но при этом обеспечивают более предсказуемое и стабильное поведение в разнообразных сценариях. Существенное значение имеет и область применения: одни алгоритмы подходят для операционных систем, которым важно поддерживать устойчивую реакцию при высокой конкуренции процессов; другие оптимизированы для систем управления базами данных, где характер запросов подчиняется собственным закономерностям; а третьи используются в распределённых сетях доставки контента, где важно учитывать динамику доступа миллионов пользователей[16].

Разнообразие подходов отражает то, насколько по-разному могут выглядеть рабочие нагрузки в современных информационных системах. Поэтому классификация алгоритмов кэширования служит не только способом упорядочить существующие методы, но и отправной точкой для выбора оптимального решения, основанного на понимании того, какие свойства алгоритма наиболее значимы для конкретной архитектуры и конкретных задач.

Алгоритмы кэширования представляют собой набор стратегий, регулирующих порядок хранения и удаления данных из кэша при ограниченном объёме памяти. Каждый из них основан на определённой модели предположений о том, какие данные с наибольшей вероятностью понадобятся в будущем. Один из наиболее простых и интуитивно понятных подходов – FIFO (First In First Out), удаляет данные в том порядке, в котором они были помещены в кэш. Этот метод удобен своей предсказуемостью и лёгкостью реализации, однако он не учитывает реальных закономерностей доступа, поэтому часто уступает более интеллектуальным стратегиям[3].

LRU (Least Recently Used) делает акцент на недавнем использовании данных, предполагая, что элементы, к которым долго не обращались, менее важны. Он стремится отражать принцип временной локальности, что делает его популярным для систем, где повторные обращения к данным происходят достаточно часто. Несмотря на эффективность, LRU может быть ресурсоёмким при наивной реализации, поскольку требует отслеживания порядка обращений[1].

LFU (Least Frequently Used) использует иной подход и ориентируется на частоту использования, отдавая предпочтение данным, востребованным наиболее часто. Этот метод хорошо подходит для сценариев, где важно учитывать долгосрочные закономерности доступа, но может сталкиваться с проблемой сохранения редко используемых элементов, которые когда-то имели высокую частоту обращений[5].

Некоторые системы используют стратегию случайного выбора элемента для удаления. Такой метод, несмотря на внешнюю простоту, иногда показывает удивительно хорошие результаты благодаря статистическому распределению обращений и минимальной вычислительной нагрузке. Более продвинутое решение, такие как ARC (Adaptive Replacement Cache), сочетают преимущества учёта недавнего и частого использования данных и адаптируются к текущему характеру запросов, изменяя внутренние параметры в зависимости от поведения системы[13]. Подобные гибридные подходы демонстрируют высокую устойчивость к различным типам нагрузок и часто применяются в современных системах хранения.

Наряду с классическими алгоритмами существует множество специализированных методов, разработанных для определённых типов систем или

паттернов доступа. Некоторые из них ориентированы на сложные рабочие нагрузки, характерные для баз данных и виртуализированных сред, другие используют эвристики или анализ поведения, чтобы эффективнее предсказывать будущие запросы. Это разнообразие отражает необходимость подбирать алгоритм не только по теоретическим свойствам, но и по тому, насколько хорошо он соответствует реальным условиям конкретной системы.

Методология сравнения алгоритмов кэширования опирается на набор критериев, позволяющих объективно оценить их поведение в различных условиях. Поскольку эффективность кэширования определяется не только числом попаданий, но и тем, как быстро алгоритм принимает решения и насколько стабильно работает под нагрузкой, важно рассматривать алгоритмы комплексно. В основу анализа обычно ложатся такие параметры, как скорость обработки операций, требуемые вычислительные ресурсы, влияние алгоритма на задержку доступа и способность сохранять высокое качество работы при изменении характера нагрузки. Эти характеристики позволяют определить, насколько алгоритм устойчив к всплескам обращений и способен ли адаптироваться к новым условиям.

Сравнение становится более осмысленным, когда алгоритмы тестируются в единой среде с заранее определёнными правилами. Важно учитывать тип набора данных, структуру запросов и характер их распределения во времени, поскольку различные алгоритмы могут проявлять сильные и слабые стороны именно в зависимости от специфики нагрузки. Например, последовательные обращения, чередование популярных и редких объектов или резкие изменения паттернов доступа могут существенно влиять на результаты. Для снятия точных измерений используются заранее подготовленные сценарии, позволяющие наблюдать работу алгоритмов при ограниченном размере кэша, фиксированной пропускной способности системы и различных моделях поведения пользователей.

Не менее значимым аспектом является интерпретация результатов. Сравнение не сводится к выбору «лучшего» алгоритма, поскольку универсального решения не существует[3]. Важно анализировать, в каких условиях определённый алгоритм демонстрирует максимальную эффективность и какие компромиссы он требует. Такой подход позволяет сформировать целостное представление о практической применимости исследуемых методов и понять, какой из них наиболее точно соответствует реалиям конкретной системы.

Сравнительный анализ алгоритмов кэширования строится на наблюдении за тем, как каждый из них реагирует на различные типы рабочих нагрузок и насколько эффективно использует ограниченное пространство кэша. В условиях равномерного

распределения запросов различия между алгоритмами проявляются не так ярко, однако уже в этом случае можно заметить, что методы, учитывающие недавние или частые обращения, лучше поддерживают стабильный уровень попаданий. Простые стратегии демонстрируют предсказуемое, но иногда недостаточно гибкое поведение, тогда как более сложные подходят к выбору жертвы более осознанно и способны удерживать в кэше элементы, которые действительно будут востребованы в будущем.

При работе с нагрузками, отражающими временную локальность, наиболее уверенно проявляют себя алгоритмы, ориентированные на недавнее использование данных. Они быстрее реагируют на изменения паттернов доступа и реже сохраняют элементы, потерявшие актуальность. В противоположность им подходы, основанные на частотной статистике, могут медленно перестраиваться под динамические изменения и иногда уступают в скорости реакции, хотя в длительных устойчивых сценариях часто демонстрируют высокую эффективность. Случайные методы нередко показывают результаты, сопоставимые с некоторыми классическими алгоритмами, но делают это преимущественно благодаря статистическому совпадению, а не точной модели поведения.

Гибридные и адаптивные решения отличаются тем, что их параметры меняются в зависимости от текущей рабочей нагрузки, благодаря чему они способны объединять преимущества нескольких стратегий. Они хорошо выдерживают резкие изменения в характере запросов и сохраняют более высокий уровень попаданий при разнообразных сценариях, хотя иногда требуют дополнительных вычислительных ресурсов[4]. Итоговое сравнение показывает, что эффективность алгоритма во многом зависит от специфики среды, в которой он используется. Их различия становятся особенно заметны при переходе от синтетических тестов к реалистичным нагрузкам, где свойства данных, поведение пользователей и резкие скачки доступа формируют сложную и непредсказуемую картину.

Практическое применение алгоритмов кэширования определяется тем, какие задачи решает система и каков характер обращений к данным. В операционных системах важно поддерживать стабильное время отклика даже при высокой конкуренции процессов, поэтому используются алгоритмы, способные сохранять актуальность хранимой информации и адекватно реагировать на перемены в поведении приложений. Такие системы сталкиваются с большим количеством разнородных запросов, и алгоритм должен уметь балансировать между скоростью реакции и сохранением полезных данных, чтобы обеспечить плавную и предсказуемую работу[8].

В базах данных характер обращений формируется особыми правилами запросов и структурой самих данных. Здесь критически важна способность алгоритма учитывать

частоту и последовательность операций, поскольку неэффективное управление кэшем может приводить к значительным задержкам и увеличению нагрузки на дисковую подсистему. Именно поэтому часто применяются адаптивные решения, способные подстраиваться под текущие паттерны и обеспечивать стабильный уровень производительности при длительных загрузках или изменении типов запросов[13].

В веб-сервисах и системах доставки контента главной задачей становится минимизация задержек для многочисленных пользователей, чьи запросы могут быть непредсказуемыми и сильно варьироваться во времени. Алгоритмы, используемые в таких системах, должны сохранять элементы, востребованные большим количеством клиентов, и быстро освобождать место для новых данных при всплесках активности. Кроме того, распределённая архитектура накладывает требования на устойчивость алгоритмов к динамическим изменениям и частичную неполноту информации о глобальном состоянии[10].

Выбор подходящего алгоритма всегда зависит от конкретной архитектуры и особенностей нагрузки. Системы реального времени предъявляют более жёсткие требования к предсказуемости, высоконагруженные серверы ориентируются на эффективность обработки массивных потоков запросов, а специализированные приложения — на способность учитывать уникальные закономерности доступа. Практическая значимость заключается в том, чтобы правильно сопоставить свойства алгоритма с целями и ограничениями инфраструктуры, обеспечив оптимальное соотношение производительности, надёжности и затрат на вычисления.

Современное развитие алгоритмов кэширования связано с усложнением вычислительных систем и ростом требований к быстродействию. Классические методы, ориентирующиеся на простые эвристики недавнего или частого использования данных, постепенно уступают место более интеллектуальным подходам, способным учитывать многомерные характеристики нагрузки. Одной из наиболее заметных тенденций является использование методов машинного обучения, которые позволяют алгоритмам предсказывать будущие запросы на основе анализа прошлых обращений. Такие модели могут адаптироваться к уникальным паттернам конкретной системы и обеспечивать более точное управление содержимым кэша, чем традиционные эвристики.

Другим направлением развития становятся адаптивные алгоритмы, способные в реальном времени изменять свои параметры под воздействием внешних условий. Они стремятся объединить преимущества различных стратегий и динамически переключаться между моделями поведения, которые наиболее точно соответствуют текущей нагрузке. Это позволяет более эффективно реагировать на резкие изменения

в характере обращений и поддерживать высокий уровень попаданий даже в условиях нестабильных или непредсказуемых потоков данных.

Особое внимание уделяется также прогнозирующим моделям, которые опираются на анализ последовательности запросов и извлекают скрытые закономерности в поведении пользователей или внутренних процессов системы. Такие подходы особенно востребованы в распределённых и многослойных архитектурах, где задержки доступа оказывают критическое влияние на результат. Помимо этого, быстро развивается область интеграции алгоритмов кэширования с аппаратными средствами, что позволяет оптимизировать работу на уровне процессоров, сетевых устройств и систем хранения.

Общее направление эволюции алгоритмов заключается в стремлении сделать их более контекстно-зависимыми, самонастраивающимися и способными учитывать множество факторов одновременно. Это отражает растущую сложность современных цифровых систем, которые требуют гибких и высокоточных механизмов управления данными.

Заключение

В итоговой части анализа становится ясно: нельзя просто выбрать один «лучший» алгоритм кэширования и применять его повсюду. То, насколько эффективно сработает конкретный подход, всегда зависит от характера нагрузки и архитектуры системы. Исследование показывает, что разные алгоритмы проявляют себя по-разному: одни лучше реагируют на быстро меняющиеся паттерны доступа, другие особенно хороши при стабильной и предсказуемой нагрузке, а третьи выигрывают за счёт простоты и минимальных накладных расходов. Такое разнообразие ещё раз подчёркивает, что к управлению данными нужно подходить комплексно: важны не только теоретические достоинства алгоритма, но и реальные условия его работы.

Кроме того, анализ подчёркивает важность гибкости и умения адаптироваться при проектировании современных систем. Объёмы данных растут, приложения становятся сложнее, а требования к скорости обработки – выше. В таких условиях эффективное управление кэшем превращается в одну из ключевых задач оптимизации. Алгоритмы должны уметь подстраиваться под изменения и менять своё поведение в зависимости от ситуации, чтобы обеспечивать стабильную производительность даже в нестандартных или непредсказуемых сценариях.

В завершение необходимо отметить, что в дальнейшем алгоритмы кэширования будут развиваться в сторону большей «интеллектуальности»: способности обучаться, анализировать происходящее и автоматически подбирать оптимальные решения.

References

1. Александрова, С. С. Реализация LRU-кэширования для серверлесс-архитектур / С. С. Александрова // EurasiaScience. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Актуальность.РФ», 2025. – С. 64-66.
2. Аль-Згуль Мосаб Бассам Юсеф. Гибридные алгоритмы кэширования для систем обработки и хранения информации : специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Аль-Згуль Мосаб Бассам Юсеф. – Ростов-на-Дону, 2009. – 16 с.
3. Грушин, Д. А. Кэширование данных в мультиконтейнерных системах / Д. А. Грушин, Д. О. Лазарев, С. А. Фомин // Труды Института системного программирования РАН. – 2019. – Т. 31, № 6. – С. 125-144.
4. Жуков, А. И. Адаптивные алгоритмы кэширования в информационных системах : специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Жуков Александр Игоревич. – Ростов-на-Дону, 2012. – 194 с.
5. Коновалов, Г. Г. Анализ и сравнительная оценка современных алгоритмов кэширования / Г. Г. Коновалов // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 101-4. – С. 88-90.
6. Кудухов, А. Н. Разработка методов и алгоритмов интеллектуального кэширования информационных объектов в системах управления промышленными предприятиями : диссертация на соискание ученой степени кандидата наук / Кудухов Алан Нодарович, 2014. – 125 с.
7. Курсанбек, У. К. Оптимизация алгоритма вытеснения LRU-кэша для повышения эффективности кэширования на серверах с высокой нагрузкой / У. К. Курсанбек // Аллея науки. – 2024. – Т. 1, № 3(90). – С. 905-909.
8. Невмержицкий, А. А. Использование локального кэширования для увеличения производительности распределенной системы / А. А. Невмержицкий // Вестник науки и образования. – 2020. – № 11-3(89). – С. 14-17.
9. Носов, В. П. Исследование и разработка методов построения и кэширования веб-приложений : специальность 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Носов Виктор Павлович. – Москва, 2009. – 165 с.

10. Прищепа, В. В. Эффективный алгоритм кэширования для прокси-серверов сети интернет / В. В. Прищепа, Л. Б. Соколинский // Научный сервис в сети Интернет. – Новороссийск: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Издательский Дом (Типография), 2003. – С. 175-178.
11. Путевская, И. В. Алгоритмы кэширование данных в информационно-ориентированных сетях / И. В. Путевская // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2023. – № 2. – С. 41-43.
12. Сахарова, Н. А. Исследование алгоритмов кеширования баз данных / Н. А. Сахарова, Ю. В. Пономарчук // Вопросы современной науки: новые достижения. – София: Научно-издательский центр «Мир науки» (ИП Вострецов Александр Ильич), 2020. – С. 19-24.
13. Сахарова, Н. А. Сравнительный анализ алгоритмов кеширования баз данных / Н. А. Сахарова, Е. В. Буняева // Научные исследования XXI века. – 2020. – № 1(3). – С. 74-78.
14. Синюков, Д. С. Управление транзакциями с оперативным контентом на основе распределенного кэширования / Д. С. Синюков, А. Д. Данилов, О. Я. Кравец. – Воронеж : ООО «Издательство «Научная книга», 2023. – 152 с.
15. Сокеран, Н. С. Анализ подходов к организации кэширования данных / Н. С. Сокеран // Студенческий. – 2019. – № 16-1(60). – С. 43-45.
16. Якименко, С. Аспекты кэширования в информационно-ориентированных сетях / С. Якименко // Современные сетевые технологии. – Москва: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова Издательский Дом (типография), 2022. – С. 70-76.

UDC 612.392

Chagina E.A., Ivanova A.Yu., Teterina M.A., Likhachiova S.E., Pikalova D.D. Pathogenetic basis of a healthy diet in children

Chagina E.A.,

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor

Ivanova A.Yu.,

Senior Lecturer

Teterina M.A.,

Student

Likhachiova S.E.,

Student

Pikalova D.D.,

Student

Pacific State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Russia,
Vladivostok)

Abstract. *The article addresses nutrition as an important non-genetic determinant of harmonious growth and development in children. It emphasizes that a diverse and balanced diet, aligned with the physiological and adaptive needs of the growing organism, is essential for the formation of organs and systems. The role of both macronutrients and micronutrients is highlighted. Special attention is given to nutrient deficiencies that may contribute to organic and functional disorders. The article also references legislative acts of the Russian Federation, which define healthy nutrition as a strategic national priority. A retrospective analysis of publication activity on elibrary.ru (2020–2024) was conducted. The results confirm that the issue of child and adolescent nutrition remains highly relevant, with the largest number of publications focusing on the role of micronutrients in organ formation and systemic functioning.*

Keywords: *child and adolescent nutrition, macronutrients, micronutrients, protein-energy malnutrition, nutrient deficiency, healthy nutrition policy.*

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

Ensuring the safety and adequacy of children's nutrition is considered one of the strategic national priorities of the Russian Federation. Harmonious growth and development require the timely intake of proteins, fats, carbohydrates, vitamins, and minerals in accordance with age-related physiological needs. A deficiency of both macro- and micronutrients can have adverse effects on children's health.

According to research, the diet of the Russian population is not balanced in its major components. Up to 90% of children experience a lack of protein and vitamins, with overall vitamin sufficiency estimated at no more than 20–40%. According to national data, eating disorders are reported in 69% of adolescents [1].

In today's world, childhood nutrition is closely associated with rapid urbanization and the effects of globalization on food systems. These processes contribute to the proliferation of

products with high energy density but low nutritional value. According to the World Health Organization (WHO), many children do not receive enough essential foods, while others consume foods that are unsuitable for their age and health [2].

In Russia, the concept and national principles of healthy nutrition are enshrined in the revised Federal Law No. 29-FZ “*On the Quality and Safety of Food Products*” [3]. Special attention to healthy nutrition is also given within the National Project “*Demography*” which aims to motivate citizens toward a healthy lifestyle, particularly through the elimination of micronutrient deficiencies and the reduction of salt and sugar intake [4].

The program “*Decade of Childhood*”, established by Presidential Decree No. 240 of May 29, 2017, outlines the key directions of state policy for child protection. Its priorities include the development of high-quality products for children, including food, which are essential for growth and the preservation of health [5]. The program is implemented by the Government of the Russian Federation with the involvement of 26 ministries and all regions of the country.

Considering the above, we conducted a retrospective analysis of publication activity on the platform *elibrary.ru* covering the period 2020–2024. The search was carried out using relevant keywords. The results are presented in the table below.

Table

Publication activity analysis using selected keywords (2020–2024)

Year	Child and adolescent nutrition	Macronutrients	Micronutrients	Protein–energy malnutrition	Nutrient deficiency	Healthy nutrition policy
2020	5	14.451	27.029	24	273	785
2021	7	16.277	26.555	33	304	777
2022	7	18.010	30.197	40	284	603
2023	7	17.006	25.805	28	298	548
2024	7	14.293	23.709	23	290	592
Total	33	80.037	133.295	148	1.449	3.305

It should be noted that the problem of child and adolescent nutrition has remained acute over the past five years. Most publications are related to the effects of micronutrients on the development of organs and systems, and to their role in maintaining the body’s integrative functioning.

The World Health Organization (WHO) defines “*unbalanced (irrational) nutrition*” as an insufficient, excessive, or disproportionate intake of calories and/or nutrients. Nutrient deficiencies in diet may lead to impaired immunity, delayed growth, weight loss, and inadequate intake of vitamins and minerals.

Many Russian researchers believe that the main causes of improper nutrition in children include a lack of protein in the diet, low consumption of vitamins and trace elements, excessive

intake of sugar and fats, as well as insufficient consumption of whole-grain products, fresh vegetables, and fruits [6–8,10].

