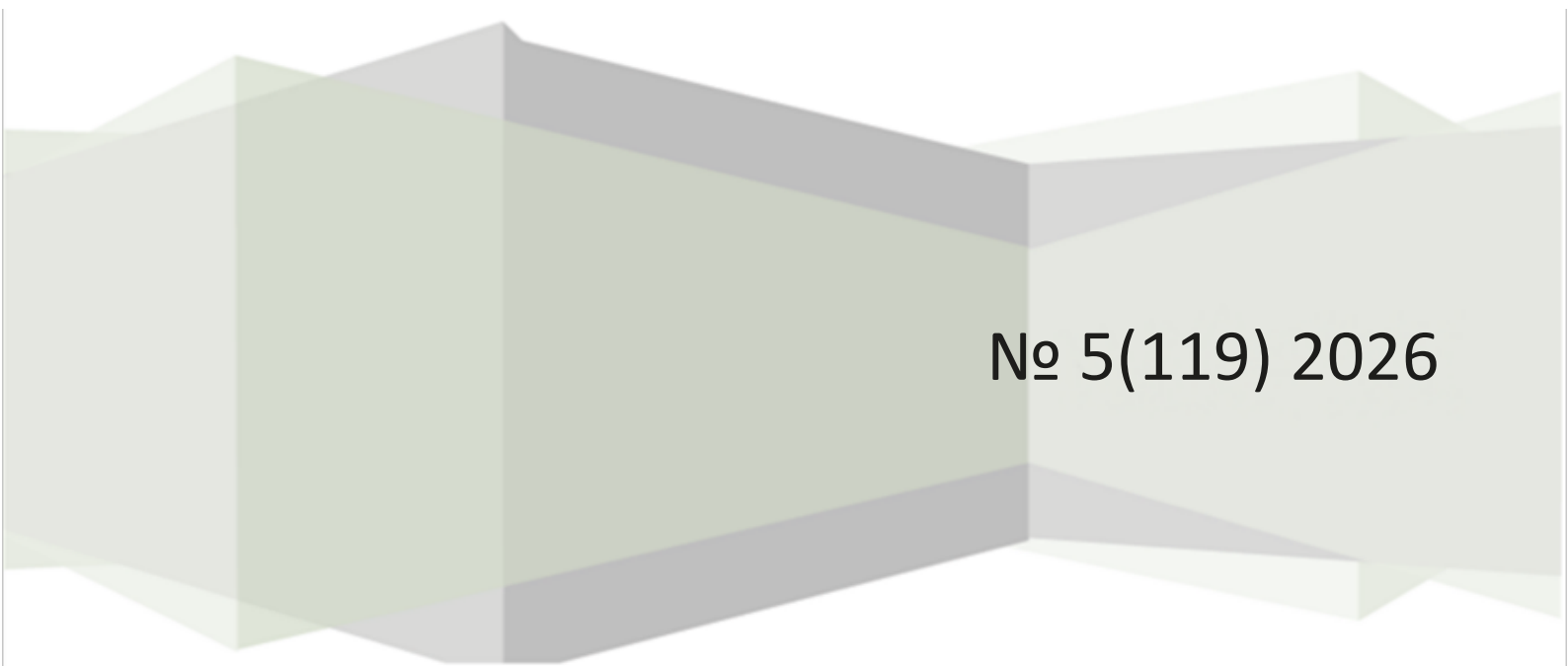


ISSN 1997-9347

Components of Scientific and Technological Progress

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL



№ 5(119) 2026

Санкт-Петербург, 2026

Journal "Components
of Scientific and Technological
Progress"
is published 12 times a year

The journal is registered with
the Federal Service for Supervision
of Communications, Information
Technology and Mass Media and
Cultural Heritage Protection.
Certificate of Mass Media Registration
ПМ № ТУ78-01919.

Founder

Development Fund for Science
and Culture

The journal "Components of Scientific
and Technological Progress" is included
in the list of HAC leading peer-reviewed
scientific journals and publications
in which the main scientific results
of the dissertation for the degree
of doctor and candidate of sciences
should be published

Chief editor

Olga Voronkova

Page planner:

Marina Karina

Copy editor:

Natalia Gunina

Editorial address:

13 Shpalernaya St,
St. Petersburg, Russia

Contact phone:

(+357)99-740-463
8(915)678-88-44

E-mail:

tmbprint@mail.ru

Subscription index of Agency
"Rospechat" No 70728
for periodicals.

Information about published
articles is regularly provided to
Russian Science Citation Index
(Contract No 124-04/2011R).

Website:

<http://moofrnk.com/>

Editorial opinion may be different
from the views of the authors.
Please, request the editors'
permission to reproduce
the content published in the journal.

ADVISORY COUNCIL

Voronkova Olga Vasilyevna – Doctor of Economics, Professor, Academy of
the Academy of Natural Sciences, tel.: +7(981)9720993,
E-mail: voronkova@tambov-konfcentr.ru, St. Petersburg (Russia)

Tyutyunnik Vyacheslav Mikhailovich – Doctor of Technical Sciences,
Candidate of Chemical Sciences, Professor, Director of Tambov branch of
Moscow State University of Culture and Arts, President of the International
Information Center for Nobel Prize, Academy of Natural Sciences,
tel.: +7(4752)504600, E-mail: vmt@tmb.ru, Tambov (Russia)

Bednarzhevsky Sergey Stanislavovich – Doctor of Technical Sciences,
Professor, Head of Department of Safety, Surgut State University, laureate of
State Prize in Science and Technology, Academy of Natural Sciences and the
International Energy Academy, tel.: +7(3462)762812, E-mail: sbed@mail.ru,
Surgut (Russia)

Omar Larouk – PhD, Associate Professor, National School of Information
Science and Libraries University of Lyon, tel.: +0472444374,
E-mail: omar.larouk@enssib.fr, Lyon (France)

Wu Songjie – PhD in Economics, Shandong Normal University,
tel.: +86(130)21696101; E-mail: qdwucong@hotmail.com,
Shandong (China)

Du Kun – PhD in Economics, Associate Professor, Department of
Management and Agriculture, Institute of Cooperation of Qingdao Agrarian
University, tel.: +7(960)6671587, E-mail: tambovdu@hotmail.com,
Qingdao (China)

Andreas Kyriakos Georgiou – Lecturer in Accounting, Department of
Business, Accounting & Finance, Frederick University,
tel.: (00357)99459477 E-mail: bus.akg@frederick.ac.cy, Limassol (Cyprus)

Petia Tanova – Associate Professor in Economics, Vice-Dean of School of
Business and Law, Frederick University, tel.: (00357)96490221,
E-mail: ptanova@gmail.com, Limassol (Cyprus)

Sanjay Yadav – Doctor of Philology, Doctor of Political Sciences, Head of
Department of English, Chairman St. Palus College Science,
tel.: +7(964)1304135, Patna, Bihar (India)

Levanova Elena Alexandrovna – Doctor of Education, Professor, Department of Social Pedagogy and Psychology, Dean of the Faculty of retraining for Applied Psychology, Dean of the Faculty of Pedagogy and Psychology of the Moscow Social and Pedagogical Institute; tel.: +7(495)6074186, +7(495)6074513; E-mail: dekanmospi@mail.ru, Moscow (Russia)

Petrenko Sergey Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Mathematical Methods in Economics, Lipetsk State Pedagogical University, tel.: +7(4742)328436, 8(4742)221983, E-mail: viola@lipetsk.ru, viola349650@yandex.ru, Lipetsk (Russia)

Tarando Elena Evgenievna – Doctor of Economics, Professor of the Department of Economic Sociology, St. Petersburg State University, tel.: +7(812)2749706, E-mail: elena.tarando@mail.ru, St. Petersburg (Russia)

Veress József – PhD, Researcher in Information Systems Department, Business School of Corvinus University, tel.: 36303206350, 361482742; E-mail: jozsef.veress@uni-corvinus.hu, Budapest (Hungary)

Kochetkova Alexandra Igorevna – Doctor of Philosophy and Cultural Studies (degree in organizational development and organizational behavior), PhD, Professor, Department of General and Strategic Management Institute of Business Administration of the Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, E-mail: dak6966@gmail.com, Moscow (Russia)

Bolshakov Sergey Nikolaevich – Doctor of Political Sciences, Doctor of Economics, Vice-Rector for Academic Affairs, Professor, Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, tel.: +7(921)6334832, E-mail: snbolshakov@mail.ru, Syktyvkar (Russia)

Karakasidou Ellada – A&G, Kotanides LTD, Logistic, tel.: +99346270, E-mail: espavoellada9@gmail.com, Paphos (Cyprus)

Artyukh Angelika Alexandrovna – Doctor of Art History, Professor of the Department of Dramatic and Cinema Studies, St. Petersburg State University of Cinema and Television; tel.: +7(911)9250031; E-mail: s-melnikova@list.ru, St. Petersburg (Russia)

Melnikova Svetlana Ivanovna – Doctor of Art History, Professor, Head of the Department of Dramatic Art and Cinema Studies at the Screen Arts Institute of St. Petersburg State University of Cinema and Television; tel.: +7(911)9250031; E-mail: s-melnikova@list.ru, St. Petersburg (Russia)

Pukharensky Yuri Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials Technology and Metrology at St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; tel.: +7(921)3245908; E-mail: tsik@spbgasu.ru, St. Petersburg (Russia)

Содержание

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Аксенов А.К., Такмазян Г.А. Исследование эффективности утилизации теплового потенциала систем холодоснабжения общественного здания на нужды горячего водоснабжения через промежуточный контур раствора пропиленгликоля	10
Бойко А.Н., Сотникова О.А. Пути повышения эффективности модульных источников теплоты	19
Бойко А.Н., Сотникова О.А. Эффективность архитектурных и инженерных решений по управлению параметрами микроклимата животноводческих помещений	24
Веселова Н.М., Хлыбов А.Д. Исследование КПД пластинчатых и роторных рекуператоров	29
Карапузова Н.Ю., Хлыбов А.Д., Карапузов В.И., Лоншаков С.В. Математическое описание процесса пылеулавливания в аппаратах со встречными закрученными потоками	38
Карапузова Н.Ю., Хлыбов А.Д., Мамыкин Д.А., Жупанов А.И. Повышение эффективности систем промышленной вентиляции	48
Кондауров П.П., Новоселецкий Д.В. Проблема всплытия трубопроводов тепловых сетей в водонасыщенных грунтах	55
Латушкин А.П. Использование платы <i>RF-Nano</i> для сбора и хранения данных параметров воздуха в зданиях различного назначения	61
Фокин В.М., Колесников Ф.А., Душко О.В. Перспективы применения теплового насоса «воздух-вода» в системах теплоснабжения энергопотребляющих объектов	66

Строительные материалы и изделия

Ткачук Е.В., Сорочан Е.Н., Катрачило Н.Ф. Использование микрокапсулированных самовосстанавливающихся материалов в составе бетона	71
---	----

Технология и организация строительства

Жаров Я.В., Аннин А.Д. Информационный анализ как инструмент управления проектами капитального строительства, реализуемыми в рамках Адресной инвестиционной программы	78
Lapidus A.A., Bikmukhametova A.M., Pateev G.S. Expert Ranking of Factors for Using Digital Information Model at the Construction Stage	85
Михайлова Е.В., Еремина Ю.С. Факторы, влияющие на неравномерность использования трудовых ресурсов при возведении объектов социальной инфраструктуры	89
Муря В.А., Снежков А.С. Организационно-технологические аспекты применения точного метода при комплексной застройке микрорайона	96

Стоянов И.П., Дехтярь Е.В. Оценка конкурентоспособности технологий при устройстве свайных фундаментов под резервуары на территории АЗРФ	103
Хаев Т.Э., Егорова Н.П. Интеграция технологий геопространственного контроля (BIM, лазерное сканирование, фотограмметрия) в методику проверки соответствия строительных работ	112
Khaev T.E., Chochiev S.S. Factors Influencing the Efficiency of High-Rise Buildings Construction from Monolithic Reinforced Concrete.....	124
Хубаев А.О., Джафаргулуев А.М. Обзор методов предобработки данных, алгоритмических решений и перспектив применения искусственного интеллекта в рамках автоматизированного контроля земляного полотна.....	131
Хубаев А.О., Джафаргулуев А.М. Современные подходы к динамической калибровке производственно-технологических параметров земляных работ с использованием искусственного интеллекта	139
Ярошевич М.П., Хубаев А.О. Методика применения автоматизированной системы термомониторинга для оперативного управления температурным режимом при зимнем бетонировании.....	1467

Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия

Ponomarev E.S., Nasibullina L.M., Valiullin A.A. Branding of the City's Architectural Code.....	154
--	-----

Архитектура зданий и сооружений.

Творческие концепции архитектурной деятельности

Якубов М.Х., Фролова Н.Н., Шадрина К.С. Влияние реконструкции олимпийских сооружений на развитие массового спорта в России	163
---	-----

Управление жизненным циклом объектов строительства

Липидус А.А., Алборов Т.Т. Концепция формирования организационных структур при реализации объектов жилищного строительства.....	169
Спирин А.С., Манухина Л.А. Расчет компонент вероятностной модели жизненного цикла объекта строительства численно-аналитическим методом	176

Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

Гарник В.С., Фролова Н.Н. Гепатотоксичность биологически активных добавок к пище: анализ данных и регуляторных аспектов	187
Михайлов Д.В., Коргин А.В. Интеграция наземного лазерного сканирования с цифровой моделью объекта для контроля качества строительства	193

Михайлов Д.В., Коргин А.В. Фотограмметрический контроль хода строительства с использованием беспилотных летательных аппаратов и применимость результатов для приемки работ.....	199
Терентьев А.С., Дрокин Е.Е., Орешенко Т.Г. Схемотехническое моделирование низкочастотного усилителя.....	205

Математические, статистические и инструментальные методы экономики

Беликов И.В., Киселева И.А. Экономико-математическая модель оценки эффективности <i>WebView</i> -интерфейсов в цифровых платформах.....	211
Зайцева И.В., Казначеева О.Х., Жукова В.А., Зайцев А.А. Алгоритм адаптивного конкурентного взаимодействия рыночных субъектов.....	217

Мировая экономика

Сидельников И.Д., Хатьянов С.А., Толстошеина Е.А. Переориентация грузопотоков Российской Федерации в условиях трансформации мировой логистической системы.....	223
---	-----

Менеджмент

Зарайская Т.В., Ганеев А.Р., Карпов А.В. Эффективность привлечения независимых экспертов для приемки результатов исполнения контрактов и соглашений, заключенных в рамках реализации отдельных мероприятий государственных программ в сфере образования.....	231
---	-----

Материалы XIII Международной научно-практической конференции «НАУКА. ОБЩЕСТВО. БИЗНЕС»

Бурков Я.Е., Логинов А.Н. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных фотоловушек: технические характеристики и эффективность.....	241
Гучетль Р.Г., Власова М.И. Современные подходы к диагностике и лечению сахарного диабета 2 типа у детей и подростков на фоне экзогенно-конституционального ожирения.....	245
Зайцева И.В., Галкина В.Г., Казначеева М.Г., Филимонов А.А. Математическая модель динамической устойчивости цен экономических процессов.....	250
Саломатин А.П., Гаскаров В.Д. Формальная модель симбиотического интеллекта ..	256
Фролова Е.В., Завьялова И.В., Манакова О.С., Сидоров А.В. Анализ методов повышения надежности систем учета электроэнергии.....	263
Хаитова А.И., Акулов П.А., Ошкордина А.А., Гончарова Н.А. Особенности правового регулирования социального обслуживания детей с аутизмом.....	267
Shalomova E.V., Khokhlova M.S. Assessment of Ecological and Biological State of Soils of Small Towns by Phytotesting.....	273

Contents

Heating, Ventilation, Air Conditioning, Gas Supply and Lighting

Aksenov A.K., Takmazyan G.A. Investigation of the Efficiency of Utilizing the Heat Potential of Public Building Refrigeration Systems for Hot Water Supply via an Intermediate Propylene Glycol Circuit	10
Boyko A.N., Sotnikova O.A. Ways to Improve the Efficiency of Modular Heat Sources.....	19
Boyko A.N., Sotnikova O.A. The Effectiveness of Architectural and Engineering Solutions for Managing the Parameters of the Microclimate of Livestock Facilities.....	24
Veselova N.M., Khlybov A.D. Study of the Efficiency of Plate and Rotary Recuperators	29
Karapuzova N.Yu., Khlybov A.D., Karapuzov V.I., Lonshakov S.V. Mathematical Description of the Dust Collection Process in Devices with Counter Swirling Flows	38
Karapuzova N.Yu., Khlybov A.D., Mamykin D.A., Zhupanov A.I. Improving the Efficiency of Industrial Ventilation Systems	48
Kondaurov P.P., Novoseletsky D.V. The Problem of Heat Network Pipeline Floorflowing in Water-Saturated Soils.....	55
Latushkin A.P. Using the RF-Nano Board to Collect and Store Air Parameter Data in Various Buildings.....	61
Fokin V.M., Kolesnikov F.A., Dushko O.V. Prospects for the Use of an Air-Water Heat Pump in Heat and Cooling Systems for Energy-Consuming Facilities.....	66

Building Materials and Products

Tkachuk E.V., Sorochan E.N., Katrachilo N.F. Use of Microencapsulated Self-Healing Materials in Concrete	71
---	----

Construction Technology and Management

Zharov Ya.V., Annin A.D. Information Analysis as a Tool for Managing Capital Construction Projects Implemented Within the Targeted Investment Program.....	78
Липидус А.А., Бикмухаметова А.М., Патеев Г.С. Экспертное ранжирование факторов использования ЦИМ на стадии СМР.....	85
Mikhailova E.V., Eremina Yu.S. Factors Affecting the Unevenness of Labor Resource Utilization During the Construction of Social Infrastructure Facilities	89
Murya V.A., Snezhkov A.S. Organizational and Technological Aspects of Applying the Flow Method in Integrated District Development.....	96
Stoianov I.P., Dekhtiar E.V. Assessment of the Competitiveness of Technologies for Constructing Pile Foundations for Storage Tanks at the AZRF Site	103
Khaev T.E., Egorova N.P. Integration of Geospatial Control Technologies (BIM, Laser Scanning, Photogrammetry) into the Methodology for Verifying the Compliance of Construction Works.....	112
Хаев Т.Э., Чочиев С.С. Факторы, влияющие на повышение эффективности строительства	

высотных зданий из монолитного железобетона.....	124
Khubaev A.O., Dzhafarguluev A.M. A Review of Data Preprocessing Methods, Algorithmic Solutions, and Prospects for the Application of Artificial Intelligence in Automated Subgrade Control.....	131
Khubaev A.O., Dzhafarguluev A.M. Modern Approaches to Dynamic Calibration of Production and Technological Parameters of Earthworks Using Artificial Intelligence	139
Yaroshevich M.P., Khubaev A.O. Methodology for the Application of an Automated Thermal Monitoring System for Real-Time Temperature Control during Winter Concrete Placement	146

Theory and History of Architecture, Restoration and Reconstruction of Historical and Architectural Heritage

Пономарев Е.С., Насибуллина Л.М., Валиуллин А.А. Брендинг архитектурного кода города	154
---	-----

Architecture of Buildings and Structures. Creative Concepts of Architectural Activity

Yakubov M.K., Frolova N.N., Shadrina K.S. Impact of Reconstruction of Olympic Facilities on the Development of Mass Sports in Russia	163
---	-----

Life Cycle Management of Construction Objects

Lapidus A.A., Alborov T.T. Concept of Forming Organizational Structures in the Implementation of Residential Construction Projects	169
Спирин А.С., Манухина Л.А. Расчет компонент вероятностной модели жизненного цикла объекта строительства численно-аналитическим методом	176

Methods and Devices for Monitoring and Diagnosing Materials, Products, Substances and the Natural Environment

Garnik V.S., Frolova N.N. Hepatotoxicity of Biologically Active Food Supplements: Analysis of Data and Regulatory Aspects	187
Mikhaylov D.V., Korgin A.V. Integration of Terrestrial Laser Scanning with a Digital Model of an Object for Construction Quality Control.....	193
Mikhaylov D.V., Korgin A.V. Photogrammetric Monitoring of Construction Progress Using Unmanned Aerial Vehicles and the Applicability of the Results for Work Acceptance.....	199
Terentiev A.S., Drokin E.E., Oreshenko T.G. Circuit Simulation of a Low-Frequency Amplifier.....	205

Mathematical, Statistical and Instrumental Methods of Economics

Belikov I.V., Kiseleva I.V. Economic and Mathematical Model for Assessing the Efficiency of Webview Interfaces in Digital Platforms.....	211
Zaitseva I.V., Kaznacheeva O.Kh., Zhukova V.A., Zaitsev A.A. Algorithm of Adaptive Competitive Interaction of Market Entities.....	217

World Economy

Sidelnikov I.D., Khatyanov S.A., Tolstosheina E.A. Reorientation of Cargo Flows in the Russian Federation under Conditions of Transformation of the Global Logistics System.....	223
---	-----

Management

Zaraiskaya T.V., Ganeev A.R., Karpov A.V. Efficiency of Engaging Independent Experts for the Acceptance of Contract and Agreement Performance Results within the Implementation of Selected Measures of State Programs in the Field of Education	231
---	-----

XIII International Scientific Practical Conference**“SCIENCE. SOCIETY. BUSINESS”**

Burkov Ya.E., Loginov A.N. Comparative Analysis of Domestic and Foreign Camera Trap: Technical Characteristics and Efficiency.....	241
Guchetl R.G., Vlasova M.I. Modern Approaches to the Diagnosis and Treatment of Type 2 Diabetes Mellitus in Children and Adolescents Against the Background of Exogenous Constitutional Obesity.....	245
Zaitseva I.V., Galkina V.G., Kaznacheeva M.G., Filimonov A.A. Mathematical Model of Dynamic Stability of Prices of Economic Processes.....	250
Salomatin A.P., Gaskarov V.D. Formal Model of Symbiotic Intelligence.....	256
Frolova E.V., Zavyalova I.V., Manakova O.S., Sidorov A.V. Analysis of Methods for Improving the Reliability of Electricity Metering Systems.....	263
Khaitova A.I., Akulov P.A., Oshkordina A.A., Goncharova N.A. Features of Legal Regulation of Social Services for Children with Autism.....	267
Шаломова Е.В., Хохлова М.С. Оценка эколого-биологического состояния почв малых городов методом фитотестирования	273

УДК 620.97:621.57

**Исследование эффективности
утилизации теплового потенциала систем
холодоснабжения общественного здания
на нужды горячего водоснабжения
через промежуточный контур
раствора пропиленгликоля**

А.К. Аксенов, Г.А. Такмазян

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: бак-аккумулятор; горячее водоснабжение; интегральный график; медицинские учреждения; технико-экономическое обоснование; утилизация теплоты конденсации; холодильные машины; энергоэффективность.

Аннотация. Актуальность определяется высоким потенциалом повторного использования теплоты конденсации чиллеров особенно в медицинских стационарах с неравномерным водоразбором, где отсутствуют комплексные методики динамического моделирования. Цель – разработка и технико-экономическое обоснование модели утилизации сбросной теплоты через промежуточный контур пропиленгликоля для первой ступени ГВС на примере скорпомощного комплекса ГБУЗ «ГКБ им. С.П. Боткина». Методика включает построение интегральных графиков тепlopоступлений с учетом фактической загрузки чиллеров по косинусоидальной аппроксимации суточного хода наружной температуры; оптимизацию объема бака-аккумулятора не по пиковой разности кривых, а по покрытию среднечасовой рекуперируемой нагрузки; алгоритм двухпараметрового автоматического переключения между контуром утилизации и теплосетью. Результаты: пиковая мощность утилизации – 128,4 кВт, бак – 0,75 м³, годовое замещение – 156,7 МВт·ч. При капзатратах порядка 451 тыс. руб. чистый дисконтированный доход за 15 лет достиг 2,69 млн руб., дисконтированный срок окупаемости – менее года, индекс доходности – 5,98. Вывод: модель и алгоритм обеспечивают устойчивое покрытие нагрузки ГВС при любых режимах работы чиллеров и экономически высокоэффективны.

Современные общественные здания: офисные центры, торгово-развлекательные комплексы, образовательные, медицинские учреждения и другие объекты, за счет повышенных норм характеризуются высоким уровнем потребления энергии на обеспечение микроклимата. Значительная доля энергопотребления приходится на системы холодоснабжения, обеспечивающие поддержание комфортных температур в помещениях в теплый период года и круглогодично для технологических нужд.

В процессе работы холодильных установок, используемых в системах кондиционирования, в конденсаторах выделяется значительное количество тепловой энергии. Как правило, эта энергия рассеивается в окружающую среду через воздухоохладители или градирни, не находя полезного применения. Однако данная тепловая энергия обладает температурным потенциалом, достаточным для повторного использования в системах внутреннего горячего водоснабжения.

В условиях роста стоимости энергоресурсов, повышения экологических требований, а также необходимости соответствия нормативным показателям энергоэффективности зданий, задача утилизации вторичных тепловых ресурсов приобретает особую актуальность. Аналогичные подходы широко рассматриваются в международных стандартах, в том числе в *ASHRAE* и *EN 378*, где акцентируется внимание на повышении общей энергоэффективности инженерных систем за счет интеграции тепловых и холодильных контуров.

Существующие исследования [4–6] подтверждают потенциал утилизации теплоты конденсации (от 25 % до 70 % замещения внешних источников). Однако в отечественной практике отсутствует комплексная методика динамического моделирования для медицинских стационаров, учитывающая неравномерность водоразбора и работу чиллера в переходные периоды (режим фрикулинга).

Целью исследования. Разработка и технико-экономическое обоснование динамической модели утилизации теплоты конденсации через промежуточный контур пропиленгликоля холодильных машин для нужд ГВС на примере скоропомощного комплекса ГБУЗ «ГКБ им. С.П. Боткина». Исследование рассматривает системы холодоснабжения не только как потребителей энергии, но и как источник вторичных тепловых ресурсов.

Методика исследования. На начальном этапе исследования проанализировано существующее общественное здание Скорпомощной стационарный комплекс ГБУЗ «ГКБ им. С.П. Боткина». Система холодоснабжения спроектирована по принципу чиллер–фанкойл, с промежуточным контуром 45 % пропиленгликоля для отвода тепла через сухие охладители. Используются две холодильные водоохлаждаемые машины, согласно паспортным данным с типом хладагента *R134a*, с коэффициентом тепловой эффективности *COP* – 3,45 кВт/кВт, чистой холодопроизводительностью – 630 кВт, потребляемой мощностью – 183,0 кВт, отводимой тепловой энергией – 813 кВт. Основные показатели холодопроизводительности объекта составляют: в холодный период ($t_n = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$) – 219,1 кВт; фрикулинг ($t_n = +8\text{ }^{\circ}\text{C}$) – 284,9 кВт; в теплый период ($t_n = +23\text{ }^{\circ}\text{C}$) – 1 258,4 кВт.

Система теплоснабжения ГВС имеет принципиальную схему присоединения – независимую, смешанную, двухступенчатую. Расчетные показатели расхода тепла составляют: максимальная – 186,1 кВт; средняя – 60,5 кВт.

На втором этапе исследования определена математическая модель, предложена принципиальная схема с утилизацией тепловой энергии на промежуточном контуре 45 % раствора пропиленгликоля после конденсатора на нужды потребления 1-й ступени системы ГВС (рис. 2), дополнительного паяного пластинчатого теплообменника с контуром вода/гликоль, а также установки аккумуляторного бака, для сглаживания временного несовпадения производства/потребления тепловой энергии.