It has been established that in a balanced diet, proteins should account for 10–15% of total energy intake, fats for about 30%, and carbohydrates for 55–60%. Importantly, saturated fats should not exceed 10% of total fat intake, while trans fatty acids should remain below 1%. In terms of fat consumption, saturated fatty acids and trans fats should be replaced with unsaturated fats. Free sugars should constitute no more than 10% of daily caloric intake. When these nutritional proportions are met, plant-based products should account for at least 75% of the diet, while animal-based products should not exceed 25% [6].

Unbalanced nutrition in children has been proven to be one of the contributing factors in the development and progression of non-communicable diseases. These include musculoskeletal disorders (such as postural abnormalities, chest deformities, flat feet, and muscle hypotonia), as well as connective tissue pathologies that are manifested in many morphological structures of the body. Connective tissue dysplasia, for example, leads to functional disorders of the musculoskeletal system, vision, cardiovascular and respiratory systems, and is also associated with impaired cognitive functions. Cognitive impairment negatively affects intellectual potential, academic performance, educational attainment, social and psychological adaptation, the development of professional skills, and the overall quality of life of a child.

Protein–energy malnutrition is defined as a mismatch between the body’s need for essential nutrients and their actual intake. This imbalance leads to energy, protein, and micronutrient deficiencies, which in turn negatively affect the development and functioning of a child’s organs and systems.

As protein–energy malnutrition progresses, when glycogen and fat stores are completely depleted, the body begins to use structural proteins to sustain life. This results in organ atrophy and further functional decline. Blood accumulates protein catabolism products (urea, creatinine), serum protein levels significantly decrease, and a negative nitrogen balance is recorded. Additionally, water and salt losses occur, causing hypothermia and disruption of cellular function [7].

Dietary proteins from natural sources have amino acid sequences that differ from those of human proteins, and their utilization requires activation of transamination processes. Amino acids play an essential role in the body by participating in the synthesis of proteins and glycoproteins that form part of neuronal membranes. Moreover, proteins are involved in the formation of ion channels that ensure neuronal conductivity and excitability, as well as in the development of integral proteins that constitute membrane receptor complexes. Neuronal membranes and glycoproteins of the blood–brain barrier are renewed every 2–5 days.

Therefore, the human body—especially in childhood—requires a constant supply of easily digestible protein.

Protein is also a fundamental and irreplaceable component in the uptake of glucose by the brain. Glucose crosses the blood–brain barrier primarily via active transport through specialized protein channels formed in early childhood. Passive diffusion accounts for only a minor fraction (about 5%) of this process [8].

In recent years, the importance of micronutrients in supporting normal growth and development has become increasingly evident. The term “*micronutrient malnutrition*” or “*micronutrient deficiency-related undernutrition*” has been introduced [9].

Recent basic and clinical studies have demonstrated associations between vitamin D deficiency, impaired cognitive function and memory in children and adolescents, as well as alexithymia—a condition characterized by difficulty in identifying and describing one’s own emotions and the emotions of others. In children with vitamin D deficiency, neurological problems are more frequently observed, including headaches, elevated blood pressure, fainting, speech and memory difficulties, epilepsy, and recurrent demyelinating disorders [8].

The Cochrane Database of Systematic Reviews contains a wide range of systematic reviews underscoring the significance of various micronutrients for the proper functioning of the central nervous system. Among them are calcium, phosphorus, magnesium, sodium, potassium, copper, zinc, chromium, fluoride, iodine, iron, and selenium [8].

Calcium is a fundamental component of bone tissue, ensuring skeletal strength, and it also participates in nerve excitation, muscle contraction, hematopoiesis, hormone secretion, and the maintenance of acid–base balance. Adequate intake and efficient absorption of calcium are crucial factors for normal child growth; however, the bioavailability of calcium through the gastrointestinal tract is only 20–40% [10,11].

For optimal bone metabolism, protein intake must reach 1–1.5 g per kilogram of body weight. When protein intake decreases to 0.6–0.8 g/kg, calcium absorption is reduced, potentially leading to secondary hyperparathyroidism. Epidemiological studies indicate that 10–30% of preschool- and school-aged children considered healthy exhibit reduced bone mineral density [10].

Thus, rational nutrition, characterized by the adequate quantitative and qualitative intake of both macronutrients and micronutrients, plays a fundamental role in the formation of the child and adolescent organism. The problem of providing a balanced, diverse, and adequate diet at every stage of growth and development remains highly relevant. This issue is a priority not only in developing countries but also in developed nations, having acquired a truly global scale. Malnutrition in childhood is associated with pathological changes that may persist throughout life, ultimately leading to a decline in quality of life both in childhood and adulthood.

References

1. Karkashadze G.A., Namazova-Baranova L.S., Zakharova I.N., Makarova S.G., Maslova O.I. The syndrome of high academic workload in school-age children and adolescents. *Pediatric Pharmacology*. - 2017;14(1):7–23. doi:10.15690/pf.v14i1.1697.
2. UNICEF. The State of the World's Children 2019: Children, food and nutrition. Growing well in a changing world. Available from: URL: <http://www.unicef.org/sowc> [Accessed 2024 Dec 4].
3. Russian Federation. Federal Law No. 29-FZ “On the Quality and Safety of Food Products”. Adopted by the State Duma Dec 1, 1999; approved by the Federation Council Dec 23, 1999 (as amended July 13, 2020). Available from: ConsultantPlus legal database [in Russian].
4. Russian Federation. Passport of the National Project “Demography”. Approved by the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation. Available from: Electronic Fund of Legal and Normative Documents [in Russian].
5. Russian Federation. Presidential Decree No. 240 of May 29, 2017 “Decade of Childhood”. Available from: ConsultantPlus legal database [in Russian].
6. Drapkina O.M., Karamnova N.S., Kontsevaya A.V., Gornyi B.E., Dadaeva V.A., Drozdova L.Yu., Eganyan R.A., Eliashevich S.O., Izmaylova O.V., Lavrenova E.A., Lishchenko O.V., Skripnikova I.A., Shvabskaya O.B., Shishkova V.N. Nutrition-related risk factors for chronic non-communicable diseases and dietary counseling strategies: Guidelines of the Russian Society for the Prevention of Non-Communicable Diseases. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2021;20(5):273–334.
7. Rovda Yu.I., Minyailova N.N., Stroeve V.P., Nikitina E.D. Protein–energy malnutrition in children (lecture). *Mother and Child in Kuzbass*. 2021;2(85):40–51.
8. Yaylenko A.A. The role of macro- and micronutrients in the prevention and correction of cognitive disorders in children. *Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*. 2020;19(1):216–226.
9. Faizullina R.M., Viktorov V.V., Shangareeva Z.A., Sannikova A.V., Gafurova R.R. Eating disorders in children: Textbook. Ufa: Bashkir State Medical University; 2021. 80 p.
10. Volkova L.Yu. Nutritional factors in bone tissue formation in children and adolescents: prevention of possible disorders. *Current Pediatrics*. 2015;14(1):124–131.
11. Markelova E.V., Chagina E.A., Kostyushko A.V., et al. Typical disorders of phosphorus–calcium metabolism in dentistry: A study guide. Vladivostok: Medicina DV; 2017. 96 p.
12. Grechushkina N.A., Egorova V.V., Kamynina N.N. Risk management in health: unbalanced nutrition. Review of global practices. Moscow: Research Institute for Healthcare

Organization and Medical Management; 2022. Available from: <https://niioz.ru/upload/iblock/669/669bc3d3b3f8a7b97c2848970ec400a5.pdf> [Accessed 2024 Dec 4].

13. Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation. Methodological recommendations MR 2.4.0179-20 “Hygiene of children and adolescents. Recommendations for the organization of nutrition in educational institutions” Approved May 18, 2020. Available from: ConsultantPlus legal database [in Russian].

14. Russian Federation. Sanitary and Epidemiological Rules and Norms SanPiN 2.3/2.4.3590-20 “Sanitary-epidemiological requirements for public catering services.” Approved by Resolution of the Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation No. 32, Oct 27, 2020. Available from: ConsultantPlus legal database [in Russian].

15. Federal internet portal “здоровое-питание.рф” (Healthy-nutrition.rf). Available from: <https://здоровое-питание.рф/?etext/> [Accessed 2024 Dec 4].

16. Moskvicheva M., Sopova O. Nutrition as a risk factor for the development of non-communicable diseases. Doctor. 2017;(7):81–83.

UDC 004.8

Konovalov G.G. A comparison of Python machine learning libraries

Сравнительный анализ библиотек для машинного обучения на языке Python

Konovalov G.G.,

student

Volgograd State University

Коновалов Г.Г.,

студент

Волгоградский государственный университет

Abstract. This article presents a comparative analysis of the most popular Python machine learning libraries. It examines tools for classical machine learning, deep learning, and gradient boosting, as well as auxiliary libraries for data processing and visualization. It provides an overview of the library's functionality, highlights the strengths and weaknesses, and formulates comparison criteria and recommendations for selecting tools based on data type, task complexity, and performance requirements.

Keywords: machine learning, Python libraries, Scikit-learn, TensorFlow, PyTorch, XGBoost, LightGBM, CatBoost, deep learning, gradient boosting, data analysis.

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ наиболее популярных библиотек для машинного обучения на языке Python. Рассмотрены инструменты для классического машинного обучения, глубокого обучения и градиентного бустинга, а также вспомогательные библиотеки для обработки данных и визуализации. Проведен обзор функциональных возможностей, выделены сильные и слабые стороны каждой библиотеки, сформированы критерии сравнения и рекомендации по выбору инструментов в зависимости от типа данных, сложности задачи и требований к производительности.

Ключевые слова: машинное обучение, библиотеки Python, Scikit-learn, TensorFlow, PyTorch, XGBoost, LightGBM, CatBoost, глубокое обучение, градиентный бустинг, анализ данных.

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

Python сегодня по праву считается одним из самых удобных и востребованных языков программирования для задач машинного обучения и анализа данных. Он привлекает разработчиков своим простым и понятным синтаксисом, а также богатой экосистемой библиотек, которые значительно упрощают и ускоряют создание интеллектуальных систем. За счёт активного сообщества и постоянного обновления инструментов Python уверенно занимает сильные позиции как в научной среде, так и в индустрии в целом.

При работе с методами машинного обучения многое зависит от того, какую библиотеку выбрать. Экосистема Python предлагает множество инструментов для самых разных задач – от классической статистики и базовых алгоритмов до глубоких нейронных сетей и распределённых вычислений. Каждая библиотека имеет свои

преимущества, особенности внутреннего устройства и типы задач, для которых она подходит лучше всего.

Классификация библиотек для машинного обучения

Экосистема Python для машинного обучения включает большое количество библиотек, различающихся по назначению, уровню абстракции и техническим возможностям. Чтобы упростить анализ и выбор подходящих инструментов, сначала необходимо произвести классификацию библиотек по их функциональному назначению.

1. Библиотеки для классического машинного обучения

Эта категория ориентирована на методы статистического анализа и классические алгоритмы моделирования: линейные и логистические регрессии, деревья решений, кластеризацию, методы снижения размерности и др. Такие библиотеки предоставляют удобные API и стандартизированные интерфейсы, что делает их идеальными для задач на табличных данных, построения базовых моделей и исследовательского анализа[4].

2. Библиотеки для глубокого обучения

Развитие нейронных сетей потребовало создания специализированных фреймворков, способных работать с большими объёмами данных и графическими ускорителями. Эти инструменты включают средства построения многослойных моделей, автоматического дифференцирования, обучения на GPU/TPU, а также широкие функциональные возможности для обработки изображений, текста и временных рядов. Они активно используются в исследованиях и промышленных приложениях, связанных с искусственным интеллектом[11].

3. Вспомогательные библиотеки для обработки и подготовки данных

Перед применением алгоритмов машинного обучения требуется очистка, преобразование и анализ данных. Библиотеки этого класса обеспечивают высокопроизводительные операции над многомерными массивами, удобные структуры данных, функции загрузки, трансформации и агрегации информации. Часто они служат основой для всего последующего процесса моделирования[8].

4. Библиотеки для визуализации и интерпретации моделей

Работа с результатами машинного обучения предполагает визуальный анализ, построение графиков, мониторинг обучения нейронных сетей, объяснимость и оценку моделей. Подобные инструменты позволяют аналитикам глубже понимать природу данных, корректировать гипотезы и представлять итоговые выводы понятным образом[1].

Обзор ключевых библиотек

Экосистема Python для машинного обучения включает множество инструментов, однако в этой работе рассмотрены наиболее востребованные и технологически значимые библиотеки, которые широко применяются как в научных исследованиях, так и в промышленной разработке.

1. Scikit-learn

Scikit-learn – одна из самых популярных библиотек для классического машинного обучения. Она предоставляет единый, хорошо структурированный интерфейс ко множеству алгоритмов: классификации, регрессии, кластеризации, снижения размерности, а также инструментам для оценки моделей и подбора гиперпараметров[7]. Scikit-learn отличается низким порогом входа, высокой стабильностью и качественной документацией. Её основной областью применения остаются задачи на табличных данных и аналитические исследования, где важна скорость разработки и интерпретируемость моделей.

2. TensorFlow

TensorFlow – мощный фреймворк для глубокого обучения, разработанный компанией Google и широко используемый в индустрии. Он поддерживает распределённые вычисления, работу с GPU и TPU, развертывание моделей в облаке и мобильных устройствах[5]. Важным изменением последних версий стало упрощение API и интеграция Keras как высокоуровневого интерфейса для построения нейронных сетей. TensorFlow ориентирован как на исследовательские проекты, так и на крупномасштабные производственные решения.

3. PyTorch

PyTorch – фреймворк глубокого обучения, созданный компанией Meta* (*организация, признанная экстремистской в России), который приобрёл высокую популярность среди исследователей благодаря гибкости и использованию динамических вычислительных графов. Облегчает отладку и эксперименты с новыми архитектурами нейронных сетей. Поддержка GPU, развитая экосистема библиотек для компьютерного зрения и обработки естественного языка, а также активное сообщество делают PyTorch одним из ведущих инструментов в сфере искусственного интеллекта[18].

4. XGBoost, LightGBM и CatBoost

Градиентный бустинг – один из наиболее эффективных методов для работы с табличными данными[15].

- XGBoost известен высокой точностью и возможностью гибкой настройки параметров, требует тщательной оптимизации.

- LightGBM, разработанный Microsoft, обеспечивает более высокую производительность и лучше масштабируется на большие наборы данных благодаря особому алгоритму построения деревьев.

- CatBoost от компании Яндекс ориентирован на автоматическую обработку категориальных признаков и высокий уровень качества без сложной подготовки данных.

Эти библиотеки часто применяются в соревнованиях и бизнес-приложениях – там, где важна точность и скорость обучения.

3.5 Вспомогательные инструменты

Полноценный процесс машинного обучения невозможен без библиотек, поддерживающих работу с данными и визуализацию:

- NumPy – вычисления с массивами и линейная алгебра;
- Pandas – обработка и анализ табличных данных;
- Matplotlib и Seaborn – построение графиков и визуальный анализ результатов.

Критерии сравнения библиотек

Для объективного анализа и выбора оптимальных инструментов машинного обучения важно сформировать набор критериев, позволяющих сравнивать библиотеки между собой. Каждый из критериев влияет на удобство разработки, производительность и перспективность применения выбранного решения в конкретной задаче.

1. Простота использования и качество документации

Доступность и понятность интерфейсов определяет скорость освоения библиотеки и снижает вероятность ошибок при моделировании. Хорошо структурированная документация и наличие обучающих материалов играют значительную роль в эффективности разработки.

2. Производительность и масштабируемость

Современные задачи машинного обучения включают обработку больших объёмов данных и обучение сложных моделей. Возможность распределённых вычислений, оптимизация под многопроцессорные системы и использование GPU/TPU становятся важными показателями эффективности библиотеки.

3. Гибкость и расширяемость

Некоторые проекты требуют нестандартных решений и разработки собственных архитектур. Наличие низкоуровневых интерфейсов, широкие возможности настройки и поддержка кастомных модулей определяют пригодность библиотеки для исследовательских целей.

4. Экосистема и поддержка сообщества.

Сильное сообщество пользователей и разработчиков способствует быстрому устранению ошибок, появлению новых инструментов и расширению функциональности. Наличие совместимых библиотек, готовых моделей и интеграций также значительно повышает ценность экосистемы.

5. Интерпретируемость и поддержка анализа моделей

В практических приложениях важно не только создать, но и объяснить модель. Инструменты для визуализации, мониторинга обучения и анализа факторов, влияющих на предсказания, позволяют принимать более обоснованные решения и удовлетворять требованиям бизнеса.

Учитывая перечисленные критерии, можно провести глубокий сравнительный анализ наиболее популярных инструментов, выявив сильные и слабые стороны. Это станет основой для обоснованного выбора библиотеки в зависимости от сложности задачи, доступных ресурсов и уровня экспертизы разработчика.

Сравнительная таблица

Для удобства анализа рассмотренные библиотеки сведены в сравнительную таблицу, отражающую их ключевые характеристики по основным критериям. Это позволяет быстрее оценить сильные и слабые стороны каждого инструмента и определить оптимальный выбор под конкретную задачу.

Таблица 1

Сравнение параметров библиотек для машинного обучения

Библиотека	Простота использования	Производительность	GPU/TPU	Гибкость	Сильные стороны	Недостатки
Scikit-learn	Высокая	Средняя	Нет	Средняя	Широкий набор алгоритмов, удобный API, отличная документация	Не подходит для нейронных сетей и очень больших данных
TensorFlow	Средняя/Высокая (через Keras)	Очень высокая	Да	Высокая	Поддержка масштабируемости, облака, развёртывание в продакшене	Более сложный порог входа без Keras
PyTorch	Средняя	Очень высокая	Да	Очень высокая	Гибкость, динамические вычислительные графы, популярность среди исследователей	Меньше инструментов для продакшена, чем у TensorFlow
XGBoost	Средняя	Высокая	Частичная	Средняя	Высокая точность, оптимизация под большие данные	Требует ручной настройки множества параметров

Библиотека	Простота использования	Производительность	GPU/TPU	Гибкость	Сильные стороны	Недостатки
LightGBM	Средняя	Очень высокая	Частичная	Средняя	Отличная масштабируемость, высокая скорость	Менее интерпретируемо по сравнению с классическими моделями
CatBoost	Высокая	Высокая	Частичная	Средняя	Отличная работа с категориальными и минимальная предобработка	Меньше гибкости при тонкой настройке, чем у XGBoost

Таблица показывает, что каждая библиотека адаптирована под свой тип задач:

- Scikit-learn идеально подходит для базового моделирования и аналитики.
- TensorFlow и PyTorch – для глубокого обучения и ИИ-систем.
- XGBoost, LightGBM и CatBoost – для высокоточных решений на табличных данных.

Выбор библиотеки под задачу

Правильный выбор инструментария для машинного обучения играет ключевую роль в успешной реализации проекта. Каждая библиотека обладает особенностями, которые делают её предпочтительной для определённых типов данных, сценариев использования и уровня сложности задачи. Ниже представлены рекомендации, основанные на проведённом сравнительном анализе.