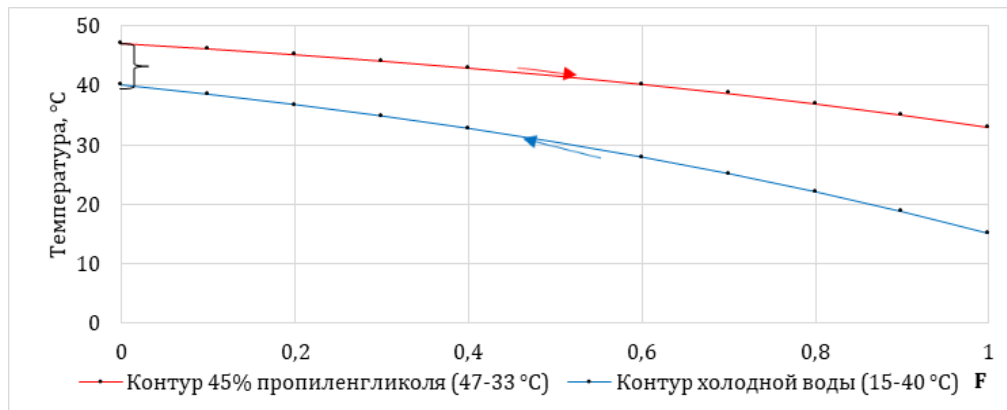


Рис. 1. Распределение температур сред по поверхности ПТО в режиме противотока

Для определения расчетных расходов и подбора пластинчатого теплообменника использовалось уравнение теплового баланса и теплопередачи между средами вода/гликоль с 15 % запасом по максимальной тепловой нагрузке на ГВС 1-й ступени [4]. Температурный напор принимался как среднелогарифмическая разность температур между двумя теплоносителями. Для построения графика движения теплоносителя по площади поверхности теплообменника использовалась экспоненциальная зависимость температурного напора.

Для определения тепловой мощности аккумулирующего бака, построены интегральные графики. Математическая модель построения интегрального графика (рис. 3) принимает следующий вид:

$$\sum Q(\tau) = \int_0^{\tau} Q(t) dt \approx \sum_{i=0}^{\tau} Q_i \times \Delta\tau, \quad (1)$$

где $\sum Q(\tau)$ – накопленное количество тепловой энергии к заданному часу.

Для определения интегральной линий тепlopоступлений от холодильной машины в течении суток принималась функциональная зависимость номинальной теплоты конденсации в каждый час от текущей температуры наружного воздуха, ограничиваясь номинальной мощностью теплообменника (кВт):

$$Q_{\text{ген}}(\tau) = \min(Q_{\text{max}} \times K_{\text{загр}}(\tau)), \quad (2)$$

где $Q_{\text{ген}}(\tau)$ – располагаемая тепловая мощность утилизации; Q_{max} – номинальная теплота конденсации холодильных установок, ГДж; $K_{\text{загр}}(\tau)$ – фактический коэффициент загрузки холодильной установки, определяемый по формуле:

$$K_{\text{загр}}(\tau) = K_{\text{баз}} + (1 - K_{\text{баз}}) \times \frac{t(\tau) - t_{\text{н.ф}}}{t_{\text{н}} - t_{\text{н.ф}}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{баз}} = \frac{Q_{\text{х.зимой}}}{Q_{\text{х.летом}}}$ – базовый коэффициент загрузки холодильной машины в теплый период

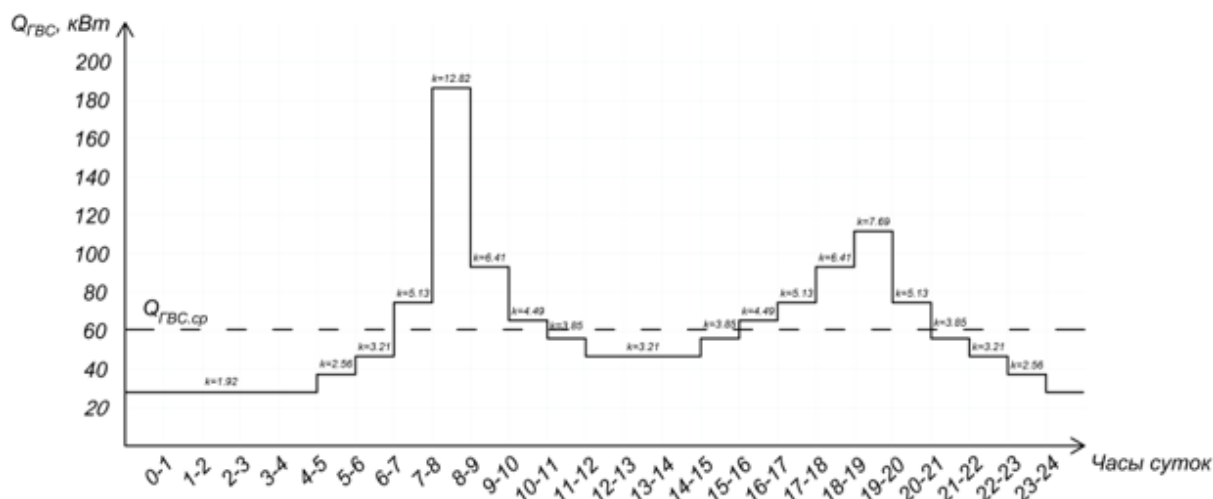


Рис. 2. Суточный профиль водопотребления системы ГВС

рассматриваемого объекта (технологический постоянный холод); t_n – расчетная температура наружного воздуха в теплый период, °C; $t_{н.ф.}$ – то же для режима фрикулинга; t_t – суточный ход температуры наружного воздуха, определяемый аппроксимацией по косинусоиду:

$$t(\tau) = t_{cp} + \frac{A}{2} \times \cos\left(\frac{\pi}{12} \times (\tau - \tau_{max})\right), \quad (4)$$

где A – средняя суточная амплитуда температуры воздуха, °C [2]; τ_{max} – час максимальной температуры; t_{cp} – среднесуточная температура воздуха.

По данной методике определены интегральные линии подачи теплоты для каждого месяца теплого, переходного периодов в средние сутки, где t_{cp} – среднемесячная температура воздуха по п. 7 табл. 7.1 [5].

На третьем этапе исследования проведен технико-экономический анализ принятых решений и подобранного оборудования в соответствии с [7]. Снижение годовых затрат на тепловую энергию определялось по формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_{теп} = (n \times Q_{ГВС I}^{сут} + 30 \times Q_{ГВС I}^{сут.апр} + 31 \times Q_{ГВС I}^{сут.окт}) \times k_n, \quad (5)$$

где n_t – количество суток > 8 °C в теплый период года, принимаем равным 365, n_x – продолжительность ≤ 8 °C [2]; $Q_{ГВС I}^{сут}$ – суточная тепловая нагрузка на систему ГВС 1-й ступени, ГКал/сут; k_n – базовая стоимость тепловой нагрузки, согласно тарифному плану ПАО «МОЭК» на 2026 г., руб/Гкал.

Значения чистого дисконтированного дохода, индекса доходности и дисконтированного срока окупаемости определены в результатах исследования.

В качестве основного элемента узла утилизации теплоты конденсации холодильных машин был рассчитан и подобран пластинчатый теплообменник серии XB60CR (компоновка 70-Н). Расчетная тепловая нагрузка аппарата в пиковом режиме составила 128,4 кВт. В качестве греющей среды используется 45 % водный раствор пропиленгликоля с массовым расходом 8,85 т/ч. Нагреваемая среда – вода системы ГВС с расчетным расходом 4,42 т/ч. Площадь

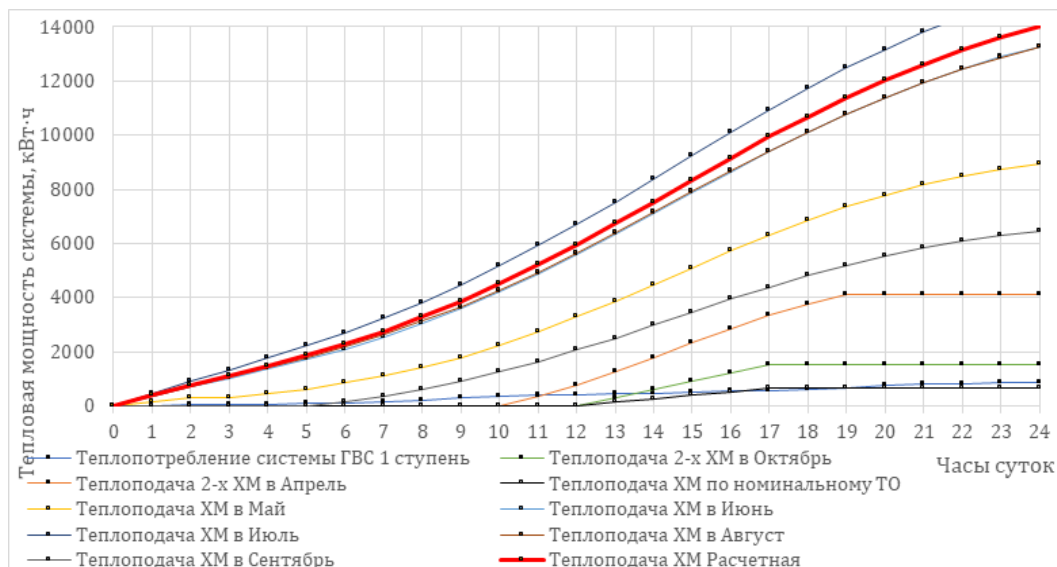


Рис. 3. Интегральный график теплоподдачи и теплотребления в расчетный период

теплообмена составила $4,488 \text{ м}^2$, коэффициент теплопередачи – $2112 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$. Для компенсации снижения интенсивности теплообмена в процессе длительной эксплуатации аппарат подобран с запасом площади поверхности в 11,3 %.

Для оценки эффективности системы рекуперации в динамике был проведен анализ совмещенных суточных интегральных графиков теплоподдачи холодильного оборудования и теплотребления системы ГВС.

Исследование базируется на построении суточного профиля потребления ГВС (рис. 2), характеризующегося выраженной неравномерностью для медицинских учреждений в утренние и вечерние пики потребления. Расчетная среднечасовая нагрузка первой ступени определена на уровне 36,3 кВт.

Моделирование для месяцев с мая по сентябрь показывает, что теплота конденсации холодильных машин значительно превышает потребности ГВС. Теплоподдача ограничивается исключительно номинальной мощностью выбранного пластинчатого теплообменника. В этот период система рекуперации способна полностью покрывать потребность первой ступени ГВС.

В апреле и октябре наблюдается иной режим работы. Вследствие низких среднесуточных температур холодильные машины периодически переходят в режим свободного охлаждения (фрикулинга). Интегральный график показывает существенный дефицит теплоподдачи, даже при учете работы двух холодильных машин. Потенциал утилизации в ночные и утренние часы минимален.

Классическая методика расчета баков-аккумуляторов по интегральной разности между линиями теплоподдачи и максимального теплотребления в данном случае приводит к необоснованному завышению габаритов оборудования, что критично для стесненных условий. В связи с этим был применен оптимизационный подход: емкость бака рассчитана исходя из обеспечения покрытия среднечасовой рекуперированной нагрузки на ГВС. Расчетный объем бака-аккумулятора составил $V_{\text{акк}} \approx 0,64 \text{ м}^3 \approx 750 \text{ л}$. Принятая буферная емкость выполняет роль гидравлического разделителя и демпфера, сглаживая кратковременные пики водоразбора и предотвращая тактование оборудования.

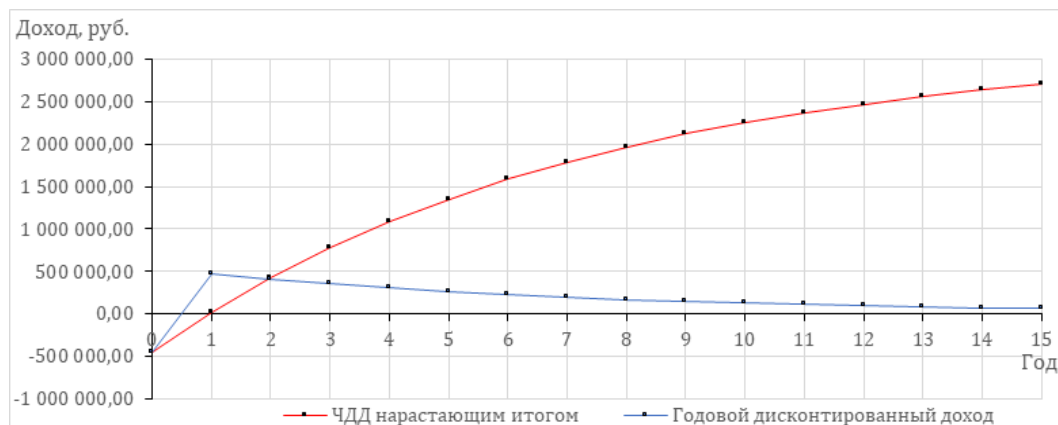


Рис. 4. Чистый дисконтированный доход нарастающим итогом

Поскольку в переходный период бак не способен покрыть длительные пики водоразбора при простаивающих компрессорах, предусмотрена система приоритетного переключения. Управление осуществляется посредством трехходового клапана с электроприводом, установленного на подающем трубопроводе холодной воды перед теплообменником рекуперации. Во избежание блокировки системы алгоритм базируется на непрерывном мониторинге двух температурных узлов: Ведущий параметр – температура пропиленгликоля на подающем трубопроводе первичного контура перед теплообменником утилизатора ($T_{\text{гл}}$); ведомый параметр – температура нагреваемой воды в верхней зоне бака-аккумулятора ($T_{\text{бак}}$).

Перевод системы в обход контура рекуперации напрямую в штатную двухступенчатую смешанную систему ГВС индивидуального теплового пункта (ИТП), подключенную к городской теплосети, происходит при одновременном выполнении двух условий: истощении буферной емкости ($T_{\text{бак}} < 35\text{ }^{\circ}\text{C}$) и отсутствии тепловой генерации со стороны холодильной машины ($T_{\text{гл}} < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Возврат системы в энергосберегающий режим (рекуперация) инициируется исключительно по показаниям ведущего датчика. При достижении температурой хладагента рабочего порогового значения ($T_{\text{гл}} \geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$), свидетельствующего о выходе компрессоров на рабочий режим, автоматика переводит трехходовой клапан в положение циркуляции нагреваемой воды через ПТО рекуперации.

Для определения экономической целесообразности внедрения разработанной системы утилизации теплоты было выполнено технико-экономическое обоснование с расчетом ключевых показателей инвестиционной привлекательности проекта. Суммарные капитальные затраты на реализацию проекта составили 450 943,51 руб. Данная сумма включает в себя: стоимость основного оборудования и материалов (317 020,97 руб.), в том числе пластинчатого теплообменника, буферной емкости, запорно-регулирующей арматуры и КИП; стоимость строительно-монтажных работ (111 731,07 руб.), определенную на основании актуальных сметных нормативов (ФЕР/ГЭСН); затраты на пусконаладочные работы, принятые в размере 7 % от стоимости оборудования (22 191,47 руб.).