1. Тип данных и область применения

- Табличные данные: оптимальный выбор – библиотеки градиентного бустинга (CatBoost, LightGBM, XGBoost), так как они обеспечивают высокую точность предсказаний и меньше зависят от масштабов данных и признакового пространства.
- Изображения, звук, текст, а также другие сложные структуры требуют применения фреймворков глубокого обучения (TensorFlow, PyTorch).
- Простые аналитические задачи, где важна интерпретируемость, эффективно решаются с помощью Scikit-learn.

2. Уровень опыта разработчика

- Новичкам проще начинать с Scikit-learn и Keras (как части TensorFlow), поскольку они предлагают высокоуровневый и понятный интерфейс.
- Продвинутые пользователи и исследователи чаще выбирают PyTorch. Он обеспечивает гибкость при создании нестандартных моделей и экспериментов.
- Специалисты по обработке табличных данных обычно используют CatBoost или LightGBM, где уже встроены оптимизации обучения.

3. Производительность и масштабируемость

- Для больших данных и сложных нейронных сетей существенным становится использование GPU/TPU (поддерживается в TensorFlow и PyTorch).

- В бизнес-приложениях, где важна скорость обучения и предсказаний, необходимо рассматривать LightGBM и XGBoost.

4. Продакшен и развёртывание решений

- TensorFlow предоставляет широкий набор инструментов для интеграции моделей в высоконагруженные сервисы, включая мобильные и облачные платформы.

- В PyTorch также усиливается поддержка продакшена благодаря ONNX и TorchServe, но экосистема TensorFlow в этой области пока более развита.

Выбор библиотеки должен быть основан на сочетании факторов: особенностях данных, требованиях проекта, доступных ресурсах и готовности разработчика к работе с более сложными инструментами. Грамотное применение библиотек позволяет снизить затраты времени и повысить качество получаемых результатов.

Перспективы развития экосистемы Python в сфере машинного обучения

Экосистема Python продолжает активно развиваться, оперативно реагируя на растущие требования современных задач искусственного интеллекта. Тенденции формирования библиотек и инструментов для машинного обучения можно определить следующим образом:

1. Усиление автоматизации и AutoML-подходов

Библиотеки всё чаще стремятся автоматизировать рутинные этапы моделирования – выбор алгоритма, настройку гиперпараметров, интерпретацию результатов. AutoML-решения уже сегодня становятся частью стандартных рабочих процессов, что снижает порог входа в профессию.

2. Расширение поддержки больших данных и распределённых вычислений

С увеличением объёмов данных возрастает потребность в горизонтальном масштабировании. TensorFlow, PyTorch и другие библиотеки будут стремиться обеспечить более эффективное обучение в кластерах и облачных средах.

3. Улучшение интерпретируемости моделей

В условиях усиления требований к прозрачности ИИ-систем развивается направление Explainable AI (XAI). Библиотеки будут всё активнее включать средства визуализации и объяснения предсказаний.

4. Интеграция с инструментами MLOps

Для промышленного внедрения важны автоматизированные пайплайны, мониторинг и управление жизненным циклом моделей. Интеграция ML-библиотек с MLOps-платформами будет становится стандартом отрасли.

5. Рост специализированных фреймворков

Развиваются узконаправленные решения для NLP, генеративных моделей, робототехники и биоинформатики. Примеры – HuggingFace Transformers, Stable Diffusion, DeepChem.

6. Оптимизация под новое оборудование

Появляются ускорители нового поколения (NPU, специализированные AI-чипы), и библиотеки уже сегодня адаптируются для эффективной работы на этих архитектурах, снижая вычислительные затраты.

Экосистема Python будет продолжать расширяться, повышая удобство, эффективность и доступность технологий машинного обучения для разработчиков различных уровней подготовки.

Заключение

Анализ показал, что каждая библиотека обладает своими преимуществами и недостатками, а их выбор зависит от конкретной задачи, типа данных, требований к производительности и уровня опыта разработчика. Scikit-learn остаётся оптимальным инструментом для базовых и аналитических задач, TensorFlow и PyTorch подходят для сложных моделей глубокого обучения, а XGBoost, LightGBM и CatBoost – для высокоточных решений на табличных данных.

Грамотное сочетание библиотек, понимание их сильных и слабых сторон, а также учет требований к масштабируемости и интерпретируемости моделей позволяют значительно повысить эффективность проектов по машинному обучению.

В заключение необходимо отметить, что экосистема Python продолжает оставаться одним из самых удобных и универсальных инструментов для разработки интеллектуальных систем, а грамотный выбор библиотеки становится критическим фактором успешной реализации проектов в области искусственного интеллекта.

References

1. Акбулатов, М. М. Сравнение библиотек Python для машинного обучения и искусственного интеллекта / М. М. Акбулатов // Новости науки. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 29-33.
2. Балабанов, Н. Р. Обзор библиотек обучения нейронных сетей на языке Python / Н. Р. Балабанов // Молодой ученый. – 2020. – № 46(336). – С. 6-8.

3. Воробьева, В. В. Изучение библиотек языка Python для анализа данных в среде JupyterLab / В. В. Воробьева, И. Б. Гинзбург, Ю. Н. Кондрашов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 4. – С. 66-68.
4. Гайнутдинов, В. Р. Популярные библиотеки Python для машинного обучения / В. Р. Гайнутдинов // Лучшие исследовательские работы студентов и учащихся : сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 30 января 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 11-13.
5. Гаунов, С. Р. Машинное обучение на Python: использование библиотек Tensorflow и Scikit-Learn / С. Р. Гаунов, У. Г. Баймурадов, С. Ю. Ситников // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 8, № 12(153). – С. 72-81.
6. Гинзбург, И. Б. Изучение библиотек языка Python для машинного обучения в среде Jupyterlab / И. Б. Гинзбург, Ю. Н. Кондрашов, Д. А. Макаров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 9. – С. 75-77.
7. Гребнев, К. Н. Машинное обучение с помощью библиотеки Scikit-Learn языка Python / К. Н. Гребнев // Математический вестник педвузов и университетов Волго-Вятского региона. – 2017. – № 19. – С. 277-281.
8. Долганов, А. Ю. Базовые алгоритмы машинного обучения на языке Python : Учебно-методическое пособие для студентов вузов / А. Ю. Долганов, М. В. Ронкин, А. В. Созыкин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2023. – 124 с.
9. Использование библиотек Python для построения систем интеллектуального анализа данных на основе искусственных нейронных сетей / И. А. Бабкин, С. Тужанская, Е. М. Зозуля, Д. О. Неруссков // Студенческие исследования, идеи и инновации. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 40-43.
10. Использование библиотек языка программирования Python для решения задач машинного обучения / М. А. Конопкин, Г. А. Богданов, М. Ю. Шмарев, К. М. Рева // Молодой исследователь. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 42-45.
11. Калугин, Т. М. Обзор и сравнительный анализ пакетов глубокого обучения на Python / Т. М. Калугин // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах. – Саратов: ИЦ «Наука», 2020. – С. 15-18.
12. Карабанов, В. А. Сравнение библиотек Python для машинного обучения / В. А. Карабанов // Молодая мысль: наука, технологии, инновации. – Братск: Братский государственный университет, 2020. – С. 313-317.

13. Карпенко, О. В. Инструменты для машинного обучения в языке программирования python / О. В. Карпенко, Д. Е. Шафеев, Э. Ф. Боярский // Аспирант и соискатель. – 2018. – № 1(103). – С. 25-27.
14. Киримова, А. В. Библиотеки для машинного обучения языка программирования Python / А. В. Киримова // Modern Science. – 2021. – № 7. – С. 293-296.
15. Ларин, С. С. Сравнительный анализ библиотек для аналитической обработки данных на Python / С. С. Ларин, В. Д. Бадов // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 40-43.
16. Лобанов, А. В. Применение библиотеки языка Python для решения задач машинного обучения / А. В. Лобанов, Н. В. Сидоренко, А. М. Архипов // Цифровое общество: научные инициативы и новые вызовы. – Москва: ООО «Издательство «Экономическое образование», 2024. – С. 152-157.
17. Соколов, В. А. Анализ библиотек языка программирования Python для машинного обучения / В. А. Соколов, Н. В. Ковбаса // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – Красноярск: ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2022. – С. 85-87.
18. Хусаинов, В. Р. Библиотеки и фреймворки на языке Python для построения нейронных сетей / В. Р. Хусаинов, Т. В. Потанина // Цифровые инфокоммуникационные технологии. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2022. – С. 233-236.

UDC 621.57:338

Moskalenko P.A., Nechitailov V.V. Technical and economic potential of waste heat for decarbonisation

Технико-экономический потенциал отработанного тепла для декарбонизации

Moskalenko Pavel Anatolievich,

Master's student of the Department of Information and Measuring Technologies and Control Systems,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy

Nechitaylov Vasily Vasilyevich,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor 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

Москаленко Павел Анатольевич,
магистрант кафедры информационно-измерительных технологий и систем управления,

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики

Нечитайлов Василий Васильевич,

Канд. техн. наук, доцент кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики

Abstract. The article presents an overview of the technical and economic potential of waste heat utilisation for decarbonisation of energy systems. The sources of waste heat, technologies of its utilisation, economic efficiency and contribution to the reduction of greenhouse gas emissions are considered. The analysis shows that waste heat utilisation has a significant potential for improving energy efficiency and achieving sustainable development goals. A case study of waste heat utilisation at a cement plant is presented.

Keywords: Waste heat, heat recovery, decarbonisation, energy efficiency, heat pumps, organic Rankine cycle, thermoelectric generators, renewable energy.

Аннотация. В статье представлен обзор технико-экономического потенциала утилизации отработанного тепла для декарбонизации энергетических систем. Рассмотрены источники отработанного тепла, технологии его утилизации, экономическая эффективность и вклад в снижение выбросов парниковых газов. Анализ показывает, что утилизация отработанного тепла имеет значительный потенциал для повышения энергоэффективности и достижения целей устойчивого развития. Приведен кейс-пример по утилизации отработанного тепла на цементном заводе.

Ключевые слова: Отработанное тепло, утилизация тепла, декарбонизация, энергоэффективность, тепловые насосы, органический цикл Ренкина, термоэлектрические генераторы, возобновляемая энергия.

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

В условиях глобальной климатической повестки и растущей потребности в энергетической безопасности, поиск новых подходов к декарбонизации энергетических систем становится крайне актуальной задачей. Отработанное тепло (ОТ), являющееся

побочным продуктом различных промышленных, энергетических и коммунальных процессов, представляет собой значительный, но часто недооцененный, источник потенциальной энергии. Вместо того, чтобы выбрасываться в окружающую среду, вызывая тепловое загрязнение и приводя к потерям ценного ресурса, это тепло может быть утилизировано и повторно использовано, что не только снижает потребление первичных энергоресурсов, но и способствует уменьшению выбросов парниковых газов [1]. Данная статья посвящена анализу технико-экономического потенциала утилизации отработанного тепла для достижения целей декарбонизации, включая обзор технологий, экономических преимуществ и вызовов, стоящих на пути широкого внедрения этих решений. Акцент делается на том, как использование ОТ может стать важным компонентом устойчивой энергетической системы будущего.

Для проведения анализа технико-экономического потенциала утилизации отработанного тепла в контексте декарбонизации, было проведено комплексное исследование, основанное на обзоре широкого спектра научных публикаций, аналитических отчетов, технических спецификаций и отраслевых исследований. Используемые источники охватывают широкий спектр областей, включая энергетику, теплотехнику, материаловедение и экономику, что позволяет получить многогранное понимание проблемы. Исследование предполагает оценку не только технической осуществимости различных технологий утилизации, но и их экономической целесообразности в разных условиях. Методология включает анализ потенциальных источников ОТ, их температурных характеристик, объёмов, и динамики производства. Проводится сравнение различных технологий утилизации, анализ их коэффициента полезного действия (КПД), капитальных и эксплуатационных затрат, а также потенциальной ценности производимой энергии (тепловой или электрической). Экономическая оценка основывается на анализе инвестиционной привлекательности проектов с учетом различных сценариев, например, изменяющихся цен на энергоносители, а также в зависимости от политической и регуляторной поддержки. Исследование также рассматривает влияние утилизации ОТ на экологию и вклад в достижение целей декарбонизации, включая оценку снижения выбросов парниковых газов и экономию первичных энергоресурсов.

Источники отработанного тепла разнообразны и могут быть найдены практически во всех секторах экономики. Промышленные предприятия, включая металлургию, химическую, цементную и пищевую промышленность, являются одними из крупнейших производителей ОТ. Температура и количество отработанного тепла на этих предприятиях варьируются в широких пределах, от низкотемпературных потоков (ниже 100°C) до высокотемпературных (выше 500°C). Электростанции, работающие на

ископаемом топливе и ядерном топливе, также являются значительными источниками ОТ, которые выходят из них в виде горячей воды или пара [2]. Дата-центры, с их растущей потребностью в охлаждении, выбрасывают большое количество низкотемпературного тепла, которое может быть использовано для отопления или других нужд. Городская инфраструктура, включая тепловые сети и транспортные средства, также производят значительное количество ОТ, хотя его утилизация может представлять определенные сложности. Важным аспектом является не только количество и температура ОТ, но и его стабильность и доступность. Для эффективной утилизации необходимо учитывать суточные и сезонные колебания в его производстве и потреблении.

Разнообразие источников и характеристик отработанного тепла требует применения широкого спектра технологий утилизации. Выбор конкретной технологии зависит от температурного уровня и объёма ОТ, а также от конкретных условий применения [3]. Тепловые насосы – один из наиболее распространенных вариантов использования низкотемпературного ОТ для отопления и горячего водоснабжения. Они работают по принципу переноса тепла из холодной среды в теплую, что позволяет использовать низкопотенциальное тепло в полезных целях. Органический цикл Ренкина (ORC) представляет собой технологию, которая позволяет использовать средне- и низкотемпературное ОТ для производства электроэнергии. Эта технология особенно востребована в промышленном секторе и на геотермальных электростанциях. Термоэлектрические генераторы (ТЭГ) преобразуют тепловую энергию непосредственно в электрическую, они особенно подходят для небольших источников тепла, а также для ситуаций, когда требуется надежное энергоснабжение. Абсорбционные холодильные установки используют тепловую энергию для производства холода, что позволяет использовать ОТ в системах кондиционирования и охлаждения. При прямом использовании тепловой энергии, ОТ используется для подогрева воды и воздуха в промышленных процессах, для отопления, горячего водоснабжения, и в системах тепличного хозяйства. И, наконец, использование теплообменников позволяет передавать тепло между различными потоками, например, для предварительного нагрева технологических жидкостей и газов. Использование тепловых аккумуляторов позволяет хранить избыточное тепло и использовать его в периоды максимальной нагрузки или, когда производство ОТ временно отсутствует. Для лучшего понимания того, как различные технологии утилизации отработанного тепла соотносятся с характеристиками теплового источника, рассмотрим сравнительную таблицу 1 с примерными показателями:

Таблица 1

Сравнительная характеристика технологий утилизации отработанного тепла.

Технология	Температурный диапазон (°C)	КПД	Экономическая целесообразность	Примечания
Тепловые насосы	< 100	300-400%	Средняя – высокая	Подходят для отопления и горячего водоснабжения. Здесь указан коэффициент преобразования, а не традиционный КПД.
Органический цикл Ренкина (ORC)	≈ 350	10-25%	Средняя	Эффективны для производства электроэнергии. Здесь указан термический КПД преобразования тепла в электричество.
Термоэлектрические генераторы (ТЭГ)	> 100	5-10%	Низкая – средняя	Подходят для небольших источников тепла, не требуют сложного обслуживания. Здесь указан КПД прямого преобразования тепла в электричество.
Абсорбционные холодильные установки	≈ 80	40-60%	Средняя – высокая	Используют тепло для производства холода. Здесь указан коэффициент преобразования тепла в холод.

Из таблицы 1 видно, что выбор технологии утилизации ОТ напрямую зависит от температуры источника тепла и требуемой формы энергии.

Важно отметить, что для тепловых насосов и абсорбционных холодильных установок используется коэффициент преобразования (COP), который может превышать 100%, так как они переносят тепло, а не преобразуют его напрямую, а для ORC и ТЭГ указывается термический КПД, который показывает эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую. Необходимо учитывать эти различия при интерпретации данных.

Для более четкого представления о процессе утилизации отработанного тепла, предлагается ознакомиться со следующей схемой (рис. 1), которая демонстрирует основные этапы и элементы системы, включая различные преобразователи и потребителей.

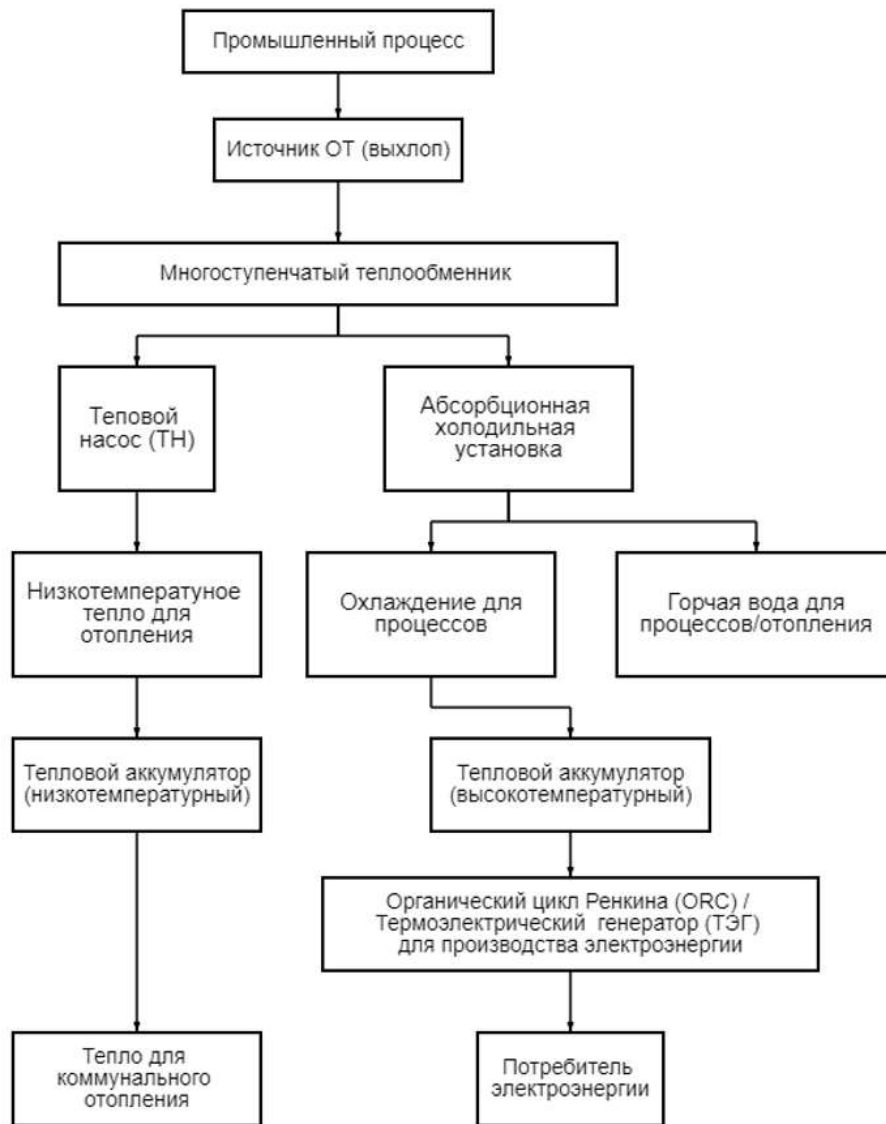


Рисунок 1. Принципиальная схема каскадной системы утилизации отработанного тепла

Схема наглядно демонстрирует, что отработанное тепло из источника, проходя через многоступенчатый теплообменник, может использоваться каскадно. Сначала низкотемпературное тепло используется тепловым насосом для отопления, затем тепло может быть аккумулировано, а более высокотемпературное тепло может быть преобразовано в электроэнергию с помощью ORC или ТЭГ. Абсорбционная холодильная установка позволяет получать холод, а тепловой аккумулятор обеспечивает гибкость использования тепла. Причем, низкотемпературное тепло, накопленное в аккумуляторе, может быть использовано для коммунального отопления,

а горячая вода, полученная из процесса утилизации, может применяться как для промышленных процессов, так и для отопления.

Технико-экономический потенциал утилизации отработанного тепла определяется множеством факторов. Эффективность конкретного проекта зависит не только от технических характеристик используемого оборудования, но и от экономических условий, включая стоимость энергии, капитальные и эксплуатационные расходы [3]. Технический потенциал подразумевает собой общий объем тепла, который может быть утилизирован с помощью существующих технологий. Экономический потенциал, в свою очередь, учитывает стоимость технологий утилизации, а также потенциальную выгоду от продажи тепловой или электрической энергии. Инвестиционная привлекательность проектов по утилизации ОТ может быть повышена за счет государственных программ и льготных тарифов на энергию, полученную из возобновляемых источников. Одним из важных параметров, влияющих на технико-экономический потенциал, является КПД (коэффициент полезного действия) используемых технологий утилизации. Как было отмечено выше, для тепловых насосов и абсорбционных холодильных установок используется коэффициент преобразования, который может превышать 100%, в то время как для других технологий указывается термический КПД. Эти различия необходимо учитывать при проведении оценки эффективности. В целом, экономическая целесообразность проектов по утилизации ОТ определяется балансом между затратами на оборудование и эксплуатацию и доходами от продажи энергии, а также от снижения расходов на приобретение первичных энергоресурсов.

Утилизация отработанного тепла играет важную роль в достижении целей декарбонизации и способствует созданию устойчивых энергетических систем. Сокращение потребления ископаемого топлива за счет использования ОТ снижает выбросы парниковых газов и уменьшает воздействие на окружающую среду. Утилизация тепла позволяет использовать побочный продукт различных процессов в качестве ресурса, уменьшая таким образом отходы и повышая эффективность использования энергии. Проекты по утилизации ОТ могут способствовать развитию локальных энергетических систем и повышению энергетической безопасности, снижая зависимость от импорта энергоносителей. Кроме того, утилизация тепла может снизить тепловое загрязнение, а также улучшить общую экологическую ситуацию, что особенно актуально в густонаселенных районах. Внедрение технологий утилизации ОТ может также создавать новые рабочие места в секторах производства и обслуживания оборудования, способствуя социально-экономическому развитию [4].

Несмотря на значительный технико-экономический потенциал и экологические преимущества, широкое внедрение технологий утилизации ОТ сталкивается с рядом проблем и вызовов. Высокие первоначальные инвестиционные затраты в оборудование и инфраструктуру являются значительным барьером для многих предприятий, особенно для малого и среднего бизнеса [5]. Необходимость адаптации существующих производственных процессов и инфраструктуры к новым технологиям также может быть сложной и затратной задачей. Низкая плотность и нестабильность потоков отработанного тепла могут ограничивать возможности его использования и требуют разработки специальных систем управления и хранения. Отсутствие четких государственных программ поддержки и нормативного регулирования также замедляет процесс внедрения технологий утилизации ОТ. Кроме того, существуют институциональные барьеры, связанные с недостаточным уровнем осведомленности о возможностях и преимуществах утилизации ОТ. Для решения этих проблем необходимы скоординированные усилия государства, бизнеса и научного сообщества.

Для иллюстрации технико-экономического потенциала утилизации ОТ рассмотрим конкретный кейс-пример на основе модели органического цикла Ренкина для цементного завода. Цементное производство является энергоемким процессом и характеризуется большими объемами отработанного тепла, особенно в виде выхлопных газов из печей. Модель предполагает установку ORC -системы для преобразования этого тепла в электроэнергию. Исходные данные для анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные кейса.

Параметр	Значение
Температура отработанных газов	350 °C
Объем отработанных газов	200 000 м³/час
Электрическая мощность ORC -системы	5 МВт
Годовое время работы	8000 часов
Капитальные затраты	10 000 000 руб.
Эксплуатационные расходы	150 000 руб./год
Цена электроэнергии	8 руб./кВт*ч

На основе этих данных проведем более комплексные и детализированные экономические расчеты, учитывая различные аспекты:

Годовая выработка электроэнергии:

$5 \text{ МВт} * 8000 \text{ часов} = 40\,000 \text{ МВтч}$ (мегаватт-часов). Это означает, что ORC-система произведет 40 миллионов киловатт-часов (кВтч) электроэнергии в год.

Годовой доход от продажи электроэнергии:

40 000 МВтч * 8 руб./кВт*ч = 3 200 000 руб. Таким образом, годовой доход от продажи электроэнергии, произведенной ORC-системой, составит 3.2 миллиона рублей.

Полные годовые расходы:

Эксплуатационные расходы – 150 000 руб. Амортизационные отчисления (примем срок службы 20 лет) – 10 млн руб. / 20 лет = 500 000 руб. Итого полные годовые расходы: 150 000 руб. + 500 000 руб. = 650 000 руб.

Чистая годовая прибыль:

Годовой доход - полные годовые расходы = 3 200 000 руб. - 650 000 руб. = 2 550 000 руб. Чистая годовая прибыль проекта составит 2.55 млн руб.

Срок окупаемости проекта (простой метод):

Капитальные затраты / чистая годовая прибыль = 10 000 000 руб. / 2 550 000 руб./год ≈ 3.92 года. Срок окупаемости проекта составит приблизительно 3.92 года.

Расчет приведенной стоимости денежных потоков (NPV) для более точной оценки:

Предположим ставку дисконтирования в 5% для учета стоимости капитала, поток доходов каждого года будет равен 3,200,000 руб., поток расходов каждого года будет равен 650,000 руб., чистый денежный поток каждого года равен 2,550,000 руб. Расчет NPV:

$$NPV = \sum_{t=20}^{t=1} \frac{\text{Денежный поток}_t}{(1 + \text{Ставка дисконтирования})^t}$$

Где t = год работы, до 20 (Т) лет работы. В данном случае, имея 20 лет эксплуатации с годовым потоком в 2.55 млн, NPV составит:

$$NPV = \left(\frac{2550000}{(1,05)^1}\right) + \left(\frac{2550000}{(1,05)^2}\right) + \dots + \left(\frac{2550000}{(1,05)^{20}}\right) - 10000000$$

$$NPV = 31\,689\,154.24 - 10\,000\,000$$

$$NPV = 21\,689\,154.24 \text{ руб.}$$

Получается положительный NPV, равный 21.69 миллионов руб., что подтверждает инвестиционную привлекательность проекта.

Расчет внутреннего темпа доходности (IRR)

IRR - это ставка дисконтирования, при которой NPV проекта равен нулю. Это означает, что при этой ставке дисконтирования проект будет безубыточным [5]. В рассматриваемом случае (с постоянными денежными потоками), можно использовать приближенный метод расчета IRR без итераций:

$$IRR \approx \frac{CF}{CI}$$

Где, начальные инвестиции (CI) = 10 000 000 руб., годовой денежный поток (CF) = 2 550 000 руб.

$$IRR \approx \frac{2550000}{10000000}$$

$$IRR \approx 0.255 \text{ или } 25.5\%$$

Комплексные экономические расчеты подтверждают, что проект по утилизации отработанного тепла с помощью ORC на цементном заводе не только экономически выгодный, но и обладает высокой инвестиционной привлекательностью. При капитальных затратах в 10 млн руб. и сроке окупаемости менее 4 лет (рассчитан без итерации), чистая годовая прибыль может составить около 2.55 млн руб., а NPV более 21 миллионов руб., с IRR около 24%. Это означает, что проект создаст значительную дополнительную стоимость и будет обеспечивать устойчивый доход на протяжении всего срока службы. Кроме того, проект также способствует сокращению выбросов парниковых газов, снижает зависимость от внешних источников энергии и повышает энергетическую устойчивость предприятия. Данная модель является примером того, как внедрение технологий утилизации ОТ может сочетать технологическую и экономическую выгоду.

References

1. Обзор технологий декарбонизации производства тепловой и электрической энергии / А. А. Филимонова, А. Ю. Власова, Н. Д. Ч. Чичирова, Р. Ф. Камалиева // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2023. – Т. 16, № 2. – С. 149-174.
2. Нашук, Д. С. Технологии декарбонизации для теплоэнергетики / Д. С. Нашук, П. А. Москаленко, М. С. Липатов // International Journal of Professional Science. – 2025. – № 2-2. – С. 40-46. – EDN QLZVSF.
3. Ветрова, М. А. Стратегии декарбонизации российских углеродоемких секторов экономики / М. А. Ветрова // Седьмой международный экономический симпозиум - 2023 : Материалы международной конференции молодых ученых-экономистов, Санкт-Петербург, 20–22 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: ООО "Скифия-принт", 2023. – С. 241-247.
4. Каплун, Ю. А. Необходимость декарбонизации ТЭК РФ, как наиболее углеродоемкой отрасли, с учетом мировой климатической повестки и других целей устойчивого развития / Ю. А. Каплун, Е. М. Лисин // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2024. – № 7(235). – С. 11-18.
5. Ильинский, А. А. Организационно-экономические аспекты декарбонизации энергетики России / А. А. Ильинский, А. А. Саитова, М. М. Хасанов. – Санкт-Петербург : ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2023. – 248 с.

SCIENTIFIC METHODS AND TECHNOLOGIES

UDC 004.622

Boshchenko D.A. Application of Regular Expressions in Data Analysis

Применение регулярных выражений в анализе данных

Boshchenko D.A.,

student

Volgograd State University

Бощенко Д.А.,

студент

Волгоградский государственный университет

Abstract. This article examines the use of regular expressions as a key tool for processing and analyzing text data. It describes their concepts, capabilities, and application in various analytical environments. Particular attention is paid to the tasks of cleaning, extracting, validating, and structuring information, as well as practical application examples. Optimization and common pitfalls are discussed, providing a comprehensive understanding of the use of regular expressions in data analysis and their importance for improving the quality of information processing.

Keywords: regular expressions, data analysis, data cleaning, information extraction, data validation, text processing, big data, Python, SQL.

Аннотация. В статье рассматривается использование регулярных выражений в качестве одного из ключевых инструментов обработки и анализа текстовых данных. Описываются их концепции, возможности и особенности использования в различных аналитических средах. Особое внимание уделяется задачам очистки, извлечения, валидации и структурирования информации, а также практическим примерам применения. Поднимаются вопросы оптимизации, распространённых ошибок, что позволяет сформировать целостное представление о применении регулярных выражений в анализе данных и их значимости для повышения качества обработки информации.

Ключевые слова: регулярные выражения, анализ данных, очистка данных, извлечение информации, валидация данных, обработка текста, большие данные, Python, SQL.

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Регулярные выражения – это удобный инструмент, который помогает работать с текстовыми данными гораздо быстрее и точнее, чем при обычной строковой обработке. Они особенно ценны в анализе данных, потому что позволяют находить нужные фрагменты текста, преобразовывать его под нужный формат и проверять, соответствует ли строка заданным требованиям. Когда приходится иметь дело с большими массивами информации, в которых встречаются разнородные и порой

неаккуратно оформленные данные, регулярные выражения становятся незаменимыми. Они помогают упорядочить текст, выделить важные элементы и сократить количество ручной работы. Благодаря своей гибкости и широким возможностям регулярные выражения прочно заняли место в инструментарии аналитика и продолжают оставаться одним из самых надёжных способов работы с текстовой информацией.

Регулярные выражения основаны на сочетании обычных символов и специальных метасимволов, которые задают правила поиска и сопоставления фрагментов текста. В основе лежит идея описания шаблона, которому должна соответствовать строка или её часть. Метасимволы позволяют указывать позиции символов, определять допустимые варианты и задавать структуру искомым последовательностей. Квантификаторы управляют количеством повторений элементов и позволяют гибко задавать, сколько раз должен встречаться тот или иной фрагмент. Группы используются для объединения отдельных частей выражения и извлечения конкретных сегментов текста после успешного сопоставления, а также дают возможность применять к ним дополнительные операции. Важным аспектом является различие между жадным и ленивым поведением, когда первое стремится охватить максимально возможный объём текста, а второе – минимально необходимый[9]. Флаги поиска обеспечивают дополнительное управление режимами обработки, например, позволяют игнорировать регистр, учитывать многострочные структуры или расширять интерпретацию текста. Все эти элементы формируют гибкий и выразительный инструментарий, который делает регулярные выражения мощным средством для работы с текстовыми данными.

Регулярные выражения широко используются в большинстве современных языков программирования и аналитических инструментов, что делает их универсальным средством работы с текстовыми данными. В мире программирования они встроены в Python, JavaScript, R и многие другие языки, обычно через специализированные библиотеки, обеспечивающие удобные функции для поиска, замены и извлечения информации. В среде анализа данных особенно заметна их роль в Python, где модуль `re` и инструменты библиотеки `Pandas` позволяют сочетать шаблонный поиск с обработкой табличных данных[3]. Помимо языков программирования, регулярные выражения активно применяются в классических Unix-утилитах вроде `grep`, `sed` и `awk`, которые используются для фильтрации и трансформации больших текстовых файлов прямо из командной строки. В хранилищах данных и SQL-средах поддержка шаблонов позволяет валидировать значения, извлекать нужные структуры и производить очистку строк непосредственно на уровне запросов. В экосистемах больших данных, регулярные выражения являются частью распределённых вычислений, позволяя анализировать текстовые поля в

масштабируемых пайплайнах[12]. Благодаря такой широкораспространённой поддержке регулярные выражения остаются одним из наиболее доступных и надёжных инструментов для работы с текстовой информацией в разных аналитических контекстах.

Регулярные выражения играют ключевую роль в практической работе с данными, поскольку позволяют эффективно приводить текст к необходимому формату, извлекать из него значимые фрагменты и контролировать качество поступающих сведений. При очистке данных они помогают устранять лишние символы, исправлять некорректные формы записи, нормализовать строки и подготавливать их к дальнейшей обработке. Во многих задачах анализа требуется получать из текста конкретные элементы – даты, номера телефонов, почтовые адреса или другие структурированные фрагменты, и именно регулярные выражения обеспечивают гибкий и точный механизм извлечения таких сведений[1, 2]. Не менее важным направлением использования является проверка корректности данных – шаблоны позволяют убедиться, что значения соответствуют требуемому формату, и своевременно отбрасывать записи, нарушающие правила. Особое значение регулярные выражения имеют при работе с логами и другими текстовыми файлами, где они позволяют разбирать сложные строки, выделять временные метки, сообщения об ошибках и другие ключевые элементы, существенно ускоряя анализ событий и диагностику систем. Возможность описывать структуру текста делает регулярные выражения универсальным инструментом, который облегчает выполнение широкого спектра задач, связанных с подготовкой, исследованием и интерпретацией данных.

При работе с большими данными регулярные выражения остаются востребованным и удобным инструментом, хотя их использование приобретает особую специфику, связанную с масштабом вычислений и распределённой архитектурой. В системах вроде Apache Spark операции, основанные на шаблонном поиске, выполняются параллельно на множестве узлов, что позволяет анализировать текстовые поля в огромных наборах данных без значительных задержек[7]. Такие платформы предлагают встроенные функции для выделения, замены и проверки строк – это делает процесс обработки более гибким и управляемым. Однако, по мере роста объёма информации возрастает и нагрузка на систему, поэтому сложные или неоптимальные выражения могут приводить к заметным потерям производительности[8]. Данная ситуация требует внимательного подхода к проектированию шаблонов, минимизации ненужной сложности и учёта особенностей распределённых вычислительных сред. Несмотря на ограничения, регулярные выражения сохраняют свою ценность как средство быстрого анализа текстовых данных

в больших масштабах, позволяя находить закономерности и извлекать значимые элементы даже в самых объёмных и разнородных источниках.

Практическое применение регулярных выражений в анализе данных проявляется прежде всего в том, что они позволяют быстро решать задачи, связанные с поиском и преобразованием текста. В языках программирования, таких как Python, аналитики используют возможности модуля `re`, чтобы извлекать нужные фрагменты из строк, находить повторяющиеся структуры, исправлять ошибки в данных и преобразовывать текст к более удобному формату. В среде Pandas регулярные выражения помогают работать с текстовыми колонками в датафреймах, позволяя фильтровать строки по шаблону, получать части строк на основе масок и выполнять точечные замены, не перегружая код сложной логикой. В реальных аналитических задачах это особенно заметно при обработке полуструктурированной информации: регулярные выражения позволяют извлекать цены из описаний товаров, выделять ссылки и идентификаторы из веб-данных, извлекать временные метки и коды ошибок из логов. В результате они становятся универсальным инструментом, который обеспечивает быстрый доступ к нужным частям данных и делает процесс анализа более прозрачным и эффективным.

Эффективное использование регулярных выражений в анализе данных требует внимания как к корректности шаблонов, так и к их удобству в сопровождении. Одним из ключевых принципов становится стремление к простоте: слишком сложные выражения не только труднее понимать, но и чаще приводят к ошибкам, поэтому важно формулировать шаблоны максимально ясно и по возможности разбивать их на логически обоснованные части. Существенное значение имеет читаемость, особенно в рабочих проектах, где над кодом трудятся несколько человек, поэтому полезно снабжать выражения комментариями или применять расширенный режим, позволяющий визуально структурировать шаблон[6]. Надёжность регулярных выражений усиливается благодаря тщательной проверке на краевых случаях, поскольку даже небольшой недочёт способен изменить поведение маски и привести к пропуску критически важных данных. Для повышения качества работы стоит использовать специализированные онлайн-сервисы, позволяющие мгновенно проверять корректность выражений, анализировать совпадения и выявлять скрытые ошибки[14]. Немаловажным аспектом остаётся производительность – слишком тяжёлые или неоптимальные шаблоны могут существенно замедлять обработку данных, особенно в больших проектах, поэтому регулярные выражения следует разрабатывать с учётом баланса между точностью и скоростью. В совокупности эти подходы помогают создавать более надёжные, понятные и эффективные решения, повышая качество анализа данных и облегчая дальнейшее сопровождение проектов.