Экономический эффект системы формируется за счет замещения тепловой энергии, закупаемой у ресурсоснабжающей организации (ПАО «МОЭК»), бесплатной теплотой конденсации холодильных машин. Расчетный объем ежегодно рекуперированной энергии составляет 156 751 кВт·ч. При действующем тарифе на тепловую энергию (4 198,98 руб./Гкал) чистый ежегодный операционный денежный поток (CF), рассчитанный с учетом вычета амортизационных отчислений и затрат на техническое обслуживание, составляет 538 471,06 руб.

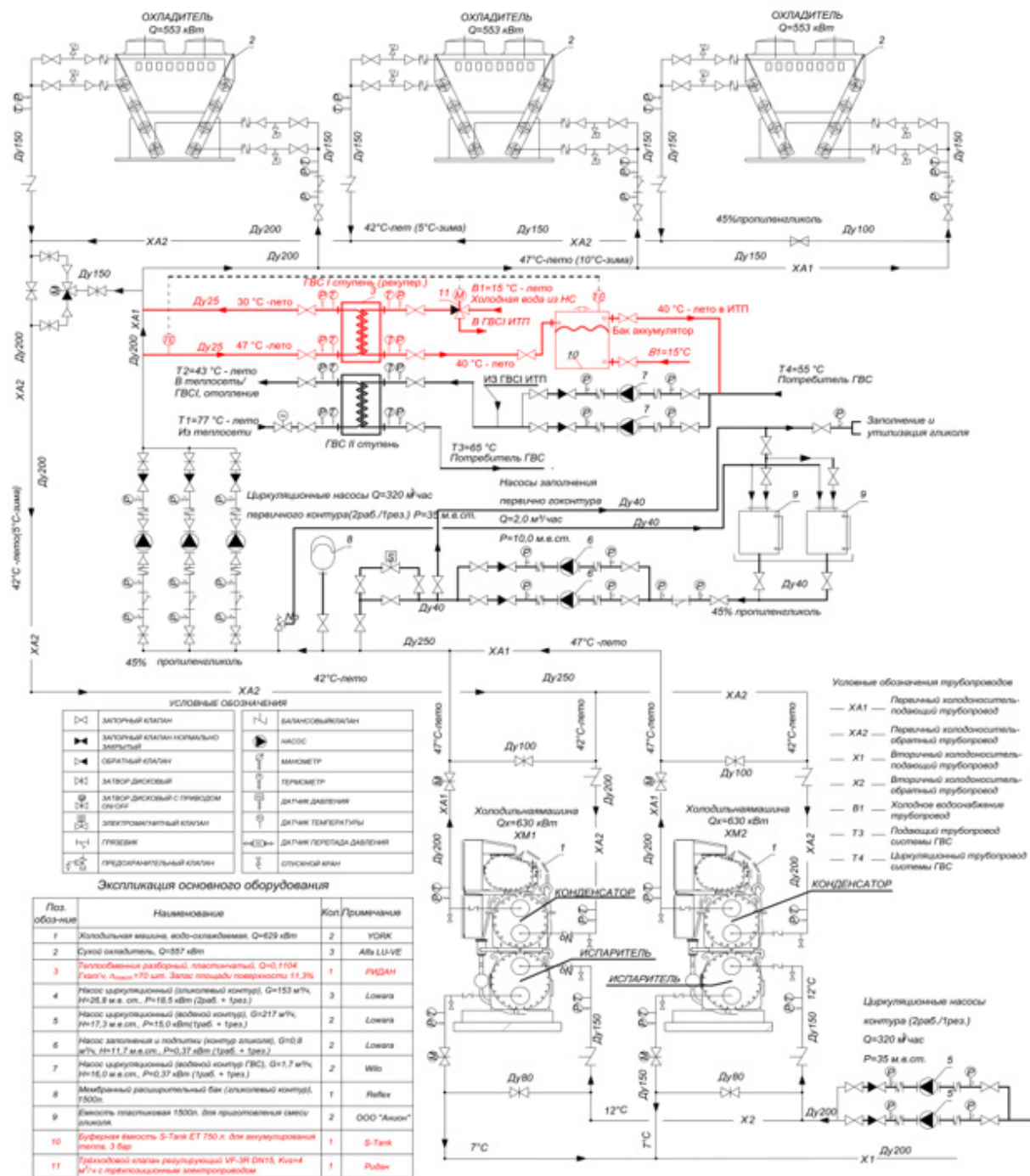


Рис. 5. Принципиальная схема с контуром утилизации теплоты конденсации для ГВС

Анализ инвестиционной привлекательности проводился на горизонте планирования 15 лет с построением профиля чистого дисконтированного дохода (ЧДД/*NPV*). ДСО составляет 12 месяцев, ЧДД – 2,69 млн руб., ИД – 5,98 (рис. 4).

Проведенное исследование подтверждает высокую технико-экономическую эффективность интеграции контура утилизации теплоты конденсации холодильных машин в систему горячего водоснабжения общественного здания. Разработанная математическая модель и предложенный алгоритм двухпараметрического управления позволили оптимизировать

рабочий объем бака-аккумулятора (до 0,75 м³) и обеспечить стабильную рекуперацию 156,7 МВт·ч тепловой энергии в год, несмотря на неравномерность графиков водопотребления медицинского учреждения. При капитальных затратах порядка 451 тыс. руб. проект демонстрирует исключительную инвестиционную привлекательность с дисконтированным сроком окупаемости менее одного года (0,96) и высоким индексом доходности (5,98), что научно обосновывает целесообразность широкого масштабирования данного технического решения при проектировании и реконструкции энергоэффективных объектов здравоохранения.

Литература

1. Короткий, И.А. Разработка схемы системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин для снижения зависимости ледовой арены от городских систем отопления и горячего водоснабжения / И.А. Короткий, Е.Н. Неверов, П.С. Коротких, В.Г. Лоншаков // Вестник Международной академии холода. – 2021. – № 1. – С. 34–39. – DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-34-39.
2. Кондрашов, А.В. Система утилизации теплоты конденсации тепловых машин / А.В. Кондрашов, А.А. Тринченко // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25. – № 6. – С. 67–77. – DOI:10.30724/1998-9903-2023-25-6-67-77.
3. Кулагин, С.М. Разработка энергоэффективной схемы холодоснабжения предприятия по производству полимерных материалов / С.М. Кулагин, Е.И. Крупнов, М.Ю. Ометова, Г.В. Рыбкина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – №1 – С. 118–122. – DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.017.
4. Аксенов, А.К. Теплотехника, термодинамика и теплопередача : учебно-методическое пособие / А.К. Аксенов, С.В. Бирюков. – 2022.
5. СП 131.13330.2025 Строительная климатология, 2025.
6. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200005634>.
7. Гидрометцентр России. Москва среднемесячные климатические данные с 1961–1990 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://meteoinfo.ru/categ-articles/98-climate-cat/1709-moskva-climat>.

References

1. Korotkij, I.A. Razrabotka skhemy sistemy utilizatsii teploty kondensatsii kholodilnykh mashin dlya snizheniya zavisimosti ledovoy areny ot gorodskikh sistem otopleniya i goryachego vodosnabzheniya / I.A. Korotkij, E.N. Neverov, P.S. Korotkikh, V.G. Lonshakov // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii kholoda. – 2021. – № 1. – S. 34–39. – DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-34-39.
2. Kondrashov, A.V. Sistema utilizatsii teploty kondensatsii teplovykh mashin / A.V. Kondrashov, A.A. Trinchenko // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Problemy energetiki. – 2023. – T. 25. – № 6. – S. 67–77. – DOI:10.30724/1998-9903-2023-25-6-67-77.
3. Kulagin, S.M. Razrabotka energoeffektivnoj skhemy kholodosnabzheniya predpriyatiya po proizvodstvu polimernykh materialov / S.M. Kulagin, E.I. Krupnov, M.YU. Ometova, G.V. Rybkina // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2021. – №1 – S. 118–122. – DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.017.
4. Aksenov, A.K. Teplo tekhnika, termodinamika i teploperedacha : uchebno-metodicheskoe

posobie / A.K. Aksenov, S.V. Biryukov. – 2022.

5. SP 131.13330.2025 Stroitel'naya klimatologiya, 2025.

6. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proektov [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/1200005634>.

7. Gidromettsentr Rossii. Moskva srednemesyachnye klimaticheskie dannye s 1961–1990 gg. [Electronic resource]. – Access mode : <https://meteoinfo.ru/categ-articles/98-climate-cat/1709-moskva-climat>.

Investigation of the Efficiency of Utilizing the Heat Potential of Public Building Refrigeration Systems for Hot Water Supply via an Intermediate Propylene Glycol Circuit

A.K. Aksenov, G.A. Takmazyan

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: condensation heat recovery; refrigeration machines; hot water supply; medical facilities; energy efficiency; thermal storage tank; cumulative graph; feasibility study.

Abstract. The relevance of the study is determined by the high potential of reusing chiller condensation heat, especially in medical inpatient facilities with uneven water consumption, where comprehensive dynamic modeling methodologies are lacking. The aim is to develop and provide a feasibility study of a model for waste heat recovery via an intermediate propylene glycol circuit for the first stage of domestic hot water supply, using the example of the emergency care complex of the S.P. Botkin City Clinical Hospital. The methodology includes the construction of cumulative graphs of heat input taking into account the actual chiller loading based on a cosine approximation of the daily outdoor temperature variation; optimization of the thermal storage tank volume not by the peak difference of the curves, but by covering the average hourly recovered load; and a two-parameter automatic switching algorithm between the recovery circuit and the district heating network. Results: peak recovery capacity of 128,4 kW, tank volume of 0,75 m³, annual substitution of 156,7 MWh. With capital expenditures of approximately 451 thousand rubles, the net present value over 15 years reached 2,69 million rubles, the discounted payback period is less than one year, and the profitability index is 5,98. It is concluded that the model and algorithm ensure stable coverage of the domestic hot water load under any chiller operating modes and are economically highly efficient.

© А.К. Аксенов, Г.А. Такмазян, 2026

УДК 631.22:628.8:628.9

Пути повышения эффективности модульных источников теплоты

А.Н. Бойко, О.А. Сотникова

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»,
г. Воронеж (Россия)*

Ключевые слова и фразы: автоматизация котельных; блочно-модульные источники теплоты; конденсационные экономайзеры; коэффициент полезного действия; модульные котельные; теплоснабжение; энергоэффективность.

Аннотация. Модульные источники теплоты – блочно-модульные котельные (БМК) – рассматриваются как эффективное решение для модернизации систем теплоснабжения за счет сокращения сроков строительства, снижения капитальных затрат и высокой энергоэффективности. В статье анализируются технико-экономические характеристики модульных котельных, существующие проблемы их эксплуатации и пути повышения эффективности. Исследование основывается на опыте эксплуатации модульных установок в различных регионах России за период 2022–2026 годов. Практическая значимость работы заключается в формировании комплексного подхода к модернизации модульных источников теплоты с учетом современных технологических решений и реальных условий эксплуатации.

Темп износа коммунальной инфраструктуры России превосходит скорость ее обновления. По оценкам на 2024 год, износ тепловых сетей и котельного оборудования в жилищно-коммунальном секторе превышает 60 %, в отдельных регионах достигая 75–80 % [1]. Выработавшие нормативный срок эксплуатации котлы типа ДКВР, ТГМ, КЕ и другие демонстрируют критическое снижение КПД, частые аварийные остановки и рост эксплуатационных затрат.

Блочно-модульная котельная – это теплогенерирующая установка полной заводской готовности, смонтированная в транспортабельных блоках и предназначенная для отопления, горячего водоснабжения объектов жилого, производственного и социального назначения. Основные преимущества БМК хорошо документированы:

- сокращение сроков монтажа в 3–8 раз по сравнению со стационарными объектами;
- снижение капитальных затрат на 30–60 % за счет заводской сборки и унификации проектных решений;
- высокая степень автоматизации, позволяющая работать без постоянного присутствия персонала;

- возможность размещения вблизи потребителя, что снижает потери в тепловых сетях;
- транспортабельность и возможность наращивания мощности путем добавления модулей.

Практика эксплуатации модульных котельных в России насчитывает более двух десятилетий. Однако в 2023–2025 годах были выявлены системные проблемы, связанные как с конструктивными особенностями оборудования, так и с организацией его эксплуатации. Выявленные недостатки нередко нивелируют заявленные преимущества и требуют комплексного пересмотра подходов к проектированию, монтажу и обслуживанию модульных источников теплоты.

Опытный образец котельной АО «Транснефть – Дружба» стал первым теплотехническим изделием компании, оснащенным стационарным газоанализатором для мониторинга уровня концентрации газов в режиме реального времени [7].

Один из наиболее эффективных способов повышения КПД котельной – установка конденсационного экономайзера, который представляет собой дополнительный теплообменник для утилизации тепла уходящих дымовых газов [11].

Традиционные настенные и модульные котлы при работе на объектах малой площади (до 60 м²) переходят в режим дискретной модуляции мощности, что сопровождается значительным снижением энергетической эффективности [10]. Использование котлов с атмосферной горелкой двойного диапазона плавной модуляции позволяет горелке работать в установившемся режиме практически весь отопительный период, избегая частых пусков и остановов. Это повышает КПД на 8–12 % по сравнению с дискретным режимом [7].

Повышение КПД котлоагрегатов может быть достигнуто за счет снижения присосов воздуха в газовый тракт. Установка дроссельной заслонки в отводящем газовом патрубке регенеративного воздухоподогревателя создает локальное увеличение давления, что снижает разность давлений между горячими газами и холодным воздухом, уменьшая присосы [11]. Это особенно актуально для котлов типа ТГМ-84 и аналогичных моделей, где присосы воздуха достигают 15–20 %.

Снижение температуры теплоносителя в подающем трубопроводе со 130 °С до 115 °С или ниже позволяет уменьшить термические напряжения трубопроводов, снизить потери тепла в сетях на 10–15 %, сократить расход природного газа на источнике и себестоимость тепловой энергии [4]. Установка конденсационных экономайзеров окупается за два года при экономии топлива на уровне 5 % [11]. Внедрение систем автоматизированного контроля и диспетчеризации окупается за 3–4 года [8]. Модернизация горелочных устройств с переходом на плавную модуляцию мощности окупается за 4–5 лет при снижении расхода топлива на 8–12 % [6]. Переход на низкотемпературные режимы теплоснабжения требует значительных капитальных вложений в модернизацию тепловых сетей и индивидуальных тепловых пунктов, но обеспечивает экономию топлива на 10–15 % и окупается за 5–7 лет [3].