При работе с регулярными выражениями аналитики нередко сталкиваются с трудностями, обусловленными как сложностью самого инструмента, так и особенностями данных. Одной из наиболее типичных проблем становится чрезмерное усложнение шаблонов, когда выражение пытаются превратить в универсальный механизм для всех случаев, в результате чего оно становится плохо читаемым и трудно поддерживаемым. Не менее распространённой ошибкой является недостаточное внимание к пограничным ситуациям – данные часто содержат неожиданные символы, необычные форматы или редкие исключения, из-за которых даже корректно составленный шаблон начинает работать непредсказуемо. Ещё одна частая проблема связана с производительностью, поскольку слишком громоздкие выражения или неправильно выбранные конструкции могут значительно замедлить обработку больших массивов данных, особенно если анализ проводится в распределённых системах[12]. Иногда сложности возникают из-за неверного понимания поведения жадных и ленивых квантификаторов, что приводит к некорректному поиску совпадений или захвату слишком больших участков текста. Дополнительную путаницу вносит различие между реализациями регулярных выражений в разных языках и инструментах, из-за чего выражение, успешно работающее в одной среде, может давать иные результаты в другой. Осознание этих типичных ошибок помогает формировать более точный и внимательный подход к использованию регулярных выражений и повышает качество анализа данных.

В заключение необходимо отметить, что регулярные выражения уже давно стали привычным инструментом для всех, кто работает с данными, и со временем их ценность только растёт. Они помогают быстро разбираться в потоке текстовой информации, находить нужные фрагменты, преобразовывать строки и приводить данные в порядок без лишних усилий. В самых разных задачах – от простой очистки таблиц до анализа логов и обработки больших текстовых массивов регулярные выражения остаются надёжным и гибким решением. Освоив их, аналитик получает мощный инструмент, который заметно ускоряет работу и делает её более точной. Именно поэтому регулярные выражения продолжают оставаться важной частью практики анализа данных и ещё долго будут востребованы как в повседневной работе, так и в крупных проектах.

References

1. Вахромеева, Е. Н. Применение регулярных выражений для поиска исторических дат в тексте / Е. Н. Вахромеева // Научный аспект. – 2023. – Т. 20, № 6. – С. 2589-2593.

2. Гусенко, М. Ю. Применение регулярных выражений в задачах декомпиляции статических данных / М. Ю. Гусенко // Программные системы и вычислительные методы. – 2017. – № 2. – С. 1-13.

3. Дерибаска, А. А. Теоретические сведения применения регулярных выражений в программировании на Python / А. А. Дерибаска // Технические и естественно-научные исследования в России и за рубежом: от теории к практике. – Краснодар : ИП Кабанов В.Б. (издательство «Новация»), 2024. – С. 16-18.

4. Израилев, В. Я. Анализ программ для работы с регулярными выражениями методом анализа иерархий / В. Я. Израилев // Символ науки: международный научный журнал. – 2018. – № 6. – С. 7-11.

5. Козлова, Е. В. Использование регулярных выражений для распознавания слов в тексте документа / Е. В. Козлова, А. С. Авдеев // Современные цифровые технологии. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2023. – С. 18-21.

6. Коновалов, Г. Г. Оптимизация процесса анализа данных с использованием регулярных выражений / Г. Г. Коновалов // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 104-14. – С. 50-53.

7. Короткова, А. Ю. Использование регулярных выражений при работе с большим объемом данных / А. Ю. Короткова // Материалы студенческой научной сессии : сборник статей, Москва, 08–12 апреля 2019 года / под общ. ред. Д.Ю. Артемова. – Москва: Московский педагогический государственный университет, 2019. – С. 51-56.

8. Лапко, А. В. Регулярные выражения как инструмент обработки данных / А. В. Лапко // Управление информационными ресурсами. – Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2021. – С. 350-352.

9. Малявко, А. А. Формальные языки и компиляторы / А. А. Малявко. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство ЮРАЙТ», 2020. – 429 с.

10. Ритвинский, Е. В. Использование регулярных выражений как основное средство упрощения работы с текстовыми документами / Е. В. Ритвинский, Н. И. Белодед // Новые горизонты. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2024. – С. 457-459.

11. Романюк, Б. В. К вопросу о применении регулярных выражений / Б. В. Романюк // Проблемы информационной безопасности социально-экономических систем. – Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2022. – С. 70-71.

12. Саморукова, О. Д. Использование регулярных выражений при решении задачи извлечения информации из неструктурированных текстовых данных / О. Д. Саморукова,

А. В. Крошилилин // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, 2024. – С. 150-156.

13. Сапаров, А. Ю. Применение регулярных выражений в распознавании математических текстов / А. Ю. Сапаров, А. П. Бельтюков // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. – 2012. – № 2. – С. 63-73.

14. Сысков, Д. Ю. Выявление особенностей использования регулярных выражений / Д. Ю. Сысков // Материалы 79-й студенческой научной конференции : сборник статей, Брянск, 18-22 марта 2024 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2024. – С. 568-580.

15. Титов, П. Е. Применение регулярных выражений для распознавания банковских реквизитов в платежных документах / П. Е. Титов // Перспективы развития информационных технологий. – 2013. – № 12. – С. 80-83.

16. Черноусова, Ю. А. Применение регулярных выражений при решении школьных олимпиадных задач по информатике / Ю. А. Черноусова, Е. В. Кудрина // Информационные технологии в образовании. – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука», 2016. – С. 125-129.

UDC 004.056.55

Konovalov G.G. Analysis of cryptographic strength of algorithms on elliptic curves

Анализ криптографической стойкости алгоритмов на эллиптических кривых

Konovalov G.G.,

student

Volgograd State University

Коновалов Г.Г.,

студент

Волгоградский государственный университет

Abstract. This article presents an analysis of the cryptographic security of elliptic curve algorithms. It examines the mathematical principles of constructing elliptic curves and the main cryptographic protocols implemented using them. A review of current cryptanalysis methods is provided. Particular attention is paid to the selection of secure parameters for elliptic curves and the assessment of the practical security of these algorithms. Prospects for the development of elliptic curve encryption algorithms are outlined. Directions for the transition to hybrid and post-quantum cryptographic solutions are discussed.

Keywords: elliptic curve cryptography, ECC, cryptographic security, discrete logarithm, cryptanalysis, ECDSA, post-quantum cryptography.

Аннотация. В статье представлен анализ криптографической стойкости алгоритмов на эллиптических кривых. Рассмотрены математические принципы построения эллиптических кривых и основные криптографические протоколы, реализуемые на их основе. Проведен обзор актуальных методов криптоанализа. Особое внимание уделено вопросам выбора безопасных параметров эллиптических кривых и оценке практической безопасности алгоритмов. Обозначены перспективы развития алгоритмов шифрования на эллиптических кривых. Рассмотрены направления перехода к гибридным и постквантовым криптографическим решениям.

Ключевые слова: криптография на эллиптических кривых, ECC, криптостойкость, дискретный логарифм, криптоанализ, ECDSA, постквантовая криптография.

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Стремительное развитие цифровых технологий и увеличивающееся число передаваемых по незащищённым каналам связи данных делают необходимым использование надежных криптографических систем защиты информации. Одним из наиболее эффективных направлений в современной криптографии является применение алгоритмов на эллиптических кривых (англ. Elliptic Curve Cryptography, ECC). Этот подход сочетает в себе высокую стойкость криптозащиты и относительно короткие ключи, что делает его особенно актуальным для использования в системах с ограниченными вычислительными ресурсами – мобильных устройствах, встраиваемых системах, в «интернете вещей».

Криптография на эллиптических кривых уже нашла широкое применение в защищенных протоколах, например, в TLS/SSL, используется в криптовалютных системах, в электронных подписях, в системах аутентификации и управления доступом. Благодаря своей эффективности ECC стала одним из ключевых стандартов в области информационной безопасности и получила широкое распространение в государственных и коммерческих системах.

Однако, несмотря на широкое применение и высокую степень математической сложности, безопасность криптосистем на базе эллиптических кривых не является абсолютной. Угрозы могут проистекать как из развития методов криптоанализа, так и из-за появления новых вычислительных технологий – квантовых компьютеров. Кроме того, очень важным является вопрос о правильном выборе параметров кривых и реализаций, а ошибки проектирования значительно снижают их криптографическую стойкость.

Основы криптографии на эллиптических кривых

Криптография на эллиптических кривых (ECC) основывается на использовании алгебраических структур, возникающих при определении операций над точками эллиптических кривых, заданных над конечными полями. Эллиптической кривой называют множество точек, удовлетворяющих уравнению вида:

$$y^2 = x^3 + ax + b,$$

где a и b – параметры, обеспечивающие невырожденность кривой[7].

Эти точки, вместе с дополненной точкой на бесконечности, формируют абелеву группу. Главная особенность заключается в том, что для выбранной точки кривой можно эффективно выполнять операцию сложения и умножения на скаляр, но обратная задача – нахождение скаляра по двум точкам – является вычислительно чрезвычайно сложной.

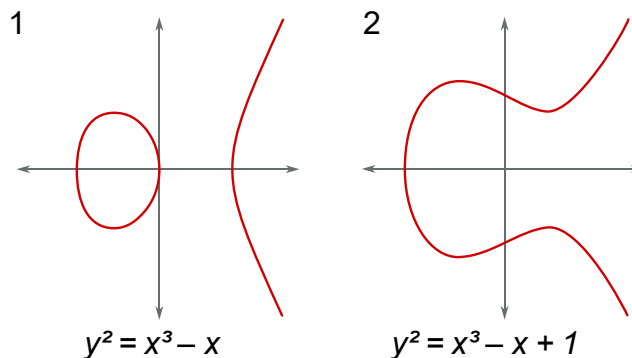


Рис. 1. Пример графиков эллиптических кривых.

Безопасность ECC опирается на трудность решения задачи дискретного логарифмирования на эллиптической кривой (Elliptic Curve Discrete Logarithm Problem, ECDLP). Эта задача предполагает невозможность эффективного нахождения числа k , зная точки P и $Q = kP$. В отличие от классических алгоритмов (RSA), основывающихся на факторизации больших чисел, ECC обеспечивает сопоставимую стойкость при значительно меньших размерах ключей. Например, 256-битный ключ ECC по уровню безопасности приравнивается к RSA-ключу длиной ~ 3072 бит, что снижает вычислительные затраты и требования к памяти[11].

Эллиптические кривые нашли применение в широком спектре криптографических алгоритмов. Наиболее распространенными являются[16]:

- ECDSA – алгоритм электронной цифровой подписи, обеспечивающий аутентичность и целостность данных;
- ECDH – протокол обмена ключами, используемый для установления защищенных каналов связи;
- EdDSA – современный алгоритм подписи, основанный на кривых Эдвардса и ориентированный на повышенную скорость и безопасность реализации.

Успех ECC также связан с универсальностью – алгоритмы могут реализовываться как в программных, так и в аппаратных системах, обеспечивая высокую производительность и энергоэффективность. Благодаря этому решения на эллиптических кривых стали основой многих современных стандартов и протоколов защиты данных[18].

Вместе с тем выбор кривой и математических параметров играет ключевую роль в формировании криптографической стойкости. Неверные или уязвимые параметры приводят к снижению безопасности и уязвимости всей системы шифрования.

Модели угроз и критерии стойкости

Криптографическая стойкость алгоритмов на эллиптических кривых определяется способностью противостоять как теоретическим атакам на математическую основу системы, так и практическим атакам на ее реализацию. Основным фактором, обеспечивающим безопасность ECC, является вычислительная сложность задачи дискретного логарифмирования на эллиптической кривой (ECDLP). На сегодняшний день не существует алгоритмов, которые могли бы решать эту задачу за полиномиальное время на классических вычислительных устройствах, что и определяет высокий уровень защиты[8].

При анализе моделей угроз обычно выделяют два ключевых аспекта: криптостойкость параметров и устойчивость реализации.

На безопасность ECC влияют следующие параметры:

А) Тип и порядок эллиптической кривой

Безопасная кривая должна иметь большую простую подгруппу, исключать наличие специальных уязвимостей (например, аномальных кривых или кривых с малым кофактором).

В) Выбор конечного поля

Чаще всего используются поля вида $\mathbb{F}_p$ или $\mathbb{F}_{2^m}$. Поля бинарного типа могут быть подвержены специфическим криптоанализам, поэтому предпочтение отдается простым полям.

С) Генерация ключей и случайных чисел

Ошибки в генерации случайных значений могут привести к раскрытию секретного ключа, что неоднократно наблюдалось в практике.

Укрепление безопасности достигается за счет увеличения длины ключей, корректного выбора стандартизованных параметров и использования проверенных кривых.

К числу известных атак на криптосистемы на эллиптических кривых относятся:

- атаки на основе алгоритма Полларда – вычисление дискретного логарифма с квадратичной сложностью относительно порядка подгруппы;
- MOV-атака (Menezes-Okamoto-Vanstone) – преобразует ECDLP к дискретному логарифмированию в конечных полях, где применимы более эффективные методы;
- атаки на аномальные кривые – позволяют взломать криптосистему за полиномиальное время, если её параметры выбраны небезопасно.

От правильности выбора кривой напрямую зависит устойчивость криптосистемы к известным методам криптоанализа.

Даже математически стойкие алгоритмы могут быть скомпрометированы при уязвимых реализациях. Наиболее опасными являются [1, 2]:

- атаки по сторонним каналам – измерение времени выполнения, электромагнитных излучений, потребления энергии;
- fault-атаки – внесение ошибок в вычисления с целью раскрытия ключевого материала;
- атаки на повторное использование случайных параметров, особенно при подписании данных.

Как видим, возможностей для ошибки очень много. Поэтому все современные реализации ECC требуют применения механизмов защиты – маскирования вычислений, валидации точек, контроля корректности параметров и аппаратных средств защиты.

Современные методы криптоанализа ECC

Несмотря на высокий уровень математической стойкости криптографии на эллиптических кривых, постоянно развиваются методы криптоанализа, направленные на поиск уязвимостей как в структуре самих кривых, так и в алгоритмах, основанных на них. Эти методы можно условно разделить на две крупные категории – атаки на математическую основу ECC и атаки, ориентированные на реализацию.

А) Математические атаки

На сегодняшний день наиболее известными и практически применимыми являются следующие подходы:

- алгоритм Полларда

Метод ρ и его модификации существенно снижают сложность решения ECDLP по сравнению с полным перебором. Наибольший риск эти атаки создают при неправильном выборе параметров, например, при слишком маленьком порядке подгруппы.

- MOV-атака и атака Фрея-Рюка

Эти методы используют допущение, что некоторые кривые разрешают отображение ECDLP в поле, где существует более эффективный криптоанализ. Такие кривые считаются небезопасными и исключаются из криптографических стандартов.

- атаки на кривые с особенностями структуры

Некоторые аномальные кривые позволяют взламывать криптосистему за полиномиальное время. Также уязвимы кривые, близкие к суперсингулярным.

Как видно, ключевым принципом защиты является использование кривых, прошедших независимую экспертную оценку математической стойкости.

В) Атаки на параметры и генерацию ключей

Даже самая корректная математическая модель может быть скомпрометирована из-за слабой генерации ключевого материала. Основными угрозами являются:

- недостаточная энтропия случайных чисел;
- повторное использование одноразовых параметров (например, значения nonce в ECDSA);
- применение nereкомендованных или недостоверных параметров кривых.

Примеры реальных инцидентов включают взлом подписи Sony PlayStation 3 – из-за повторяющегося nonce [4].

С) Атаки по побочным каналам

Физический доступ к устройству или возможности мониторинга его работы позволяют проводить:

- атаки по времени выполнения операций;

- анализ электромагнитных излучений;
- анализ энергопотребления (SPA, DPA);
- fault-атаки, в которых преднамеренно вызываются ошибки для раскрытия ключей.

В условиях массового распространения криптографии на мобильных устройствах эти угрозы стали особенно актуальными.

D) Влияние квантовых вычислений

Хотя квантовые компьютеры находятся в стадии развития, теоретическая угроза для ECC уже определена – алгоритм Шора способен решить ECDLP за полиномиальное время[17].

Для противодействия рассматриваются постквантовые криптосистемы и гибридные схемы, обеспечивающие совместимость с современными стандартами.

С развитием квантовых технологий переоценка криптостойкости ECC станет обязательной, особенно в долгосрочных системах хранения данных.

Выбор безопасных эллиптических кривых

Ключевым условием безопасности криптосистем на эллиптических кривых является корректный выбор параметров. Даже идеальная криптографическая схема может оказаться уязвимой, если используются кривые с особой структурой или недостаточным уровнем стойкости. Именно поэтому в международных стандартах проводится строгий отбор допустимых эллиптических кривых и параметров полей.

Наиболее широко применяются кривые, рекомендованные:

- NIST (США) – семейства P-192, P-224, P-256, P-384, P-521. Используются во многих государственных и коммерческих системах.
- SECG (Standards for Efficient Cryptography Group) – кривые secp256k1 и др. Secp256k1 известна как основа протоколов в Bitcoin и других блокчейн-системах[3].
- Brainpool – кривые BrainpoolP-256/384/512. Созданы как альтернатива NIST-кривым, с повышенным вниманием к прозрачности генерации параметров

Однако часть исследователей высказывает озабоченность по поводу параметров некоторых NIST-кривых, поскольку их происхождение не до конца прозрачно, что создает теоретический риск наличия скрытых уязвимостей.

С развитием криптоанализа акцент сместился в сторону кривых нового поколения, ключевые преимущества которых – безопасность реализации, защита от атак по побочным каналам и высокая производительность.

К таким кривым относят:

- Curve25519 – де-факто стандарт в безопасных протоколах обмена ключами (TLS 1.3, WireGuard);
- Curve448 – ориентирована на повышенный уровень стойкости;
- Edwards-кривые (например, Ed25519) – обеспечивают быструю и безопасную реализацию цифровой подписи.

Параметры указанных кривых выбирались с максимально возможной прозрачностью, что повышает доверие специалистов.

Несмотря на устойчивость к классическому криптоанализу, ECC уязвима к алгоритму Шора, способному решить ECDLP на квантовом компьютере. В связи с этим рассматриваются гибридные схемы (ECC + постквантовые алгоритмы), обеспечивающие совместимость со старыми системами, а также постквантовые альтернативы – криптография на решётках, кодах или хеш-функциях[10].

Организация NIST уже проводит стандартизацию таких алгоритмов, и в будущем именно они могут заменить ECC в критически значимых системах.

Практическая оценка безопасности

Практическая стойкость криптографических алгоритмов на эллиптических кривых определяется не только теоретическими свойствами математической модели, но и корректностью настройки параметров и реализаций в конкретных программно-аппаратных системах. В условиях реального применения большое значение имеют эксплуатационные риски, связанные как с качеством реализации, так и с особенностями среды функционирования.

Безопасность криптосистемы напрямую связана с размером используемого ключа. Международные стандарты на сегодняшний день рекомендуют:

- не менее 256 бит для защищенности в течение ближайших лет;
- 384-521 бит, если требуется долгосрочная защита данных.

Ключи меньшей длины постепенно выводятся из эксплуатации из-за роста вычислительных мощностей и эффективных криптоаналитических методов.

Даже при использовании безопасной кривой криптосистема может быть скомпрометирована из-за ошибок разработки:

- неправильная обработка ошибок и отсутствие проверки корректности входных данных;
- отказ от валидации точек на кривой, что может привести к атакам типа invalid-curve attack;
- утечки через временные или энергетические каналы.

Особенно уязвимы мобильные и встраиваемые устройства, так как там ресурсы средств защиты ограничены, а физический доступ злоумышленников упрощён.

Существуют документированные случаи компрометации систем на основе ECC:

- использование предсказуемых значений nonce привело к взлому подписи Sony PlayStation 3;
- выявленные некорректные параметры некоторых кривых в проприетарных продуктах;
- компрометация реализации библиотек при недостаточной защите от атак по побочным каналам.

Как видно, игнорирование рекомендаций по реализации ECC может привести к серьёзным последствиям даже при математически стойком алгоритме.

Для обеспечения безопасности ECC на практике применяют[13]:

- маскирование вычислений;
- защита от проникновения ошибок (fault injection);
- аппаратные модули защиты (TPM, криптопроцессоры);
- тестирование и сертификация криптобиблиотек.

Для обеспечения стабильной криптозащиты необходимо использовать комплексный подход, включающий криптографические механизмы и инженерные способы защиты.

Перспективы развития ECC

Криптография на эллиптических кривых уже стала стандартом в большинстве современных систем защиты информации, однако дальнейшее развитие технологий и появление новых угроз требуют постоянного совершенствования методов и подходов. Перспективы развития ECC определяются несколькими ключевыми направлениями: оптимизацией производительности, повышением безопасности и адаптацией к грядущей постквантовой эпохе.

С ростом вычислительных возможностей и расширением сетей «интернета вещей» возрастает потребность в эффективных криптографических алгоритмах:

- продолжается разработка быстрых реализаций ECC для маломощных устройств;
- активизируется использование аппаратных ускорителей и криптографических модулей (HSM);
- разрабатываются новые схемы, минимизирующие энергопотребление и задержки.

Эти улучшения делают ECC привлекательной для систем с жесткими ограничениями по ресурсам (например, беспроводные сенсорные сети, медицинские устройства).

В условиях увеличения числа атак по побочным каналам особое внимание уделяется:

- созданию устойчивых к утечкам реализаций (leakage-resilient cryptography);
- разработке алгоритмов, надёжно работающих в многосторонних вычислениях;
- использованию кривых с минимальной уязвимостью к неверной обработке точек.

В будущем безопасность реализаций будет играть все большую роль, поскольку угрозы становятся более технологичными.

Вместе с тем, появление квантовых вычислений ставит под сомнение долгосрочную надежность ECC:

- алгоритм Шора принципиально угрожает безопасности ECDLP;
- ряд систем, защищающих критически важные данные, уже сегодня требует планирования перехода на постквантовые решения.

Приоритетное направление – гибридные криптографические схемы, сочетающие ECC с постквантовыми алгоритмами, такими как:

- криптография на решётках;
- хэш-подписи.

Такие схемы обеспечивают плавный и безопасный переход к полностью постквантовым стандартам.

В настоящее время международные организации продолжают активно работать над обновлением стандартов:

- расширяется список рекомендованных безопасных кривых;
- повышается внимание к прозрачности происхождения параметров;
- ведутся исследования по сокращению зависимости от потенциально уязвимых структур.

Повышение открытости и доверия со стороны криптографического сообщества является важным условием дальнейшего развития ECC.

Заключение

Благодаря высокому уровню безопасности при относительно небольших размерах ключей криптография с использованием эллиптических кривых прочно заняла свое место в современных системах защиты информации. Эффективность и универсальность сделали ECC оптимальным выбором для широкого спектра

приложений – от защищенных интернет-протоколов и смарт-карт до криптовалютных систем и встраиваемых устройств.

Проведенный анализ показал, что безопасность криптографии на основе эллиптических кривых определяется множеством факторов – выбором надежных параметров кривой, корректной генерацией и управлением ключами, устойчивостью к применяемым криптоаналитическим методам, а также обеспечением безопасности реализации против атак по побочным каналам. Следование современным стандартам и рекомендациям позволяет свести к минимуму множество распространенных ошибок, однако это требует высокого уровня квалификации разработчиков.

Особую актуальность приобретает возможность появления настоящих квантовых компьютеров, способных компрометировать фундаментальную основу безопасности ECC – сложность задачи дискретного логарифмирования в конечных полях. В связи с этим актуальными становятся вопросы развития гибридных криптосистем, использующих как классические, так и квантово-устойчивые алгоритмы для обеспечения безопасности в переходный период, а также разработка устойчивых к квантовым атакам решений.

В заключение необходимо отметить, что криптография на эллиптических кривых по-прежнему является одним из самых перспективных направлений в обеспечении информационной безопасности. Дальнейшее развитие теоретической базы, совершенствование практических методов реализации, внимательное слежение за возникающими угрозами и уязвимостями – все это является необходимым условием для сохранения и укрепления высокого уровня безопасности в условиях стремительного развития цифровых технологий.

References

1. Абдурахманова, Н. Н. Стойкость известных схем алгоритмов электронной цифровой подписи на эллиптических кривых / Н. Н. Абдурахманова // Информатика: проблемы, методология, технологии. – Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2016. – С. 12-23.
2. Анализ псевдослучайных последовательностей на эллиптической кривой / М. Г. Бабенко, Е. С. Карнаухова, В. А. Кучуков, Н. Н. Кучеров // Молодой ученый. – 2011. – № 11-1. – С. 12-14.
3. Андреев, Е. В. Исследование областей практического применения средств криптографической защиты информации, реализующих алгоритмы на эллиптических кривых / Е. В. Андреев // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2015. – № 7(109). – С. 90-91.

4. Бахарев, А. О. О стойкости некоторых алгоритмов над группой точек эллиптических кривых / А. О. Бахарев, К. Д. Царегородцев // Прикладная дискретная математика. Приложение. – 2024. – № 17. – С. 63-70.
5. Бутенко, А. А. Алгоритм кодирования данных в блокчейне с использованием эллиптических кривых и его экономический эффект / А. А. Бутенко, Д. Д. Сопецко // Экономика и инновации. – Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2022. – С. 44-49.
6. Васютина, А. П. Оптимизация постквантового криптографического протокола, основанного на изогениях суперсингулярных эллиптических кривых / А. П. Васютина, П. Г. Ключарев // Безопасные информационные технологии. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2023. – С. 40-43.
7. Жданов, О. Н. Эллиптические кривые: Основы теории и криптографические приложения : Основы защиты информации / О. Н. Жданов, В. А. Чалкин. Том 7. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2020. – 200 с.
8. Зайцева, И. В. Эллиптические кривые и их актуальность в криптографических системах / И. В. Зайцева, Н. С. Окулов // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2015. – Т. 1, № 8. – С. 593-596.
9. Кобенко, А. В. Алгоритмы генерации псевдослучайных чисел: анализ криптостойкости и эффективности / А. В. Кобенко, Д. А. Есипов, И. В. Тестова // Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения. – Тольятти: Издатель Качалин А.В., 2019. – С. 116-122.
10. Коновалов, Г. Г. Эволюция методов криптографической защиты информации / Г. Г. Коновалов, Д. А. Бощенко // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2025. – № 10-2(109). – С. 55-60.
11. Криптографические системы на эллиптических кривых / М. Овезова, М. Дурмаммедов, Ш. Сапаров, М. Юзбашиев // Cognitio Rerum. – 2024. – № 11. – С. 58-60.
12. Левин, В. Ю. Анализ повышения криптографической сложности систем при переходе на эллиптические кривые / В. Ю. Левин, В. А. Носов // Интеллектуальные системы. – 2008. – Т. 12, № 1-4. – С. 253-270.
13. Обухова, А. Е. Анализ криптографической стойкости алгоритма симметричного шифрования / А. Е. Обухова // Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве. – Воронеж: ООО «НАУЧНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ГУСЕВЫХ», 2019. – С. 63-67.
14. Постквантовый криптографический протокол выработки общего ключа, основанный на изогениях суперсингулярных эллиптических кривых / С. В. Гребнев, П. Г. Ключарев, А. М. Коренева [и др.] // Безопасные информационные технологии. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (Москва), 2021. – С. 99-103.

15. Пятин, В. С. Клептографическая атака на криптографические протоколы на основе эллиптических кривых / В. С. Пятин, В. В. Клочков, В. В. Зайцев // НеокВЕСТ. – 2024. – № 1. – С. 33-35.
16. Салаев, А. К. Эффективность и безопасность криптографических алгоритмов на основе эллиптических кривых по сравнению с алгоритмом RSA / А. К. Салаев, А. Ш. у. Сатторов, У. С. у. Хайитбоев // Universum: технические науки. – 2025. – № 3-1(132). – С. 23-27.
17. Терновая, А. К. Обзор и применение квантового алгоритма Шора в дешифровании в системах криптографии, основанных на эллиптических кривых / А. К. Терновая // Молодой ученый. – 2022. – № 45(440). – С. 18-21.
18. Тырыгина, Г. А. Выбор эффективного метода подбора эллиптической кривой для реализации на ней криптографической системы / Г. А. Тырыгина, Р. Р. Хайбуллин // Молодой ученый. – 2017. – № 3(137). – С. 53-56.
19. Хуцаева, А. Ф. Анализ стойкости криптографических схем, основанных на изогениях несуперсингулярных эллиптических кривых / А. Ф. Хуцаева // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – Санкт-Петербург: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», 2022. – С. 130-133.
20. Штыркина, А. А. Криптографический контроль доступа на основе изогений эллиптических кривых / А. А. Штыркина, А. В. Ярмак, Е. Б. Александрова // Неделя науки СПбПУ. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – С. 284-286.

UDC 004

Ziangirova L.F. Application of technologies of cloud computing in education

Ziangirova L.F.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Abstract. *The article presents a study of the course "Cloud computing" in the training of students in the direction of preparation "Applied Informatics". There are considered basic model of cloud computing services, the advantages and disadvantages of cloud computing model, the basics of cloud services, and a choice of cloud services.*

Keywords: *Cloud computing model Infrastructure as a Service, Model Platform as a Service, Model Software as a Service, virtual network, virtual hardware, information infrastructure, cloud storage services.*

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

1. INTRODUCTION

One of the main trends in the development of information technologies at the moment is the implementation of cloud computing.

The course "Cloud computing" is aimed at teaching students enrolled in the direction "Applied Informatics", used in the practice of teaching modern cloud computing technologies.

2. PUBLISHING

In the section "Theoretical Foundations of cloud computing" provides a definition of cloud computing technologies, and a classification of these technologies with explanations and examples are discussed modern trends in the field of computing.

"Cloud computing" is an alternative to the classical model of education. Computer infrastructure and information services are provided as a service "cloud" provider. The documents, programs, e-mails and other data involved in the educational process are stored on remote servers' provider. At the same time there is no need for the institution include its own expensive IT-infrastructure and pay for computing resources, which in most cases are not used to full capacity.

Significant contribution to the study of cloud computing have D. Avresky, S. Ahson, B. Sosinsky, K. Hwang, G. Fox, V.P. Potapov, V.V. Gubarev. There are a variety of service models of cloud computing: model IaaS – Infrastructure as a service, model PaaS – Platform as a Service and a model SaaS – Software as a service.

Infrastructure as a Service. At this level, the user constructs his own IT-infrastructure into the cloud and operate it. For example, create virtual networks, adds virtual hardware (servers,

storage, database), sets required to operate the application software and operating systems, ie. It uses a cloud as if it were a real IT-infrastructure of educational institution. IaaS-known solutions are: Google Compute Engine, Microsoft Azure, Amazon Cloud Formation.

Platform as a Service. If the basis of class IaaS cloud applications are virtualization technologies, the solutions of a class "platform as a service" require additional tools to develop network applications with greater efficiency and lower cost, in addition to virtualization. Ways to improve the efficiency and reduce the cost of application development can be a lot, and the technology underlying the decisions PaaS, as are diverse [1]. At this level, a provider of cloud services gives the user access to operating systems, data base management, development tools and testing. Thus, the consumer is able to cloud-based services and tools for self-build, test and operates the software. The entire information infrastructure (computer networks, servers and storage) managed by the provider. The most famous PaaS-services: Google App Engine (for software development languages Java, Python), Microsoft Azure (for ASP.NET, PHP), Cloud Foundry (programming languages Java, Ruby).

Software as a Service. At this level, provider allows users clouds software. All data is stored in the cloud, and to access them the user need only to have a web browser. This type of cloud computing does not require additional costs for installing and configuring the software. In most cases, payment for use of the software under SaaS is calculated based on the number of users and does not involve the so-called Enterprise-licenses allowing the use of a certain service for any number of users without any restrictions. Samples of free SaaS-solutions for educational institutions: Google Apps for Education and Microsoft Office 365 for education. It contains the functions of office package (work with documents, tablesheets, and presentations), means effective submission of information (in the form of presentations, videos) and communication (e-mail, instant messaging).

In recent years, attracted the most attention hybrid "clouds", Hybrid "clouds" are the introduction of a cloud computing, in which part of the system is placed in the public "cloud," ie, based on the data centers of cloud providers, and some – in a private "cloud", ie on servers owned by the company itself. In fact, hybrid "cloud" is not an independent type of cloud deployments, but only points to the close integration of public and private cloud systems [1].

In recent years, major cloud companies are actively rebuild its strategy with the "hybridization" of cloud computing. For example, Amazon Web Services is planning to develop not only by building their own services, but also by creating a community partners and vendors, the services that will be integrated with the cloud-based platform from Amazon [1]. Microsoft is moving toward a hybrid model more consistent, which cloud strategy involves the possibility of placing computing power of choice: in your own site, in a public "cloud" or a service provider. Therefore, Microsoft allows you to combine elements of public and private

"clouds" in those ratios, which are most convenient for the company. Under this strategy, Microsoft has recently added the ability to own premises generated virtual machine in the "cloud" Windows Azure [1].

In the "Basics of cloud services" provides an overview of the most popular cloud services technologies, are examples of popular cloud storage services.

Today on the Internet there are many free services cloud storage. Each of others are offering the possibility for storage of any type, from office documents and ending with multimedia information. Nearly all of the providers of these services offer the following services for free: the amount of free storage; automatic synchronization of data stored across all the devices that are connected to cloud services; security of storage in the "cloud"; the possibility of public access through the Internet to files stored in the cloud, to any person; data reliability.

In the "Choice of cloud services and the associated risks" provides guidance on the use of cloud services. Also explains the advantages and disadvantages of this approach, highlights issues of organizational and legal changes that may occur as a result of the implementation of cloud technologies in the educational process.

Application of cloud computing in the field of education has the following advantages: cost-effectiveness, scalability, availability, meeting the needs of users, reducing the impact on the environment ("green" technology).

1. Cost. Using cloud technology does not require the cost of the creation and maintenance of its own data centers, purchase of server and network equipment to create their own IT-infrastructure, software installation.
2. Scalability. An educational institution is to gradually increase the volume of services used without significant upfront investment.
3. Availability. This property is conveniently cloud services for teachers and students as they can realize the opportunities for training at almost any time and are not dependent on local information and educational resources agencies.
4. Meeting the needs of users. User data is accessible from anywhere where there is internet and from any device (PC, smartphone, tablet).
5. Reducing the environmental impact. In accordance with the "green" concept data centers use energy-saving technologies in the design and operation.

Consider the risks associated with cloud computing: data security, vendor lock, unwanted advertisements, collect service data, confidential information.

1. Data security. Data are encrypted at the transmission through open channels of data, it is signed a confidentiality agreement data at the conclusion of the contract with the provider.

2. Binding to the provider. Because cost of migration from the local environment in the cloud are significant, like if the supplier ceases to meet the needs of the educational institution on any criteria (increased fee for use, the market will be a cheap service, etc.), then it will be difficult to replace.

3. Unwanted advertising. There are following types of advertising: graphics, text, video and audio advertising, newsletter advertising mail.

4. Collecting service data. For example, Microsoft may automatically collect certain information about service performance Microsoft Live@Edu on users' computers.

5. Confidential information. When transferring personal data outside the country, Microsoft agrees to adhere to the principles of the agreement Safe Harbour (outlined US Department of Commerce), regarding the collection, use and storage of the data received from other countries. All personal details are protected in accordance with Directive 95/46 / EC of the European Parliament and the Council.

Recommendations regarding the selection of the service provider share the following areas: functionality, platform, technical features, convenience and accessibility for users, contract costs.

The labs conduct analytical review of several cloud services provider. Using search engines on the Internet students are found cloud projects correlate them with the proposed classification of the lecture and formulate recommendations for the use of service discussed in the education system.

Students also learn the basics of Moodle in the cloud and create a teacher-led training courses and place them in a special cloud. For example, in the cloud material is presented on the following topics of the course "Computer systems, networks and telecommunications", "Overview of computer systems, networks and telecommunications. "Classification of computer systems", "Physical fundamentals of computing processes", "Fundamentals of construction and operation of computers", "Functional and structural organization of the computer", "Features of the functioning and organization of computers of different classes", "Classification and architecture of computer networks", "The structure and characteristics of telecommunication systems", "Telecommunication systems", "Design of Computer Networks", "IP-telephony over computer networks", "Firewall", "The effectiveness of the networks and their development prospects". The educational complex theoretical information is represented on the design of computer networks and laboratory work [2]. Also the analysis of the organizational and legal consequences of the use of cloud services is carried. Under the guidance of a teacher, students make a list of organizational and legal changes that would need to do in the work of educational institutions.

3. CONCLUSION

Cloud computing – software and hardware, is available to users via the Internet or LAN as a service. Cloud computing can reduce the complexity of IT systems, through the application of a wide range of effective technologies, managed independently and available on-demand within a virtual infrastructure.

References

1. Cloud services. "View from Russia", Ed. E.Grebneva. Moscow, 2011.
2. Ziangirova L.F. Methodics of studying the theme "Designing computer networks" while training students in areas of training "Applied Informatics", Computer Science and Education, 2014, No №9 (258), pp. 58-59.

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS

UDC 528.4 (076.5)

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Lomakina N.E., Remizov N.A. Satellite and global positioning methods

Методы спутникового и глобального позиционирования

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, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State 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 Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан

Ремизов Никита Андреевич,

Студент 3 курса

Политехнический институт

ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. In recent decades, the application scope and number of national Global Navigation Satellite Systems (GNSS) have rapidly expanded. This study analyzes modern correction methods in Precise Point Positioning (PPP) and compares the accuracy of PPP and Real-Time Kinematic (RTK) in field conditions. The integration of GNSS with inertial navigation systems, error assessment methodologies, and practical recommendations for surveyors are discussed. Results indicate that RTK provides optimal accuracy where base station infrastructure is available, while PPP offers autonomous global positioning with longer convergence times.

Keywords: Global Navigation Satellite Systems, GNSS, Precise Point Positioning, PPP, Real-Time Kinematic, RTK, GNSS and INS integration, surveying, error assessment, satellite positioning.

Аннотация. В последние десятилетия стремительно расширяется область применения и число национальных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Это исследование посвящено анализу современных методов коррекции ошибок позиционирования в методе Precise Point Positioning (PPP) и сравнительному анализу точности PPP и Real-Time Kinematic (RTK) в полевых условиях. Рассмотрены особенности интеграции GNSS с инерциальными навигационными системами, методики оценки погрешностей, а также практические рекомендации для маркшейдеров по выбору оптимального метода в зависимости от условий работы. Результаты показывают, что RTK обеспечивает максимальную точность при наличии инфраструктуры базовых станций, тогда как PPP подходит для автономного глобального позиционирования с более длительным временем сходимости.

Ключевые слова: Глобальные навигационные спутниковые системы, GNSS, Precise Point Positioning, PPP, Real-Time Kinematic, RTK, интеграция GNSS и INS, маркшейдерия, оценка погрешностей, спутниковое позиционирование.