Основные пути повышения эффективности модульных источников теплоты включают:

- установку конденсационных экономайзеров для утилизации тепла уходящих дымовых газов, что обеспечивает экономию топлива на 5–7 %;
- внедрение систем плавной модуляции тепловой мощности, позволяющих избежать дискретных режимов работы и повысить КПД на 8–12 %;
- оптимизацию аэродинамики газозвдушного тракта и снижение присосов воздуха в систему;
- переход на низкотемпературные режимы теплоснабжения с одновременной модернизацией тепловых сетей.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку стандартизирован-

ных методик оценки энергоэффективности модульных источников теплоты, создание цифровых двойников котельных для моделирования режимов работы, изучение возможностей использования альтернативных видов топлива и возобновляемых источников энергии в составе модульных комплексов.

Литература

1. Андреев, Д.В. Эффективность применения блочно-модульных котельных и котельных наружного типа / Д.В. Андреев // Вестник науки. – 2024. – Т. 5. – № 2. – С. 145–152.
2. Беляев, А.А. Общая характеристика энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года / А.А. Беляев // Социально-экономические явления и процессы. – 2019. – Т. 14. – № 4. – С. 7–14 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?edn=ddolng>.
3. Григорьев, В.С. Разработка научных основ повышения системной эффективности ТЭС и АЭС : отчет о НИР / В.С. Григорьев, В.М. Зорин. – Саратов : СГТУ им. Гагарина Ю.А., 2021. – 106 с.
4. Лукьянов, М.Ю. Применение блочно-модульных котельных в системах теплоснабжения и их преимущества / М.Ю. Лукьянов, А.С. Земляков, К.К. Куликов // Инновационная наука. – 2015. – № 12. – С. 92–94.
5. Инновационная модульная котельная в Чувашской Республике. Строительная компания ЛЕРОН, 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sk-leron.ru/nashi-raboty/innovacionnaya-modulnaya-kotel'naya-v-chuvashskoj-respublike-3/>.
6. «Транснефть – Дружба» усовершенствовала конструкцию блочно-модульной котельной. Энергетика и промышленность России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://burneft.ru/news/?ELEMENT_ID=107566.
7. Котельные «образцового содержания»: эксплуатация БМК в реальных условиях. Рос-Тепло, 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=4343.
8. Кузнецов, А.П. Повышение энергетической эффективности и выбор рациональных параметров работы котлоагрегатов / А.П. Кузнецов, Е.В. Петрова // Вестник Амурского государственного университета. – 2017. – № 78. – С. 52–58.
9. Латыпов, Р.Ш. Оптимизация неэффективно используемого оборудования. Обеспечение работы районной котельной № 1 АО «АПТС» в оптимальном режиме / Р.Ш. Латыпов, А.Т. Гильманов // Научный альманах. – 2023. – № 4. – С. 87–93.
10. Энергоэффективные котельные снижают потребление топлива при добыче природного битума. Татнефть [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.ruscable.ru/news/2023/01/24/Energoeffektivnye_kotelynye_snizhaut_potreblenie_t/.
11. Торопов, А.Л. Настенный газовый конвекционный котел с атмосферной горелкой двойной модуляции / А.Л. Торопов // Строительство: наука и образование. – 2022. – № 2(44). – С. 50–56.
12. Новая блочно-модульная котельная в Эвенске помогла сэкономить тонны угля и миллионы рублей. Армторг [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://armtorg.ru/news/58463/>.
13. Володин, Ю.Г. Повышение эффективности работы котлоагрегатов типа ТГМ-84 путем дросселирования газового потока в регенеративный воздухоподогреватель / Ю.Г. Володин, Р.Р. Ханнанов // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 6(34). – С. 21–23.

References

1. Andreev, D.V. Effektivnost primeneniya blochno-modulnykh kotelnykh i kotelnykh naruzhnogo tipa / D.V. Andreev // Vestnik nauki. – 2024. – T. 5. – № 2. – S. 145–152.
2. Belyaev, A.A. Obshchaya kharakteristika energeticheskoy strategii Rossijskoj Federatsii do 2035 goda / A.A. Belyaev // Sotsialno-ekonomicheskie yavleniya i protsessy. – 2019. – T. 14. – № 4. – S. 7–14 [Electronic resource]. – Access mode : <https://elibrary.ru/item.asp?edn=ddolng>.
3. Grigorev, V.S. Razrabotka nauchnykh osnov povysheniya sistemnoj effektivnosti TES i AES : otchet o NIR / V.S. Grigorev, V.M. Zorin. – Saratov : SGTU im. Gagarina YU.A., 2021. – 106 s.
4. Lukyanov, M.YU. Primenenie blochno-modulnykh kotelnykh v sistemakh teplosnabzheniya i ikh preimushchestva / M.YU. Lukyanov, A.S. Zemlyakov, K.K. Kulikov // Innovatsionnaya nauka. – 2015. – № 12. – S. 92–94.
5. Innovatsionnaya modulnaya kotelnaya v CHuvashskoj Respublike. Stroitel'naya kompaniya LERON, 2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://sk-leron.ru/nashi-raboty/innovatsionnaya-modulnaya-kotelnaya-v-chuvashskoj-respublike-3/>.
6. «Transneft – Druzhba» usovershenstvovala konstruktsiyu blochno-modulnoj kotelnoj. Energetika i promyshlennost Rossii [Electronic resource]. – Access mode : https://burneft.ru/news/?ELEMENT_ID=107566.
7. Kotelnye «obraztsovogo soderzhaniya»: ekspluatatsiya BMK v realnykh usloviyakh. RosTeplo, 2023 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=4343.
8. Kuznetsov, A.P. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti i vybor ratsionalnykh parametrov raboty kotloagregatov / A.P. Kuznetsov, E.V. Petrova // Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2017. – № 78. – S. 52–58.
9. Latypov, R.SH. Optimizatsiya neeffektivno ispolzuemogo oborudovaniya. Obespechenie raboty rajonnoj kotelnoj № 1 AO «APTS» v optimalnom rezhime / R.SH. Latypov, A.T. Gilmanov // Nauchnyj almanakh. – 2023. – № 4. – S. 87–93.
10. Energoeffektivnye kotelnye snizhayut potreblenie topliva pri dobyche prirodnogo bituma. Tatneft [Electronic resource]. – Access mode : https://www.ruscable.ru/news/2023/01/24/Energoeffektivnye_kotelnye_snizhaut_potreblenie_t/.
11. Toropov, A.L. Nastennyj gazovyy konveksionnyj kotel s atmosfernoj gorelkoj dvojnoj modulyatsii / A.L. Toropov // Stroitelstvo: nauka i obrazovanie. – 2022. – № 2(44). – S. 50–56.
12. Novaya blochno-modulnaya kotelnaya v Evenske pomogla sekonomit tonny uglya i milliony rublej. Armtorg [Electronic resource]. – Access mode : <https://armtorg.ru/news/58463/>.
13. Volodin, YU.G. Povyshenie effektivnosti raboty kotloagregatov tipa TGM-84 putem drosselirovaniya gazovogo potoka v regenerativnyj vozdukhopodogrevatel / YU.G. Volodin, R.R. KHannanov // Privolzhskij nauchnyj vestnik. – 2014. – № 6(34). – S. 21–23.

Ways to Improve the Efficiency of Modular Heat Sources

A.N. Boyko, O.A. Sotnikova

*Voronezh State Technical University,
Voronezh (Russia)*

Keywords and phrases: modular boiler houses; block-modular heat sources; energy efficiency; boiler automation; condensing economizers; heat supply; coefficient of performance.

Abstract. The problem of moral and physical deterioration of heat generating equipment in Russia has reached critical proportions. Modular heat sources – block-modular boiler houses (**BMB**) – are considered as an effective solution for modernization of heat supply systems due to reduction of construction time, capital costs and high energy efficiency. The article analyzes the technical and economic characteristics of modular boiler houses, existing problems of their operation and ways to improve efficiency. Special attention is paid to process automation, implementation of condensing economizers, optimization of equipment operating modes and improvement of monitoring systems. The study is based on the experience of operating modular installations in various regions of Russia for the period 2022–2025. The practical significance of the work lies in the formation of a comprehensive approach to the modernization of modular heat sources, taking into account modern technological solutions and real operating conditions.

© А.Н. Бойко, О.А. Сотникова, 2026

УДК 631.22:628.8:628.9

Эффективность архитектурных и инженерных решений по управлению параметрами микроклимата животноводческих помещений

А.Н. Бойко, О.А. Сотникова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»,
г. Воронеж (Россия)

Ключевые слова и фразы: архитектурные решения; вентиляция; животноводческие помещения; инженерные системы; микроклимат; эффективность.

Аннотация. В статье рассматриваются современные архитектурные и инженерные решения, направленные на эффективное управление параметрами микроклимата в животноводческих помещениях. Особое внимание уделено вопросам проектирования зданий, обеспечивающих оптимальные условия для содержания животных, а также системам вентиляции, отопления и кондиционирования, способствующим поддержанию температурно-влажностного и воздушного режимов.

Анализируются методы повышения энергоэффективности сельскохозяйственных объектов, снижения энергоемкости и экологических рисков. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, а также примеры практического внедрения ресурсосберегающих технологий. Показано, что комплексный подход к проектированию и эксплуатации животноводческих зданий позволяет не только повысить продуктивность животных, но и существенно снизить эксплуатационные затраты и негативное воздействие на окружающую среду.

Снижение продуктивности животных во времени является аддитивным и самым кумулятивным эффектом, оцениваемым обобщенными показателями, комплексно учитывающими основные факторы повышения продуктивности животных (коэффициент эффективности содержания животных $\eta_{\text{ж}}$). По физическому смыслу коэффициент $\eta_{\text{ж}}$ аналогичен коэффициенту обеспеченности $K_{\text{об}}$, используемому, в частности, в строительной теплофизике и строительной климатологии.

Авторами в технической и специальной литературе не обнаружено этих систематизированных, научно обоснованных количественных закономерностей взаимосвязи продуктивности животных от объемно-планировочных и конструктивных решений комплексов (пассивных элементов систем обеспечения параметров микроклимата (COM) η^A) и от конкретных

отклонений работы систем обеспечения микроклимата от оптимальных или допустимых параметров (активных элементов СОМ η^E). Приводятся лишь конкретные примеры, из которых трудно выявить значения мастерства архитекторов η^A и инженеров η^E , например [1].

В статье рассмотрены основы формирования эффективных архитектурных и инженерных технологических решений по управлению расчетными параметрами микроклимата помещений содержания крупного рогатого скота и свиноводства. Так же приведены основы анализа освещенности, температурно-влажностного режима на продуктивность животных и эксплуатационные характеристики животноводческих комплексов.

Снижение освещенности влияет на животных успокаивающе, сокращает их двигательную активность и потребление корма. Для КРС существуют более низкие требования к освещенности, которые составляют лишь 25–45 % уровня освещенности для людей [5]. Поэтому неоправданным технологическим решением является избыточная естественная освещенность животноводческих типовых помещений, в которых окна достигают 25–35 % площади наружных стен.

Организация естественного освещения животноводческих помещений имеет исключительно важное значение не только по физическому влиянию освещения и солнечной инсоляции на продуктивность скота, но и чисто по экономическим соображениям. Нельзя ограничиваться оценкой остекления только с архитектурной точки зрения, т.к. тепловой, световой и инсоляционные режимы микроклимата помещений тесно взаимосвязаны между собой. Повышение уровня освещенности за счет увеличения площади остекления приводит к значительному увеличению потерь теплоты в холодный период года и увеличению теплопоступлений в теплый период, что сопровождается увеличением эксплуатационных затрат.

Эффективность естественного освещения определяется временем его использования в течение года. По графикам наружной освещенности горизонтальной поверхности диффузным светом неба и наружной критической освещенности $E_{кр}$, т.е. освещенности в момент включения или выключения искусственного света, можно определить время использования естественного света.

Для основных стойловых помещений критическая наружная освещенность составляет 7 050–10 550 лк [6]. Однако в зимний период содержания продолжительность светового дня не обеспечивает эти требования. Действительная внутренняя освещенность $e_{вн}$ будет ниже нормируемой, что требует в данные месяцы круглосуточного использования искусственного освещения даже при 100 % светопропускании остекления. Действительная продолжительность использования естественного освещения в помещениях не обеспечивает зоогигиенические требования на уровне 100 лк для взрослого молодняка на откорме в течение 6–8 ч, лактирующих коров – 17–19 ч, телят и ремонтного молодняка – 14–16 ч в сутки [7], а энергетические затраты, как правило, превышают результаты возможного повышения продуктивности скота.

Практический интерес представляет анализ ориентации животноводческих зданий с учетом использования естественного света и солнечной инсоляции.[2]. В статье рассматриваются методы формирования эффективных архитектурных и инженерных решений для управления микроклиматом в помещениях для КРС и свиней. Основное внимание уделяется анализу освещенности и температурно-влажностного режима, которые непосредственно влияют на продуктивность животных и эксплуатационные характеристики животноводческих комплексов.

Ориентация зданий для содержания свиней по сторонам света, как правило, меридиальная (продольная ось с севера на юг). Допускаются отклонения в северных широтах до 30°, в южных – до 45°. В пунктах южнее широты 50° разрешается любая ориентация.

Из-за действия стресс-факторов продуктивность животных снижается на 15–20 %, а затраты кормов на единицу продуктивности возрастают на 25–30 % [2]. Поэтому мастерство архитекторов должно базироваться не только на достижениях «профессиональной» архитектуры, но и учитывать опыт «народной архитектуры» при проектировании технико-биологической системы содержания животных, учитывать физиологические и биологические потребности животных.

Высокая относительная влажность воздуха φ_v в сочетании с низкой температурой t_v очень вредна для КРС. Отмечается, что при низких значениях t_v и высокой φ_v молочная продуктивность коров снижается на 8–13 %, жирность молока – на 0,3 %. Наиболее отрицательное воздействие оказывает относительная влажность воздуха выше 85 % [8].

Проведенные исследования показывают, что для поддержания оптимальных параметров микроклимата в помещениях для животных можно использовать естественные источники энергии. Грамотная эксплуатация систем жизнеобеспечения и соблюдение технологических регламентов являются ключевыми факторами для обеспечения высокой продуктивности животных без увеличения эксплуатационных затрат.

Литература

1. Аликаев, В.А. Зоогигиена / В.А. Аликаев, В.Ф. Костюнина. – М. : Колос, 1983. – 239 с.
2. Бодров, В.И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных зданий сельхозназначения / В.И. Бодров, Л.М. Махов, Е.В. Троицкая. – М. : АСВ, 2014. – 237с.
3. Бодров, М.В. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий / М.В. Бодров, В.И. Бодров, М.Н. Кучеренко ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2008. – 623 с.
4. Бодров, М.В. Обеспечение теплоустойчивости животноводческих помещений / М.В. Бодров, А.Е. Руин, А.Ф. Юланова // Приволжский научный журнал. – Нижний Новгород. – 2023. – № 3. – С. 73–79.
5. Бодров, М.В. Отопление и вентиляция животноводческих и птицеводческих помещений : монография / М.В. Бодров. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2012. – 145 с.
6. Валов, В.М. Энергосберегающие животноводческие здания (Физико-технические основы проектирования) / В.М. Валов. – М. : АСВ, 1997. – 310 с.
7. Голосов, И.М. Микроклимат животноводческих ферм / И.М. Голосов. – Ленинград : Лениздат, 1974. – 120с.
8. ГОСТ 26253-2014. Здания и сооружения. Метод определения теплоустойчивости ограждающих конструкций [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200119117>.
9. О теплоснабжении : Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ (ред. от 25.12.2023) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/902225345>.
10. Хафизова, Ю.А. Выявление теплопотерь через ограждающие конструкции здания на примере жилого дома / Ю.А. Хафизова // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки : электронный сборник статей по материалам CLXI студенческой международной научно-практической конференции. – 2026. – № 5(159). – С. 30–38 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://sibac.info/archive/technic/5\(159\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/5(159).pdf).
11. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон

от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ (с изменениями на 27 декабря 2018 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200095525>.

12. Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности на территории Свердловской области : Областной закон Свердловской области от 22 марта 2018 года № 117-ОЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/557031769>.

13. Распопин, Г.А. Фильтрация через грунтовые плотины с ядром / Г.А. Распопин, С.И. Лещенко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2006. – № 8(572). – С. 47–51.

References

1. Alikaev, V.A. Zoogigiena / V.A. Alikaev, V.F. Kostyunina. – М. : Kolos, 1983. – 239 s.
2. Bodrov, V.I. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukhа proizvodstvennykh zdaniy selkhoz naznacheniya / V.I. Bodrov, L.M. Makhov, E.V. Troitskaya. – М. : ASV, 2014. – 237s.
3. Bodrov, M.V. Mikroklimat proizvodstvennykh selkokhozyajstvennykh zdaniy / M.V. Bodrov, V.I. Bodrov, M.N. Kucherenko ; Nizhegorodskij gosudarstvennyj arkhitekturno-stroitelnyj universitet. – Nizhnij Novgorod : NNGASU, 2008. – 623 s.
4. Bodrov, M.V. Obespechenie teploustojchivosti zhivotnovodcheskikh pomeshchenij / M.V. Bodrov, A.E. Ruin, A.F. Yulanova // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. – Nizhnij Novgorod. – 2023. – № 3. – S. 73–79.
5. Bodrov, M.V. Otoplenie i ventilyatsiya zhivotnovodcheskikh i ptitsevodcheskikh pomeshchenij : monografiya / M.V. Bodrov. – Nizhnij Novgorod : NNGASU, 2012. – 145 s.
6. Valov, V.M. Energoberegayushchie zhivotnovodcheskie zdaniya (Fiziko-tehnicheskie osnovy proektirovaniya) / V.M. Valov. – М. : ASV, 1997. – 310 s.
7. Golosov, I.M. Mikroklimat zhivotnovodcheskikh ferm / I.M. Golosov. – Leningrad : Lenizdat, 1974. – 120s.
8. GOST 26253-2014. Zdaniya i sooruzheniya. Metod opredeleniya teploustojchivosti ograzhdayushchikh konstruksij [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/1200119117>.
9. О теплоснабжении : Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ (ред. от 25.12.2023) [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/902225345>.
10. KHafizova, YU.A. Vyyavlenie teplopoter cherez ograzhdayushchie konstruksij zdaniya na primera zhilogo doma / YU.A. KHafizova // Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Tekhnicheskie nauki : elektronnyj sbornik statej po materialam CLXI studencheskoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – 2026. – № 5(159). – S. 30–38 [Electronic resource]. – Access mode : [https://sibac.info/archive/technic/5\(159\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/5(159).pdf).
11. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ (с изменениями на 27 декабря 2018 года) [Electronic resource]. – Access mode : <http://docs.cntd.ru/document/1200095525>.
12. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности на территории Свердловской области : Областной закон Свердловской области от 22 марта 2018 года № 117-ОЗ [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/557031769>.
13. Raspopin, G.A. Filtratsiya cherez gruntovye plotiny s yadrom / G.A. Raspopin, S.I. Leshchenko // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitelstvo. – 2006. – № 8(572). – S. 47–51.

The Effectiveness of Architectural and Engineering Solutions for Managing the Parameters of the Microclimate of Livestock Facilities

A.N. Boyko, O.A. Sotnikova

*Voronezh State Technical University,
Voronezh (Russia)*

Keywords and phrases: microclimate; livestock facilities; architectural solutions; engineering systems; efficiency; ventilation.

Abstract. The article examines modern architectural and engineering solutions aimed at the effective management of microclimate parameters in livestock buildings. Special attention is given to the design of structures that provide optimal conditions for animal housing, as well as to ventilation, heating, and air conditioning systems that maintain temperature, humidity, and air quality.

Methods for improving the energy efficiency of agricultural facilities, reducing energy consumption, and minimizing environmental risks are analyzed. The paper presents the results of theoretical and experimental research, along with examples of practical implementation of resource-saving technologies. It is shown that an integrated approach to the design and operation of livestock buildings not only enhances animal productivity but also significantly reduces operational costs and environmental impact.

© А.Н. Бойко, О.А. Сотникова, 2026

УДК 697.91

Исследование КПД пластинчатых и роторных рекуператоров

Н.М. Веселова, А.Д. Хлыбов

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград (Россия)

Ключевые слова и фразы: вентиляция; пластинчатые рекуператоры; роторные рекуператоры.

Аннотация. Эффективность рекуперативных теплообменников зависит от совокупности параметров, таких как: скорость воздушного потока, разность температур приточного и вытяжного воздуха, а также скорость вращения ротора. Целью исследования является выявление характера влияния этих параметров на КПД теплообменников для более точного подбора оборудования. Для расчетов использовались специализированные программные пакеты для расчета рекуперативных теплообменников. По итогам расчетов выявлены нелинейные зависимости эффективности теплообменников от вышеперечисленных факторов. Полученные результаты упрощают подбор оборудования, а также делают его более точным.

Введение

В современных схемах приточной и вытяжной вентиляции, а также системах кондиционирования рекуператорам отведена критическая роль: они повышают энергетическую эффективность установок благодаря утилизации тепла отработанного воздуха. Изучение коэффициента полезного действия рекуператоров, которое принимает во внимание динамическое варьирование расхода и температуры воздушной среды, выступает в качестве ключевого элемента при оптимизации указанных систем. Благодаря корректному предсказанию интенсивности теплообмена можно свести к минимуму потери энергии на этапе проектирования как бытовых, так и промышленных агрегатов – задача, которая становится все более актуальной на фоне ужесточения экологических норм.

Научная проблема обусловлена тем, что традиционные подходы к расчету КПД рекуператоров имеют ограниченную область использования: они не позволяют учесть комплексное совместное влияние переменных расхода и температуры воздуха.

Принцип работы рекуперативных теплообменников

Функционирование рекуператоров тепла строится на следующем принципе: встречные потоки приточного и вытяжного воздуха обмениваются тепловой энергией через непроницаемую твердую стенку, которая не дает средам смешиваться. В результате теплота, содер-

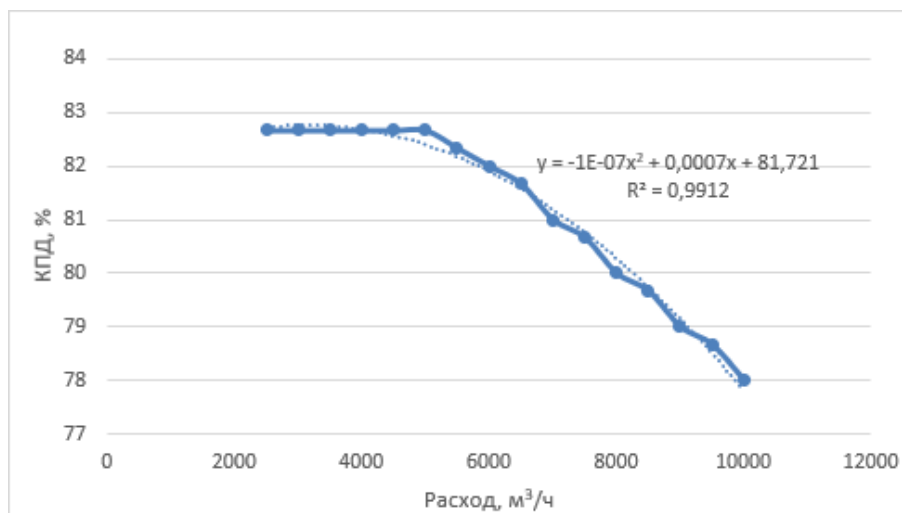


Рис. 1. Зависимость КПД роторного рекуператора от расхода воздуха

жащаяся в удаляемом воздухе, утилизируется для предварительного изменения температуры (повышения или понижения) приточного воздуха. На эффективность этого процесса влияют как теплофизические характеристики конструкционных материалов, так и форма поверхности теплообмена.

То, насколько эффективно передается тепло, в значительной степени зависит от принятой схемы движения теплоносителей. Наибольшую разность температур по длине устройства обеспечивает противоток – за счет этого КПД теплообмена оказывается максимальным. Прямоток и перекрестные схемы демонстрируют более низкие показатели, поскольку в них снижается средний температурный напор. Итоговый выбор схемы представляет собой компромиссное решение между стремлением к высокой тепловой эффективности и необходимостью ограничивать аэродинамическое сопротивление системы.

Теплообмен в рекуператорах происходит исключительно за счет температурного градиента между разделенными потоками. Рассматривается стационарный процесс теплопередачи, при этом каждый теплоноситель движется по своему каналу, соответственно, смешения потоков не происходит [1]. Такая конструкция исключает перекрестное загрязнение воздушных масс, обеспечивая соблюдение санитарно-гигиенических требований. Отсутствие смешения особенно критично для систем вентиляции медицинских учреждений и чистых производственных помещений.

Конструктивное исполнение рекуператоров варьируется в зависимости от технических требований и условий эксплуатации. Пластинчатые теплообменники отличаются простотой конструкции и низкой стоимостью, но имеют повышенное аэродинамическое сопротивление. Роторные установки обеспечивают высокий КПД за счет аккумуляции тепла вращающимся элементом, однако требуют сложного обслуживания.

Основные параметры, определяющие КПД рекуператора

Объемный расход воздуха – ключевой фактор, задающий интенсивность переноса тепла в рекуперативном аппарате. Повышение скорости потока увеличивает коэффициент конвекции, что улучшает теплообмен. Но если расход слишком велик, время контакта потоков с поверхностью становится малым и температурный напор падает. Оптимальный расход до-

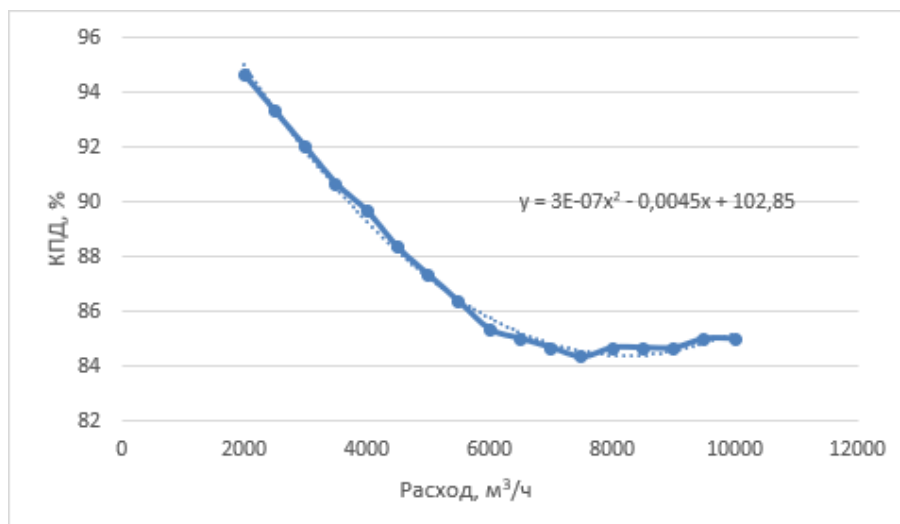


Рис. 2. Зависимость КПД пластинчатого рекуператора от расхода воздуха

стигается при компромиссе между интенсивностью теплопередачи и сохранением необходимого температурного градиента.

Именно разность температур между приточным и вытяжным потоками создает движущую силу для рекуперации тепла. Чем выше этот температурный перепад, тем больший тепловой поток способна передать разделительная стенка теплообменника. Такая зависимость описывается основным уравнением теплопередачи, согласно которому КПД прямо пропорционален логарифмической средней разности температур. Если потоки выравниваются по температуре, температурный напор уменьшается, что ведет к снижению эффективности работы установки.

Теплофизические параметры воздуха, а именно удельная теплоемкость и плотность, существенно меняются в зависимости от рабочей температуры. Когда температура повышается, плотность воздуха уменьшается, что при постоянстве объемного расхода влечет за собой снижение массового потока и ослабление общего теплопереноса. Вместе с тем увеличение температуры вызывает рост теплоемкости, который частично восполняет потери. Данная закономерность требует внесения температурных корректив при проведении высокоточных расчетов эффективности рекуперативного оборудования.