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

Введение

Современные методы спутникового и глобального позиционирования играют ключевую роль в обеспечении точного определения координат объектов на Земле. Они находят применение в геодезии, сельском хозяйстве, навигации, мониторинге и многих других сферах. Наиболее распространены два основных подхода: Real-Time Kinematic (RTK) и Precise Point Positioning (PPP), каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и области применения [2-3].

Методы спутникового позиционирования

Среди основных методов спутникового позиционирования выделяются:

Абсолютный метод — самостоятельное вычисление координат приемником по сигналам от четырех и более спутников. Точность ограничена метрами.

Относительный метод (Дифференциальные методы) — использование базовой станции с известными координатами для передачи поправок роуминговым приемникам. Достигается сантиметровая точность.

Метод PPP — использует глобальные корректирующие данные (точные эфемериды и ошибки часов спутников), обеспечивая высокую точность автономно, без базовых станций. Современные алгоритмы PPP применяют фильтры Калмана, многоканальные измерения и ионосферные модели для коррекции ошибок, достигая точности до 10 см и лучше после периода сходимости.

Современные методы устранения ионосферных ошибок в PPP

В PPP для устранения ионосферных ошибок используются двойные и многочастотные измерения, позволяющие оценить и компенсировать задержки в прохождении спутниковых сигналов через ионосферу. Применяются глобальные и региональные ионосферные модели, корректирующие данные от сервисов IGS и других,

а также усовершенствованные алгоритмы фильтра Калмана, которые рекурсивно обновляют оценки состояния, адаптируясь к изменяющимся условиям [1-3].

RTK широко используется для кадастровых и инженерных съемок, где требуется оперативное получение координат с точностью до сантиметров. Настройка базовой станции включает выбор стабильного места с открытым обзором неба, установку антенны на жесткую опору, подключение к источнику питания и каналам связи (радио или GSM). После калибровки и проверки качества связи станция начинает трансляцию RTCM сообщений с поправками для мобильных приемников. Важно регулярно проводить технический осмотр оборудования и обновлять программное обеспечение.

Объединение GNSS и MEMS INS на уровне фильтра Калмана позволяет компенсировать временную потерю сигнала спутников и повысить надежность позиционирования. Данные инерциальных датчиков (гироскопы, акселерометры) калибруются и поступают в фильтр Калмана вместе с позиционными данными GNSS. Фильтр вычисляет оптимальную оценку положения и ориентации объекта, используя преимущества точных GNSS-параметров и высокой динамики INS, что обеспечивает непрерывное и устойчивое позиционирование в сложных условиях [5-7].

Результаты.

Оценка погрешностей включает анализ стандартного отклонения, RMS ошибок, индексов PDOP, влияния мультипут-эффектов, ионосферных и тропосферных возмущений. Методы оценки включают статистический анализ серий измерений, контрольные сравнения с эталонными координатами, моделирование различных условий и использование фильтров для минимизации шумов и систематических ошибок [7-8]. Сравнение точности PPP и RTK в полевых условиях приведено в таблице 1.

Таблица 1

Метод	Точность	Особенности
PPP	До 10-20 см (после сходимости)	Автономный, без необходимости базовой станции, подходит для глобальных и удаленных зон, требуются время и корректирующие данные
RTK	До 1-3 см	Мгновенный режим, требует базовой станции и постоянной связи, высокая точность на ограниченной территории

Результаты анализа основных источников погрешностей в GNSS позиционировании, включающие ионосферные, тропосферные и мультипут-ошибки, а также влияние геометрии спутниковой конstellляции (PDOP) отражен в таблице 2.

Таблица 2.

Источник ошибки	Описание	Максимальный вклад в ошибку, м	Особенности
Ионосферная задержка	Задержка сигнала из-за ионаселенности слоя ионосферы	До 5 (в зените), локально до 10-20	Зависит от времени суток, солнечной активности
Тропосферная задержка	Атмосферные эффекты на высоте до 10 км	0.1 - 0.5	Воздействие водяного пара, температуры, давления
Мультипут (многолучевое распространение)	Отражения сигналов от зданий, поверхности	До нескольких метров	Наиболее критичен в городских и горных условиях
Ошибки часов и эфемерид	Ошибки в данных спутников	До 1-2	Постоянно корректируются службами контроля

Таблица 3.

Метрика PDOP (Position Dilution of Precision)	Влияние на точность
PDOP < 2	Отличная геометрия спутников, высокая точность
$2 \leq \text{PDOP} < 5$	Приемлемая точность, чаще всего используемая
PDOP ≥ 5	Плохая геометрия спутников, сниженная точность

Данные таблиц 2, 3 актуальны для практической оценки и компенсации погрешностей GNSS, что позволяет выбирать оптимальные методы коррекции и обеспечивать качественное позиционирование в различных условиях [9-10].

Обсуждение результатов. Сравнительный анализ показал, что в полевых условиях RTK обеспечивает более высокую точность определения координат с погрешностями на уровне 1-3 см благодаря использованию дифференциальных поправок от базовой станции и мгновенной передаче данных. В то же время PPP демонстрирует погрешности в пределах 10-30 см, что выше, однако не требует наличия базовой станции и позволяет работать автономно в удаленных зонах с глобальным покрытием. Продолжительность сходимости решений PPP значительно больше, что ограничивает его использование в задачах, требующих быстрых результатов. Тем не менее с помощью современных алгоритмов фильтра Калмана и многочастотных измерений точность PPP продолжает улучшаться.

Данные мультисистемного позиционирования с интеграцией GNSS и инерциальных навигационных систем (INS) подтверждают повышение надежности и непрерывности позиционирования, особенно в условиях затрудненного приема спутниковых сигналов — в лесу, городских застройках, тоннелях. Использование фильтра Калмана позволяет эффективно объединять данные с разных сенсоров, компенсируя недостатки каждого из них [3-4].

Оценка погрешностей спутникового позиционирования основана на комплексном учете ионосферных, тропосферных и мультипут-ошибок, а также геометрии спутниковой конфигурации (PDOP). Современные методы адаптивной фильтрации и использование сервисов корректирующих данных существенно снижают влияние систематических и случайных ошибок, что критично для задач маркшейдерского контроля [4-6].

Заключение

RTK и PPP представляют собой взаимодополняющие технологии спутникового позиционирования. RTK предпочтителен для задач, требующих высокой оперативности и точности в зонах с наличием базовых станций. PPP подходит для автономного позиционирования на больших расстояниях и в труднодоступных районах, где невозможно или нецелесообразно организовать инфраструктуру базовых станций.

Для маркшейдеров рекомендуется использовать гибридный подход: применять RTK для точных локальных съемок и PPP для мониторинга больших территорий и объектов в удаленных местах. Интеграция GNSS с инерциальными системами обеспечивает устойчивость навигации в сложных условиях и повышает качество данных.

Практические рекомендации включают тщательную настройку и регулярное обслуживание оборудования, использование современных сервисов корректирующих данных, а также проведение регулярной оценки и анализа погрешностей с применением статистических методов. Это обеспечит высокую достоверность и эффективность маркшейдерских измерений и мониторинга.

References

1. Ганагина И. Г., Косарев Н. С., Темирбулатов Р. Ф. Выбор ГНСС аппаратуры для реализации точного позиционирования подвижных объектов // «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014»: X Междунар. науч. конгр., 8–18 апреля 2014 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: Сб. материалов в 2-х томах. — Новосибирск: СГГА, — 2014. — Т. 1. — № 2. — С. 118–123
2. Кинкулькин И.Е. Глобальные навигационные спутниковые системы. Алгоритмы функционирования аппаратуры потребителя. — М.: Радиотехника, 2018. — 325 с. — ISBN 978-5-93108-175-5.
3. Ключин Е.Б., Кравчук И.М. Анализ алгоритма обработки результатов спутниковых измерений фазовым методом // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2019 Т. 63 № 4 С. 375–384. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-4-375-384.

4. Ключин Е.Б., Кравчук И.М. Спутниковая навигационная система – уникальный инструмент для фундаментальных научных исследований. // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2017 Т. 61 № 5 С. 14–18.
5. Корчёмкина Е. Н., Райкина А. О. Источники погрешности спутниковых данных в весенний период в Черном море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022 № 4 С. 39–51. EDN YQDXKA. doi:10.22449/2413-5577-2022-4-39-51
6. Платонов С. А., Готов В. Д. Исследование вопросов мониторинга системы ГЛОНАСС при использовании высокоточных методов позиционирования // Труды МАИ. — 2014. — № 77. — С. 1-18.
7. Терехин С. Н., Синещук Ю. И. Анализ систем спутниковой радионавигации, базирующихся на различных методах ретрансляции // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2011. — № 4. — С. 42–47.
8. Яценков В. С. «Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС» / В. С. Яценков. — Москва : «Горячая линия-Телеком», 2005. — 272 с.: ил., табл. — ISBN 5-93517-218-6.
9. Grewal M. S., Weill L. R., Andrews A. P. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2007. 416 с.
10. Morton Y. T. Jade, van Diggelen F., Spilker J. J. Jr. Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications. New York: IEEE Press, 2020. 512 с.

UDC 004.056.53

Korbakov D.A. The influence of high-frequency electromagnetic pulses on the hardening and strength of gypsum-sand compositions and concrete

Влияние высокочастотных электромагнитных импульсов на твердение и прочность гипсопесчаных композиций и бетона.

Korbakov Denis Alexandrovich,

Ph.D., Associate Professor, Department of production automation and information technology Kolomna Institute (branch) of the federal state autonomous educational institution of higher education «Moscow Polytechnic University»

Корбаков Денис Александрович,
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производства и информационных технологий Коломенского института (филиала) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»

Abstract. This article examines a promising approach to modifying building materials using high-frequency electromagnetic pulses. The physical mechanisms by which electromagnetic fields influence hydration and structure formation in gypsum-sand composites and concrete are analyzed. The results of experimental studies demonstrating the positive impact of the treatment on hardening kinetics and strength properties are summarized. Key advantages of the technology, such as accelerated strength gain, a 15–40% increase in ultimate strength, and improved structural homogeneity, are identified. Its disadvantages, including the high cost of equipment and the risk of uneven impact, are systematized. A conclusion is drawn regarding the method's significant potential for optimizing the production of building materials.

Keywords: high-frequency electromagnetic pulses, gypsum-sand compositions, concrete, hardening, strength, hydration, structure formation, microwave processing.

Аннотация. В статье рассмотрено перспективное направление модификации строительных материалов с использованием высокочастотных электромагнитных импульсов. Проанализированы физические механизмы воздействия электромагнитных полей на процессы гидратации и структурообразования в гипсопесчаных композициях и бетоне. Обобщены результаты экспериментальных исследований, демонстрирующие положительное влияние обработки на кинетику твердения и прочностные характеристики. Выявлены ключевые преимущества технологии, такие как ускорение набора прочности, повышение конечной прочности на 15–40% и улучшение структурной однородности, а также систематизированы её недостатки, включая высокую стоимость оборудования и риск неравномерного воздействия. Сделан вывод о значительном потенциале метода для оптимизации производства строительных материалов.

Ключевые слова: высокочастотные электромагнитные импульсы, гипсопесчаные композиции, бетон, твердение, прочность, гидратация, структурообразование, СВЧ-обработка.

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

1. Введение

Современное строительство предъявляет повышенные требования к качеству, долговечности и технологичности производства материалов. В связи с этим

актуальными являются исследования, направленные на разработку и внедрение энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий. Одним из перспективных инструментов модификации строительных материалов, таких как гипсопесчаные композиции и бетон, является применение высокочастотных электромагнитных импульсов [1]. Данный метод позволяет целенаправленно влиять на ключевые процессы структурообразования, что открывает возможности для управления свойствами материалов на стадии их формирования.

Целью настоящей работы является анализ влияния высокочастотных электромагнитных импульсов на кинетику твердения и конечную прочность гипсопесчаных композиций и бетона, с особым вниманием к нетепловым аспектам воздействия.

2. Теоретические аспекты воздействия электромагнитных полей

Воздействие электромагнитных полей высокой частоты на дисперсные и структурированные системы, к которым относятся строительные смеси, осуществляется через несколько физических механизмов.

- **Изменение молекулярной ориентации.** Высокочастотные колебания электромагнитного поля вызывают переориентацию полярных молекул воды, играющей ключевую роль в процессах гидратации. Это способствует ускоренному образованию коллоидного геля и последующему формированию более плотного и прочного кристаллического каркаса [1].

- **Активизация поверхности твердых частиц.** Электромагнитное поле повышает химическую и физическую активность поверхностных слоев частиц вяжущего и заполнителей. Это интенсифицирует реакции гидратации, способствует образованию большего количества стабильных соединений и улучшает адгезию между компонентами композита.

- **Создание новых фазовых состояний.** Под воздействием импульсов могут возникать условия, благоприятствующие образованию новых, более прочных и устойчивых кристаллических фаз. Эти фазы формируют плотную мелкокристаллическую структуру, что положительно сказывается на прочностных и деформативных характеристиках материала [1].

3. Результаты экспериментальных исследований

3.1. Гипсопесчаные композиции

Экспериментальные данные подтверждают эффективность электромагнитной обработки для гипсовых систем. Исследования, проведенные Лаптевой С.Н., показали, что СВЧ-обработка способствует формированию мелкокристаллической структуры дигидрата сульфата кальция [1]. Такая структура характеризуется уменьшением

размера пор и более равномерным распределением кристаллов, что приводит к существенному улучшению механических свойств гипсопесчаных композиций по сравнению с образцами, твердевшими в нормальных условиях.

3.2. Бетон

Применение высокочастотных импульсов для активации вяжущих систем и бетонных смесей также демонстрирует положительную динамику. Установлено, что электромагнитная активация способствует увеличению степени гидратации цементного камня и образованию стабильных новообразований [3, 4]. Это приводит к значительному улучшению механических свойств бетона. Отдельные исследования отмечают, что предварительная электромагнитная обработка воды затворения позволяет повысить прочность бетона на сжатие на 15–40% [5].

4. Обсуждение: преимущества и недостатки метода

Анализ технологии позволяет выделить ряд значительных преимуществ и существующих ограничений.

4.1. Преимущества:

- **Ускорение твердения.** Интенсификация гидратации позволяет сократить время набора прочности, что критически важно для скоростного строительства и производства сборного железобетона.
- **Повышение прочности.** Формирование плотной мелкокристаллической структуры обеспечивает рост прочности на 15–40%.
- **Улучшение структурной однородности.** Снижение количества макропор и дефектов повышает долговечность материала.
- **Экологичность.** Снижение расхода цемента для достижения целевых прочностных показателей способствует уменьшению углеродного следа.
- **Технологическая гибкость.** Обработке могут подвергаться как вода затворения, так и готовая смесь.

4.2. Недостатки и ограничения:

- **Высокая стоимость и сложность оборудования.** Внедрение промышленных установок требует значительных капиталовложений.
- **Риск неравномерного воздействия.** Неоднородность распределения поля может приводить к локальным перегревам и возникновению микротрещин.
- **Недостаточная изученность долгосрочных эффектов.** Требуется многолетние исследования для оценки долговечности обработанных материалов.

- **Зависимость от состава смеси.** Эффективность метода варьируется в зависимости от типа вяжущего, заполнителей и добавок, что требует индивидуального подбора режимов.

- **Проблемы масштабирования.** Перенос лабораторных результатов в промышленное производство сопряжен с технологическими трудностями.

5. Заключение

Проведенный анализ свидетельствует о высоком потенциале применения высокочастотных электромагнитных импульсов для модификации гипсопесчаных композиций и бетона. Метод позволяет целенаправленно влиять на микроструктуру формируемого камня, обеспечивая ускорение твердения и значительное повышение прочностных характеристик. Несмотря на существующие технологические и экономические барьеры, дальнейшие исследования в области оптимизации режимов обработки и создания эффективного промышленного оборудования открывают широкие перспективы для массового внедрения данной технологии в практику строительного производства.

References

1. Лаптева С. Н. «Воздействие электромагнитного поля сверхвысоких частот на процессы гидратации и структурообразования гипсовых вяжущих»// диссертация кандидата Технические наук: 2018.
2. Заяханов М.Е. «Повышение эффективности вяжущих и бетонов электромагнитной активацией»// диссертация док тора Технические наук: 2004.
3. Дамдинжапов Б.Ц. «Бетоны, модифицированные с помощью акустического и электромагнитного полей»// диссертация кандидата Технические наук: 2009.
4. Дворкин Л. И., О. Л. Дворкин Л. И. «Активация цементных систем как этап получения качественного бетона.»// <https://m350.ru/articles/more/v/id/93>
5. Смирнов Н.Д. «Экспериментальное исследование воздействия СВЧ-излучения на физико-механические характеристики бетона»//Инженерный вестник Дона, 2023.

УДК 656.078

Vagapov Sh.N. Implementation of automated transport robots in multi-zone warehouse complexes

Внедрение автоматизированных транспортных роботов
в многозональных складских комплексах

Vagapov S.N.

PhD Student, Department of Entrepreneurship and Logistics
Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia
Вагапов Шамиль Наипович
Аспирант, РЭУ им Г.В. Плеханова
Россия, Москва

Abstract. The article is devoted to the study of the implementation processes of automated transport robots in multi-zone warehouse complexes as a key direction for improving the efficiency of logistics infrastructure in the context of the digital economy. The current state of the global and Russian markets for robotic warehouse solutions, the classification of automated transport robots (AGV, AMR, FMR, shuttles, sorting systems), as well as their functional capabilities and application scenarios in various warehouse zones are disclosed. The organizational and economic stages and features of implementing robotic systems are substantiated, including the analysis of design, integration, and operation procedures. The main prospects, constraints, and problems accompanying the robotization of warehouse complexes are specified. Conclusions are made about the impact of robotization on the development of the industry and regional economy, associated with increased productivity and quality of logistics operations, optimization of labor resources, and acceleration of the digital transformation of warehouse activities.

Keywords: automated transport robots; multi-zone warehouse complexes; warehouse robotics; logistics automation; logistics robotization.

Аннотация. Статья посвящена исследованию процессов внедрения автоматизированных транспортных роботов в многозональных складских комплексах в качестве направления повышения эффективности логистической инфраструктуры в условиях цифровой экономики. Раскрыты современное состояние мирового и российского рынка роботизированных складских решений, классификация типов автоматизированных транспортных роботов (AGV, AMR, FMR, шаттлы, сортировочные системы), а также их функциональные возможности и сценарии применения в различных зонах складов. Обоснованы организационно-экономические этапы и особенности внедрения роботизированных систем, связанные с анализом процедур проектирования, интеграции и эксплуатации. Конкретизированы основные перспективы, ограничения и проблемы, сопровождающие процесс роботизации складских комплексов. Сделаны выводы о влиянии роботизации на развитие отрасли и региональной экономики, связанные с повышением производительности и качества логистических операций, оптимизацией трудовых ресурсов и ускорением цифровой трансформации складской деятельности.

Ключевые слова: автоматизированные транспортные роботы, многозональные складские комплексы, складская робототехника, логистическая автоматизация, роботизация логистики.