Геометрия поверхностей теплообмена напрямую влияет на коэффициент теплопередачи. При увеличении площади оребрения конвекция усиливается, но шаг ребер нужно оптимизировать под минимум аэродинамического сопротивления. Компактность устройства и интенсивность перекрестного обмена теплом задаются плотностью каналов. Размерные параметры следует выбирать так, чтобы в заданных условиях эксплуатации получить максимально возможный КПД.

Теоретические модели теплообмена в рекуператорах

Теоретические основы теплопередачи в рекуператорах строятся на базовых законах теплофизики. Первый из них – закон Фурье – устанавливает, что тепловой поток пропорционален градиенту температуры. Второй – закон Ньютона-Рихмана – определяет конвекционный теплообмен между поверхностью и движущейся средой. Объединяя эти принципы, выводят дифференциальные уравнения, описывающие температурные поля в аппарате. Данные

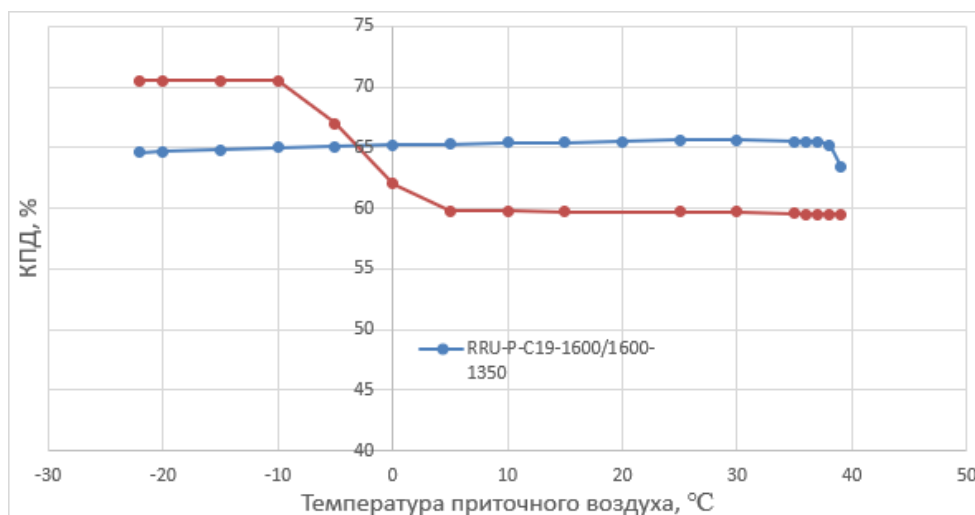


Рис. 3. Зависимость КПД пластинчатого и роторного рекуператоров от температуры приточного воздуха

уравнения составляют основу математических моделей теплообменных процессов. Получение выходных данных численного эксперимента основано на методе конечных объемов (МКО), при котором для каждого центра расчетной ячейки решаются дифференциальные уравнения Навье-Стокса. В этой задаче, исходя из физики процесса, базовыми уравнениями будут: уравнение неразрывности (закон сохранения массы), уравнения Навье-Стокса (закон сохранения импульса), уравнение переноса тепловой энергии (закон сохранения энергии) [2]. Указанные уравнения служат инструментом для численного воспроизведения сложного сопряженного теплообмена и гидродинамических явлений в рекуперативных теплообменниках.

В рамках стационарных моделей теплообмена все параметры считаются неизменными во времени, что значительно облегчает расчеты для устоявшихся рабочих режимов. Динамические модели, в свою очередь, учитывают временную динамику температурных полей и расходов теплоносителей, что обеспечивает более высокую точность при переходных процессах. Применительно к пластинчатым рекуператорам преимущественно используются стационарные подходы, тогда как роторные системы требуют динамического моделирования. Выбор подходящей модели диктуется типом конструкции и условиями, в которых эксплуатируется оборудование. Сравнительный анализ показывает, что динамические модели дают более точное описание реальных физических процессов при переменных расходах воздуха. Однако их внедрение связано с повышенными вычислительными затратами и необходимостью значительных ресурсов. В инженерных расчетах широко распространены квазистационарные методы, которые сочетают достоинства динамических моделей (точность) и стационарных (простота). Окончательное решение о выборе модели принимается исходя из требуемой точности расчетов и имеющихся вычислительных мощностей.

Исследование влияния расхода воздуха на эффективность теплопередачи

Теоретические исследования проводились на роторном и пластинчатом рекуператоре с использованием контролируемых параметров воздушных потоков. Расчет производился в диапазоне от 2 500 до 10 000 м³/ч с шагом 500 м³/ч. Для каждого режима расхода фиксиро-

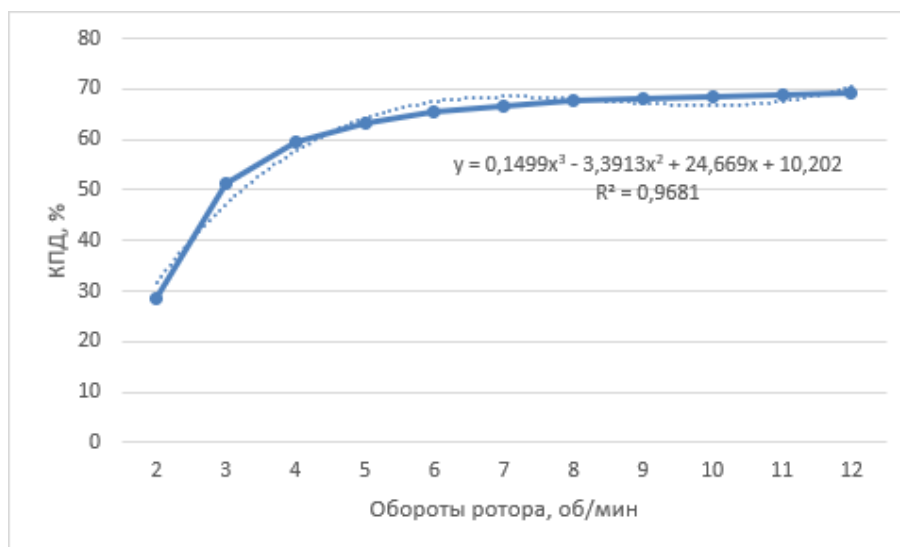


Рис. 4. Зависимость КПД роторного рекуператора от скорости вращения ротора

вались температура приточного и удаляемого воздуха, а также перепад давления в каналах. Для определения эффективности теплопередачи применялись профильные программные комплексы.

Анализ данных показал наличие прямой связи между коэффициентом теплопередачи и расходом воздуха. Снижение расхода с 10 000 до 4 500 м³/ч сопровождалось ростом эффективности теплообмена на 4–5 %. При этом дальнейшее падение расхода вызвало остановку повышения КПД на значении 83 %. Расчеты проводились на примере роторного рекуператора модели H2A1000-1500-020-2E00-2-2-0-1500 с ротором диаметром 1 500 мм. При расходе 10 000 м³/ч скорость воздушного потока составляет 3,3 м/с, а при расходе 6 000 м³/ч – 1,98 м/с. На основе этого можно сделать вывод: для рекуператора данной конструкции оптимальной является скорость воздуха в сечении 1,8–2,0 м/с.

Теоретически найдены граничные значения объемного расхода, обеспечивающие пиковый КПД рекуператора. Для данной конструкции оптимум лежит в диапазоне 4 500–5 000 м³/ч, где теплоотдача превышает 82 %. Выход расхода за верхнюю границу (выше 5 000 м³/ч) приводит к резкому падению эффективности на 4–5 % – причинами служат рост гидравлического сопротивления и неравномерное распределение потоков.

Для пластинчатого аппарата утилизации тепла в том же диапазоне расходов (2 500–10 000 м³/ч) снижение расхода дало прирост КПД более 10 %. В отличие от роторного, у пластинчатого рост эффективности начинался не сразу, а с 6 000 м³/ч. В интервале 10 000–6 000 м³/ч КПД составляет 84–86 %, но при дальнейшем падении расхода он увеличивается до 95 %. Это связано с уменьшением гидравлического сопротивления при понижении расхода воздуха.

Влияние температуры приточного воздуха на КПД рекуператора

Термодинамическая эффективность рекуператора определяется разностью температур между приточным и вытяжным потоками – это движущая сила процесса согласно законам теплопередачи. Чем выше температурный перепад, тем больше потенциал утилизации тепла, но максимальный КПД достигается только при оптимальном соотношении параметров.

Расчет показывает зависимость КПД от температурного градиента: при перепаде менее 10 °С эффективность резко падает из-за слабой движущей силы, а при перепаде свыше 40 °С растут потери через стенки теплообменника. Для пластинчатых теплообменников оптимальная разница температур, обеспечивающая баланс теплопередачи и потерь тепла, – это 15–30 °С. Важно учитывать, что низкая температура приточного воздуха приводит к обмерзанию, а высокая – к перегреву материалов. Поэтому при проектировании нужны поправки на климатические условия.

Падение КПД при экстремальных температурах вызвано дополнительными теплотеперьями и изменением свойств воздушных потоков. При температуре вытяжного воздуха ниже –15 °С эффективность резко падает из-за конденсации и обледенения каналов. При температуре свыше +40 °С растут потери тепла через корпус и падает теплопроводные свойства материалов. При температурах приточного воздуха ниже –20 °С КПД пластинчатых теплообменников падает на 15–25 % по сравнению с номинальным режимом.

Исследование влияния температуры приточного воздуха на КПД рекуператора

Испытание проводилось на роторном и пластинчатом рекуператорах в программе компании «ВЕЗА». За основу были взяты два рекуператора *RRU-P-C19-1600/1600-1350* – роторный и *PWT20/1200/709-6,5-206* – пластинчатый. Расчеты проводились при одинаковом расходе воздуха $L = 10\,000\text{ м}^3/\text{ч}$ и при одинаковых перепадах температуры приточного воздуха в диапазоне от –22 °С до 40 °С. Внутренняя температура берется равной 20 °С.

По данным графика, при температуре приточного воздуха от –22 до –10 °С максимальный коэффициент полезного действия демонстрирует пластинчатый рекуператор. Но после преодоления отметки –10 °С его эффективность стремительно уменьшается, оказываясь ниже значения, характерного для роторного теплоутилизатора. Кроме того, свыше 35 °С наблюдается спад производительности одновременно на обоих типах тепловых утилизаторов.

Исследование влияния скорости вращения ротора на КПД рекуператора.

Существенное влияние на эффективность теплообмена оказывает вращение ротора на роторных теплоутилизаторах. Данные расчеты производились в программе расчета тепловых утилизаторов “*HeatexSelect*”.

За основу был взят роторный рекуператор *EA1250x1250-1200V-014-2D000-AAPI-A*.

На представленном графике виден активный рост КПД при повышении скорости вплоть до 10 об/мин. Дальнейшее увеличение скорости не имеет смысла, так как оно обеспечивает либо очень малый прирост эффективности, либо ее уменьшение.

Применение результатов исследования в проектировании систем вентиляции

Внедрение выводов исследования в проектирование систем вентиляции заметно повышает обоснованность выбора оборудования. Обеспечивается точное определение КПД на стадии проекта для более точной оценки энергоэффективности.

Адаптация результатов требует учета геометрии теплообменника и климатических условий [11]. Геометрия каналов влияет на аэродинамику и теплопередачу, что нужно учитывать в расчетах. Климат задает рабочие температуры и сезонные поправки. Это обеспечивает соответствие модели реальным условиям.

Выбор типа рекуператора должен основываться на учете значений температуры и рас-

хода. Анализ показывает, что противоточные пластинчатые теплообменники эффективнее при определенных параметрах. Правильный выбор конструкции минимизирует теплотери и повышает энергоэффективность системы.

Достижение высокого КПД рекуператора возможно лишь при непрерывном учете изменений параметров воздуха. Разности температур приточного и вытяжного воздуха, а также колебания расхода оказывают значительное воздействие на эффективность рекуперации. Системы автоматического регулирования должны оперативно реагировать на любые отклонения параметров. Это обеспечивает надежность работы оборудования в условиях меняющихся параметров.

Литература

1. Барочкин, А.Е. Моделирование и расчет многопоточных теплообменных аппаратов / А.Е. Барочкин, В.П. Жуков // Вестник ИГЭУ. – 2017. – № 3. – С. 70–74.
2. Вдовичев, А.А. Особенности численного моделирования пластинчатого перекрестноточного рекуператора воздуха / А.А. Вдовичев // Вестник евразийской науки. – 2021. – № 5. – С. 1–15.
3. Зафатаев, В.А. Численный метод термoeкономической оптимизации вентиляционных установок с теплообменными аппаратами рекуперативного типа / В.А. Зафатаев, Т.И. Королева // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. – 2024. – № 4. – С. 2–6.
4. Зафатаев, В.А. Оценка эффективности энергосберегающей системы организованной приточно-вытяжной вентиляции для многоэтажных зданий с низким уровнем тепловой защиты / В.А. Зафатаев, С.В. Ланкович, Т.И. Королева и др. // Наука и техника. – 2022. – № 2. – С. 114–128.
5. Иброхимов, А.Р. Повышение энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования объектов ЖКХ / А.Р. Иброхимов, С.А. Рахманкулов // Central Asian Journal of Mathematical Theory and Computer Sciences. – 2022. – № 12. – С. 131–135.
6. Ильина, Т.Н. Моделирование процессов тепломассообмена в рекуператоре типа «труба в трубе» / Т.Н. Ильина, В.А. Уваров, М.С. Колесников и др. // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. – 2024. – № 1. – С. 30–34.
7. Оленев, Е.А. Расчет радиационно-конвективных рекуператорных установок / Е.А. Оленев // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2023. – № 2. – С. 51–63.
8. Рыдалина, Н.В. Методика расчета теплообменного аппарата с пористыми вставками на основе полученного критериального уравнения / Н.В. Рыдалина, О.А. Степанов, А.Б. Шабаров и др. // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2023. – № 3. – С. 28–45.
9. Сарбаева, Н.М. Некоторые подходы к вопросу повышения энергетической эффективности жилых зданий / Н.М. Сарбаева // Вестник КРСУ. – 2020. – №8. – С. 30–34.
10. Светлаков, А.Л. Развитие методик расчета и проектирования теплообменных аппаратов авиационного назначения / А.Л. Светлаков, И.С. Вербанов, Д.В. Маслова и др. // Авиационные двигатели. – 2019. – № 5. – С. 37–41.
11. Уляшева, В.М. Режимы работы пластинчатых рекуператоров систем вентиляции и кондиционирования воздуха / В.М. Уляшева, А.А. Вдовичев, Т.А. Дацюк и др. // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 3. – С. 34–40.