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

На протяжении последних лет наблюдается активное развитие технологий автоматизации складской логистики. Характерным трендом складирования является фокусирование внедряемых инноваций на деятельности многозональных складских комплексов, т.е. крупных распределительных центров, разделенных на несколько функциональных или температурных зон; с учетом происходящей цифровизации, таковые все чаще становятся объектом именно роботизации. Применение автономных транспортных роботов на складах, как признается, позволяет повысить эффективность операций, сократить зависимость от ручного труда и минимизировать человеческий фактор [6; 9; 11; и др.]. Стремительное развитие электронной коммерции и усложнение цепочек поставок в совокупности определили повышение требований к скорости и точности обработки грузов, что предопределяет необходимость внедрения робототехники в деятельность складов. Кроме того, особую актуальность данный вопрос приобретает на фоне дефицита рабочих кадров в логистике предприятия – роботизация рассматривается в качестве способа поддержать и нарастить операционную деятельность.

Учитывая системное значение указанных вопросов, масштабы цифровой трансформации в целом и роботизации складской логистики, в частности, приобретают беспрецедентный характер. По существующим оценкам Global Market Insights, глобальный объем рынка складской робототехники достиг около 14,7 млрд. долл. США к концу 2024 года (Рисунок 1).



Рис. 1 – Динамика и объем мирового рынка складской робототехники, млрд. долл. США, прогноз [2]

Согласно существующим прогнозам, рынок будет увеличиваться со среднегодовым темпом роста 23,1% и достигнет к 2034 году объема в 117,3 млрд. долл. США. Стремительный рост и динамика рынка будут обусловлены стимулирующим воздействием перехода к интеллектуальным складам. Не менее существенным катализатором ускоренного роста является экспансия электронной коммерции и повышение требований к скорости выполнения заказов, поскольку именно компании в сфере онлайн-ритейла и 3PL-логистики инвестируют в роботизацию складов, что необходимо для компенсации дефицита рабочей силы и возрастающих ежегодно расходов на оплату труда персонала [2; 5].

С позиции структуры рынка наибольшее значение приобретают автономные мобильные роботы, на долю которых в 2024 году приходилось 22,3% от его объема. За ними следуют автоматизированные управляемые транспортные средства (крупногабаритные платформы, используемые на промышленных складах для перемещения тяжелых грузов), которые по прогнозам к 2034 году займут до 1/5 от всего рынка складской робототехники. И примерно такая же доля на современном этапе приходится на сегмент роботизированных манипуляторов, которые используются для автоматизации упаковки, паллетирования и сортировки [2].

Для национального рынка роботизации складов формируется более противоречивая ситуация, поскольку общие трансформационные процессы находятся на начальной стадии. По существующим оценкам, лишь около 80 складов в стране оснащены робототехникой, что составляет 5,9% от всех современных складских площадей. Тем не менее, доля роботизированных складов постепенно увеличивается – крупные логистические операторы и ритейлеры активно инвестируют в автоматизацию, и ожидается, что к 2027 году число роботизированных складов увеличится примерно на 30%. Наиболее высокий спрос на робототехнику прослеживается в сферах электронной коммерции, продовольственного ритейла, фармацевтики и производственной логистики, в которых фактическая нагрузка на склады, а как следствие и потребность в автоматизации, максимальна [3]. Согласно совместному исследованию компаний «Яндекс Роботикс» и «Промышленная робототехника», 87,5% средних и крупных российских компаний рассматривают внедрение мобильных роботов на складах, причем 71,4% предприятий планируют закупить 10 и более таких машин [1]. Отметим, что отечественный рынок развивается при участии как зарубежных игроков, так и российских разработчиков; на протяжении 2024-2025 гг. реализовывались пилотные проекты с использованием десятков роботов на складах ведущих ритейлеров (например, эксплуатация транспортных роботов и сортировщиков на складах маркетплейса Wildberries) [4].

Учитывая сформировавшиеся объективно обстоятельства функционирования решений в области автоматизации и роботизации складской логистики, стоит рассмотреть особенности и перспективы их внедрения применительно к национальным реалиям. Так, как было отмечено нами ранее, под многозональными складскими комплексами понимаются современные логистические объекты, организованные по принципу функционального зонирования пространства, в которых все этапы обработки грузов разделены на самостоятельные технологические зоны, объединенные в единую систему управления на основе цифровых технологий. Основными компонентами многозонального складского комплекса выступают следующие (Рисунок 2):



Рис. 2 – Элементы-участки многозонального складского комплекса, составлено автором

С точки зрения современных технологий, в функционировании многозонального складского комплекса могут быть задействованы множественные технологические решения, к которым можно отнести следующие (Таблица 1):

Таблица 1

Основные типы автоматизированных транспортных роботов, применяемых в работе
 многозонального складского комплекса

Тип робота	Основные характеристики	Основные функции
Automated Guided Vehicles (автоматические управляемые транспортные средства)	Перемещаются по заранее заданным маршрутам с использованием навигационных меток (магнитные ленты, отражатели, провода в полу); работа зависит от специально оборудованных путей; не способны отклоняться от маршрута	Перевозка тяжелых грузов (палет, поддонов) без участия человека
Autonomous Mobile Robots (автономные мобильные роботы)	Оснащены лидарами, камерами и датчиками; работа обходится без навигационных меток; строят маршрут динамически; безопасно взаимодействуют с людьми	Доставка стеллажей и контейнеров по принципу «товар к человеку»; внутренняя транспортировка грузов
Forklift Mobile Robots (автономные погрузчики)	Самоходные вилочные погрузчики без водителя; имеют систему навигации и безопасности; управляются на программном уровне	Подъем, перемещение и штабелирование палет; автоматизация погрузочно-разгрузочных операций
Automated Storage and Retrieval Systems (автоматизированные системы хранения и выдачи)	Небольшие тележки-шаттлы, перемещаются по многоуровневым стеллажам; работают совместно с лифтами и конвейерами	Автоматизированное хранение и выдача коробов и поддонов; оптимизация плотности хранения
Сортировочные роботы	Специализированные мобильные устройства; автономная навигация по заданным направлениям; интеграция с WMS	Автоматическая сортировка товаров и посылок по направлениям или адресам отгрузки
Манипуляторы и вспомогательные роботы	Роботизированные руки, стационарные или мобильные; оснащены системами захвата и позиционирования	Захват, перекладка, укладка и палетирование коробок и товаров; комплектование заказов

Источник: составлено автором по данным [7; 9; 10; 12 и др.]

Отметим, что каждый из представленных типов роботов может выполнять характерный спектр задач в функционировании многозонального складского комплекса; вместе с тем, именно автономные транспортные роботы оказываются перспективными с точки зрения организации основных складских функций. Роботы используются для перемещения товаров от зоны разгрузки до зоны хранения; например, автономные вилочные погрузчики забирают поддоны с входящего груза и перевозят их на стеллажи без участия человека, что закономерно ускоряет процесс приемки и снижает трудозатраты на начальном этапе обработки грузов. Причем в многозональном комплексе роботы перемещают грузы между различными участками; AMR-роботы могут курсировать между зонами хранения охлажденных товаров зоной упаковки, что увеличивает их продуктивность работы. Один из наиболее эффективных сценариев предполагает, что роботы доставляют товары непосредственно к рабочему

месту комплектовщика, т.е. фактически замещают перемещения человека (нередко хаотичные, неорганизованные или более длительные относительно машины, которую отличает повышенная безопасность). Мобильные платформы перевозят стеллажи с необходимым товаром к сотруднику, который отбирает позиции по заказу, что позволяет обслуживать большой объем заказов без расширения площадей и штата сотрудников. Аналогично в зонах сортировки роботы могут автоматически распределять товарные потоки со скоростью около тысячи посылок в час (производится перевоз посылок к ячейкам по направлениям доставки) [6; 8; 11 и др.].

Таким образом, фактически автоматизированные транспортные роботы встраиваются во все операции склада и позволяют улучшить их путем автоматизации; при этом роботы функционируют круглосуточно и синхронизируются с технологической базой склада, например с системой управления складом. Дополнительно могут производиться улучшения работы роботов, связанные с интеллектуализацией маршрутов, совершенствованием операций или выполняемых задач. В целом внедрение автоматизированных транспортных роботов осуществляется итеративно, в ходе чего выполняется несколько сменяющих друг друга и впоследствии циклично воспроизводящихся стадий (Рисунок 3).

На первом этапе проводятся первичная оценка и обоснование внедрения – анализ действующих логистических процессов, определяются узкие участки, на которых автоматизация обеспечит наибольший экономический и организационный эффект. Далее формулируются технические требования, выбирается тип роботов (AGV, AMR, FMR и др.) и система управления складом (WMS/WCS), разрабатывается архитектура взаимодействия оборудования. Производится реализация проекта в ограниченном масштабе с целью проверки корректности технологических и управленческих решений; роботы подключаются к единой цифровой системе управления, проводится настройка взаимодействия с персоналом и обучение сотрудников работе с новой техникой. После успешного тестирования роботизированная система расширяется до расчетного уровня, охватывает все целевые зоны складского комплекса. На заключительном этапе осуществляется постоянный контроль ключевых показателей эффективности, анализируются данные эксплуатации, формируются меры по улучшению производительности и обеспечению готовности системы к изменяющимся условиям работы.



Рис. 3 – Структура этапов внедрения автоматизированных транспортных роботов, составлено автором

Отдельно стоит отметить необходимость учета специфики многозональных складов при внедрении автоматизированных транспортных роботов, поскольку они должны быть готовы к работе в разных условиях. Требуется обеспечить безопасное взаимодействие людей и машин в целях чего наносится разметка, настраиваются зоны замедления и остановки перед участками с персоналом. Каждая зона склада может внедряться поэтапно, с постепенной роботизацией (сначала автоматизируются наиболее типовые и повторяемые операции, затем более сложные), что закономерно снижает риски и позволяет обеспечить готовность персонала к работе с новыми технологиями.

Закономерно, внедрение автоматизированных транспортных роботов связывается с характерными перспективами, развивающимися как на микроуровне, так и с привязкой к региональной экономической системе (Рисунок 4). Как можно заметить, внедрение роботизированных систем на складах является многоуровневым процессом, который охватывает экономические, технологические и социальные эффекты. При этом максимизация положительного влияния возможна при условии преодоления инвестиционных и кадровых барьеров, а также при поддержке локальных разработчиков.

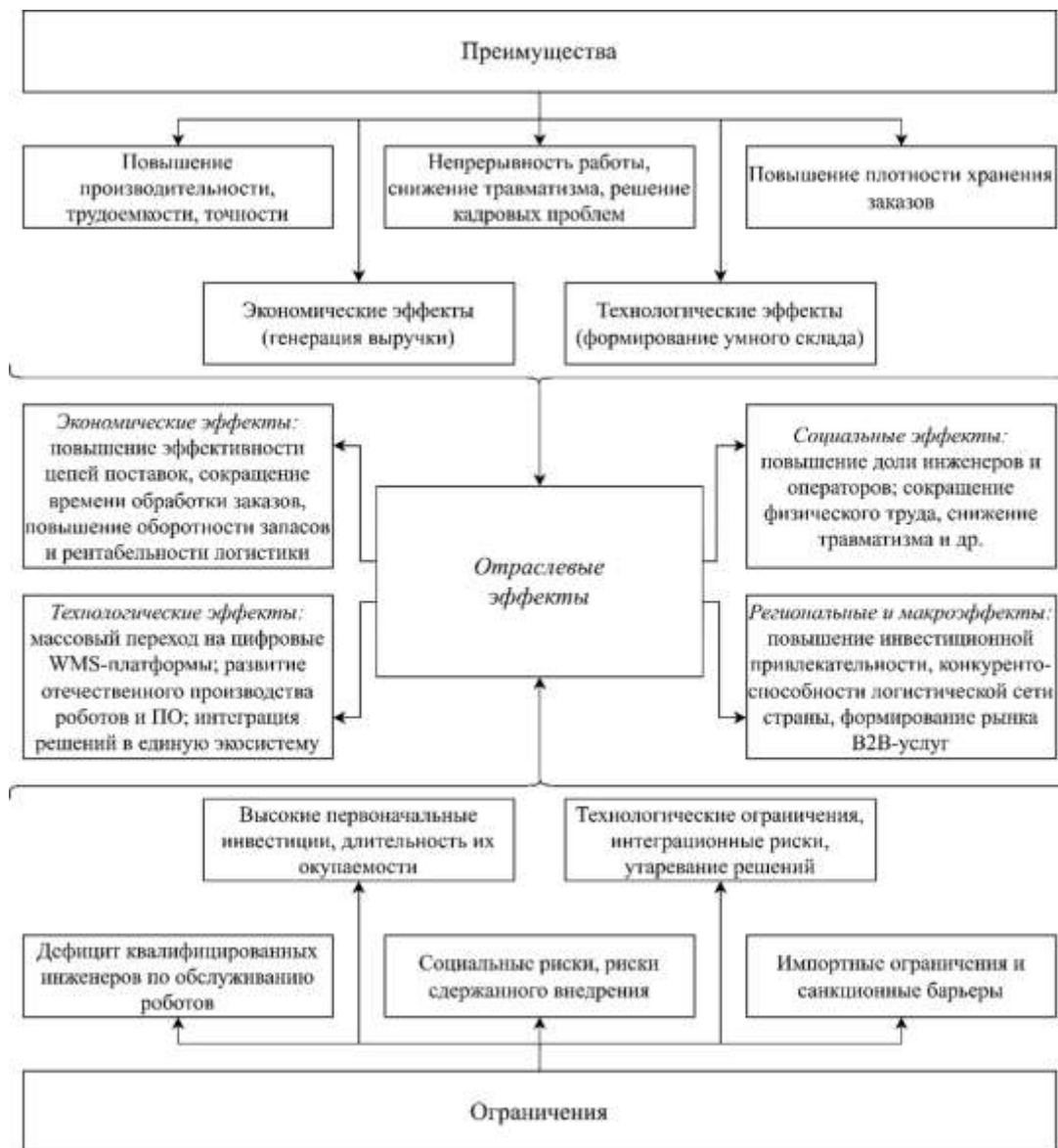


Рис. 4 – Перспективы, ограничения и отраслевые эффекты роботизации складов путем внедрения автоматизированных транспортных роботов, составлено автором

Таким образом, роботизация многозональных складских комплексов выступит неизбежным этапом развития логистической отрасли в условиях цифровой экономики, причиной чему является то, что автоматизированные транспортные роботы способны существенно повысить эффективность складских операций, снизить издержки и повысить качество обслуживания клиентов. Мировой опыт подтверждает существенный экономический эффект от внедрения соответствующих решений; поэтому в национальных реалиях, несмотря на существующие барьеры, крупные игроки продолжают инвестиции в пилотные проекты.

References

1. Большинство опрошенных компаний планируют использовать мобильных роботов на складах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sostav.ru/publication/bolshinstvo-oproshennykh-kompanij-planiruyut-ispolzovat-mobilnykh-robotov-na-skladakh-76620.html> (Дата обращения: 07.10.2025).
2. Размер рынка складской робототехники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gminsights.com/ru/industry-analysis/warehouse-robotics-market> (Дата обращения: 08.10.2025).
3. Рынок автоматизации складов показывает рост [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/7941978> (Дата обращения: 10.10.2025).
4. Wildberries тестирует роботов на складе «Коледино» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://logistics.ru/avtomatizaciya-logistiki-skladirovanie/wildberries-testiruet-robotov-na-sklade-koledino> (Дата обращения: 10.10.2025).
5. Amazon launches a new AI foundation model to power its robotic fleet and deploys its 1 millionth robot [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-million-robots-ai-foundation-model> (Дата обращения: 06.10.2025).
6. Zhang, J., Yang, X., Wang, W., Guan, J., Ding, L., Lee, V.C.S. Automated guided vehicles and autonomous mobile robots for recognition and tracking in civil engineering / J. Zhang, X. Yang, W. Wang [et al.] // Automation in Construction. – 2023. – Vol. 146. – 104699. – DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104699.
7. Fraifer, M.A., Coleman, J., Maguire, J., Trslíć, P., Dooly, G., Toal, D. Autonomous Forklifts: State of the Art—Exploring Perception, Scanning Technologies and Functional Systems—A Comprehensive Review / M.A. Fraifer, J. Coleman, J. Maguire [et al.] // Electronics. – 2025. – Vol. 14. – No. 1. – P. 153. – DOI: 10.3390/electronics14010153.
8. Zhang, H., Long, P., Zhou, D., Qian, Z., Wang, Z., Wan, W. An autonomous forklift research platform for warehouse operations / H. Zhang, P. Long, D. Zhou [et al.]. –

Massachusetts Institute of Technology, Department of Electrical Engineering and Computer Science. – 2018. – Режим доступа: <https://hdl.handle.net/1721.1/121621> (Дата обращения: 07.10.2025).

9. Zhang, H., Long, P., Zhou, D., Qian, Z., Wang, Z., Wan, W. DoraPicker: An Autonomous Picking System for General Objects / H. Zhang, P. Long, D. Zhou [et al.] // arXiv. – 2016. – DOI: 10.48550/arXiv.1603.06317.

10. He, Z., Zhang, X., Jones, S., Hauert, S., Zhang, D., Lepora, N.F. TacMMs: Tactile Mobile Manipulators for Warehouse Automation / Z. He, X. Zhang, S. Jones [et al.] // IEEE Robotics and Automation Letters. – 2023. – Vol. 8. – No. 8. – P. 4729–4736. – DOI: 10.1109/LRA.2023.3287363.

11. Krnjaic, A., Steleac, R.D., Thomas, J.D., Papoudakis, G., Schäfer, L., To, A.W.K. Scalable Multi-Agent Reinforcement Learning for Warehouse Logistics with Robotic and Human Co-Workers / A. Krnjaic, R.D. Steleac, J.D. Thomas [et al.] // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – 2024. – DOI: 10.48550/arXiv.2212.11498.

12. Ellithy, K., Salah, M., Fahim, I.S. AGV and Industry 4.0 in warehouses: a comprehensive analysis of existing literature and an innovative framework for flexible automation / K. Ellithy, M. Salah, I.S. Fahim [et al.] // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2024. – Vol. 134. – P. 15–38. – DOI: 10.1007/s00170-024-14127-0.

CONCLUSION

Issue 11(2) of the International Journal of Professional Science demonstrates how the synergy of biological, engineering, economic, and information science disciplines contributes to solving complex modern problems. The presented research covers key areas: from studying the impact of mental stress on heart rate variability to energy-efficient heating technologies, from assessing industrial risks and agrochemical impacts to analyzing economic efficiency and corporate responsibility in mining. Technical and methodological articles strengthen the foundation for the development of applied solutions in data processing, cryptography, cloud services, and navigation systems, while engineering developments demonstrate practical ways to improve infrastructure resilience and automate logistics.

The materials in this issue reflect the scientific community's commitment to the sustainable, safe, and efficient development of technologies and practices. We hope that the articles in this issue will serve as a foundation for further research, generate ideas for project initiatives, and facilitate the implementation of innovations in industry, healthcare, and education. The editors thank the authors for their contributions and invite readers to continue their discussion of these topics in future issues.

Warm regards,
Krasnova N.
Editor-in-Chief
International Journal Of Professional Science

Electronic scientific editions

International journal of Professional Science

international scientific journal
№11(2)/2025

Please address for questions and comments for publication as well as suggestions
for cooperation to e-mail address mail@scipro.ru



Format 60x84/16. Conventional printed
sheets 7,0
Circulation 100 copies
Scientific public organization
“Professional science”