References

1. Barochkin, A.E. Modelirovanie i raschet mnogopotochnykh teploobmennyykh apparatov / A.E. Barochkin, V.P. Zhukov // Vestnik IGEU. – 2017. – № 3. – S. 70–74.
2. Vdovichev, A.A. Osobennosti chislennogo modelirovaniya plastinchatogo perekrestno-tochnogo rekuperatora vozdukh / A.A. Vdovichev // Vestnik evrazijskoj nauki. – 2021. – № 5. – S. 1–15.
3. Zafataev, V.A. Chislennyj metod termoeconomicheskoy optimizatsii ventilyatsionnykh ustanovok s teploobmennymi apparatami rekuperativnogo tipa / V.A. Zafataev, T.I. Koroleva // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. – 2024. – № 4. – S. 2–6.
4. Zafataev, V.A. Otsenka effektivnosti energosberegayushchej sistemy organizovannoj pritochno-vytyazhnoj ventilyatsii dlya mnogoetazhnykh zdaniy s nizkim urovnem teplovoj zashchity / V.A. Zafataev, S.V. Lankovich, T.I. Koroleva i dr. // Nauka i tekhnika. – 2022. – № 2. – S. 114–128.
5. Ibrokhimov, A.R. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya obektov zhkh / A.R. Ibrokhimov, S.A. Rakhmankulov // Central Asian Journal of Mathematical Theory and Computer Sciences. – 2022. – № 12. – S. 131–135.
6. Ilina, T.N. Modelirovanie protsessov teplomassoobmena v rekuperatore tipa «truba v trube» / T.N. Ilina, V.A. Uvarov, M.S. Kolesnikov i dr. // Vestnik bgtu imeni V.G. Shukhova. – 2024. – № 1. – S. 30–34.
7. Olenev, E.A. Raschet radiatsionno-konvektivnykh rekuperatornykh ustanovok / E.A. Olenev // Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. – 2023. – № 2. – S. 51–63.
8. Rydalina, N.V. Metodika rascheta teploobmennogo apparata s poristymi vstavkami na osnove poluchennogo kriterialnogo uravneniya / N.V. Rydalina, O.A. Stepanov, A.B. Shabarov i dr. // Vestnik tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft, gaz, energetika. – 2023. – № 3. – S. 28–45.
9. Sarbaeva, N.M. Nekotorye podkhody k voprosu povysheniya energeticheskoy effektivnosti zhilykh zdaniy / N.M. Sarbaeva // Vestnik KRSU. – 2020. – № 8. – S. 30–34.
10. Svetlakov, A.L. Razvitie metodik rascheta i proektirovaniya teploobmennyykh apparatov aviatsionnogo naznacheniya / A.L. Svetlakov, I.S. Verbanov, D.V. Maslova i dr. // Aviatsionnye dvigateli. – 2019. – № 5. – S. 37–41.
11. Ulyasheva, V.M. Rezhimy raboty plastinchatykh rekuperatorov sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh / V.M. Ulyasheva, A.A. Vdovichev, T.A. Datsyuk i dr. // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2024. – № 3. – S. 34–40.

Study of the Efficiency of Plate and Rotary Recuperators

N.M. Veselova, A.D. Khlybov

Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia)

Keywords and phrases: ventilation; plate recuperators; rotary recuperators.

Abstract. The efficiency of recuperative heat exchangers depends on a combination of parameters such as air flow velocity, the temperature difference between supply and exhaust air, and the rotor speed. The aim of the study is to identify the nature of the influence of these parameters on the efficiency (COP) of heat exchangers for more accurate equipment selection. Specialized

software packages for calculating recuperative heat exchangers were used for the calculations. The calculations revealed non-linear dependences of heat exchanger efficiency on the above factors. The obtained results simplify equipment selection and make it more accurate.

© Н.М. Веселова, А.Д. Хлыбов, 2026

УДК 621.928.93

Математическое описание процесса пылеулавливания в аппаратах со встречными закрученными потоками

Н.Ю. Карапузова, А.Д. Хлыбов,
В.И. Карапузов, С.В. Лоншаков

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет»,
г. Волгоград (Россия)*

Ключевые слова и фразы: инерционные пылеуловители; математическое описание; мелкодисперсная пыль; обеспыливающая вентиляция; пылеулавливание; фракционная эффективность; центробежные силы; число Стокса.

Аннотация. Статья посвящена математическому описанию процесса пылеулавливания в аппаратах со встречными закрученными потоками (ВЗП). Цель работы – оптимизация параметров ВЗП для улавливания мелкодисперсной пыли. Для достижения цели решены задачи: анализ механизма инерционного разделения фаз; вывод расчетных зависимостей скоростей газа и сил, действующих на частицы, а также оценка эффективности через число Стокса. Выдвинута гипотеза о том, что учет взаимодействия встречных потоков позволит повысить точность прогнозирования траекторий частиц фракций PM10 и PM2,5 по сравнению с традиционными циклонами. Результаты позволяют улучшить эффективность систем аспирации промышленных предприятий.

Введение

Аппараты со встречными закрученными потоками (ВЗП) [1] используют в системах обеспыливающей вентиляции для очистки воздуха от твердых частиц. Они нужны на производствах, где образуется много минеральной пыли: при переработке строительных материалов, измельчении песка, транспортировке сыпучих веществ и других операциях. Задача такого аппарата – отделить частицы пыли от газового потока и вывести их в пылесборную зону.

Пылеуловители со встречными закрученными потоками, или аппараты ВЗП, относятся к группе вихревых инерционных аппаратов, применяемых для очистки запыленных газовых потоков. Их использование особенно актуально для промышленных производств, где требуется улавливание мелкодисперсной пыли и снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В отличие от традиционных циклонов, аппараты ВЗП обеспечивают более интенсивное воздействие на частицы пыли за счет взаимодействия двух закрученных потоков, что повышает эффективность отделения твердой фазы от газа.

Конструктивно типовой аппарат ВЗП включает цилиндрический корпус, сепарационную камеру, послесепарационную зону, пылесборник, патрубки ввода запыленного газа, завихрители, отбойную шайбу и осевой патрубок для выхода очищенного газа. Запыленный газ поступает в аппарат двумя потоками. Первичный поток обычно вводится снизу через осевой патрубок и предварительно закручивается завихрителем. Вторичный поток подается сверху или сбоку, также приобретая вращательное движение. Внутри корпуса оба потока взаимодействуют, образуя устойчивую вихревую структуру.

Основной механизм очистки основан на действии центробежных сил. При вращении газового потока частицы пыли, обладающие большей инерцией по сравнению с газом, перемещаются к стенкам корпуса. Далее они попадают в зону действия нисходящего закрученного потока и направляются в нижнюю часть аппарата, где осаждаются в пылесборнике. Очищенный газ выводится через верхний осевой патрубок. Таким образом, процесс пылеулавливания происходит за счет сочетания инерционного отделения, закрутки потока и организованного отвода уловленной пыли [1].

Важным преимуществом аппаратов ВЗП является возможность эффективного улавливания мелких частиц, в том числе фракций PM10 и PM2,5. Поэтому такие аппараты могут применяться в системах аспирации, пневмотранспорта, вентиляции, а также на предприятиях металлургической, химической, строительной, цементной, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности. Кроме того, аппараты ВЗП отличаются сравнительно простой схемой работы и могут быть адаптированы под разные производственные условия за счет изменения конструкции корпуса, завихрителей, вводов газового потока и пылесборника.

При этом эффективность работы ВЗП во многом зависит от правильного соотношения расходов первичного и вторичного потоков, геометрии аппарата, степени закрутки газа и свойств улавливаемой пыли. Нарушение оптимального режима может приводить к вторичному уносу частиц или увеличению аэродинамического сопротивления. Поэтому при проектировании таких пылеуловителей необходимо учитывать не только требуемую производительность, но и дисперсный состав пыли, концентрацию загрязнений, расход газа и допустимые энергозатраты.

Таким образом, аппараты со встречными закрученными потоками представляют собой перспективное направление развития инерционных пылеулавливающих устройств. Их применение позволяет повысить степень очистки промышленных выбросов, особенно при работе с мелкодисперсной пылью, а дальнейшее совершенствование конструкций направлено на снижение энергозатрат, повышение устойчивости работы и расширение области промышленного использования.

Работа этих аппаратов основана на инерционном принципе. Внутри корпуса газовый поток закручивается. Из-за этого на частицы пыли действует центробежная сила. Поскольку частицы плотнее газа, они не полностью повторяют движение воздушного потока. Под действием центробежных сил частицы смещаются к стенке аппарата, выходят из основного потока и затем удаляются из рабочей зоны.

Пылеулавливание в таком аппарате нельзя описать только движением воздуха. Внутри одновременно движутся две фазы: газовая и твердая. Газовая фаза задает поле скоростей, а твердая состоит из частиц пыли разного размера и плотности. Поэтому при расчете эффективности нужно учитывать движение воздуха и поведение частиц в этом потоке. Основные параметры – расход воздуха, радиальная, осевая и тангенциальная скорости газа, диаметр и плотность частиц, а также силы, действующие на частицу во время движения.

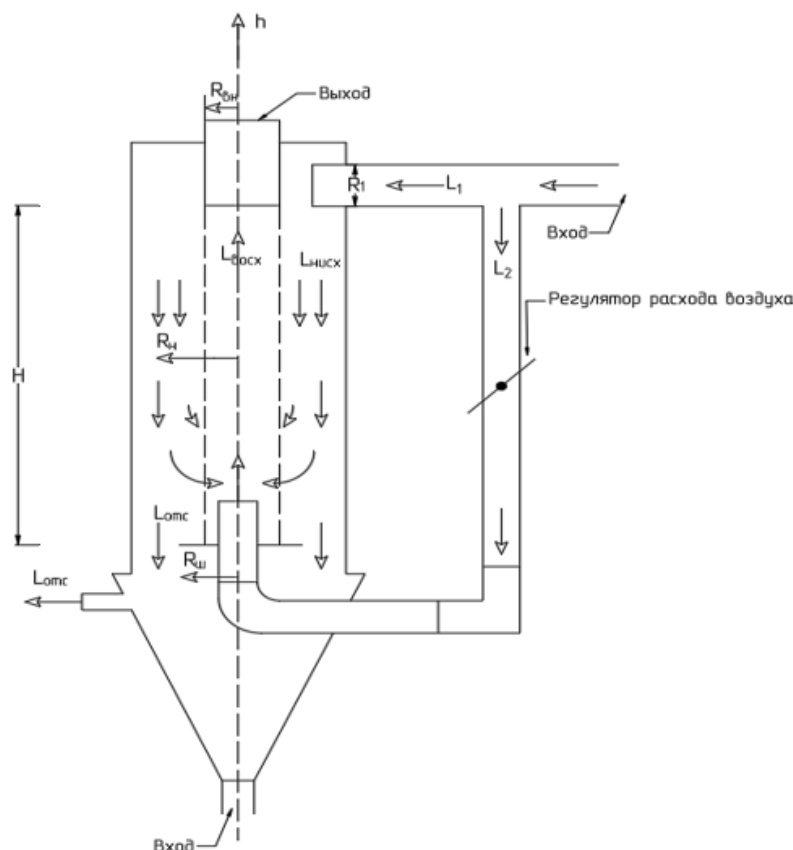


Рис. 1. Схема модели аппарата ВЗП

Движение газовой фазы

Внутри аппарата со встречными закрученными потоками (рис. 1) образуются две основные зоны. Во внешней кольцевой зоне поток движется сверху вниз, а во внутренней цилиндрической зоне – снизу вверх. Такая схема движения помогает разделять газ и твердые частицы. Частицы пыли смещаются к периферии аппарата, а очищенный воздух выходит через внутреннюю зону.

Суммарный расход запыленного воздуха внутри аппарата ВЗП можно представить выражением:

$$L_0 = L_1 + L_2,$$

где L_0 – общий расход воздуха, L_1 – расход воздуха через верхний патрубок, L_2 – расход воздуха через нижний патрубок.

Если через бункерную часть аппарата осуществляется отсос воздуха, его расход обозначают как $L_{отс}$. Тогда изменение расхода нисходящего потока по высоте аппарата можно приближенно представить формулой:

$$L_{нисх} = L_{отс} + \frac{h}{H}(L_1 - L_{отс}),$$

где H – высота сепарационной зоны аппарата, h – текущая координата по высоте.

Для восходящего потока аналогично можно записать:

$$L_{\text{восх}} = L_2 + \frac{h}{H}(L_1 - L_{\text{отс}}).$$

Эти зависимости показывают, что расходы потоков внутри аппарата меняются по высоте. Такое перераспределение влияет на траектории частиц. Частица с малой инерционностью может попасть во внутренний восходящий поток и выйти из аппарата вместе с очищенным воздухом. Более крупная и плотная частица продолжает смещаться к стенке и улавливается.

Для расчета движения газа учитывают три составляющие скорости: радиальную, осевую и тангенциальную. Радиальная скорость показывает, как газ переносится от внешней зоны к внутренней.

Радиальная скорость растет при увеличении расхода верхнего ввода и снижается при большей высоте аппарата. Значит, размеры аппарата и распределение расходов напрямую влияют на движение газа и частиц.

Осевая скорость влияет на то, сколько времени частица находится в сепарационной зоне. Чем дольше она остается в аппарате, тем выше вероятность, что частица успеет сместиться к стенке и будет уловлена. При слишком большой осевой скорости частицы могут выноситься потоком до того, как отделение завершится.

Наиболее важной для пылеулавливания является тангенциальная скорость. Она связана с вращательным движением газа и определяет величину центробежного воздействия на частицу:

$$v_{\tau} = \omega R,$$

где v_{τ} – тангенциальная скорость, ω – угловая скорость, R – радиус движения потока.

Чем больше тангенциальная скорость, тем выше центробежное ускорение и тем интенсивнее частицы перемещаются к стенке аппарата.

Силы, действующие на частицу пыли

Движение частицы пыли внутри аппарата определяется совокупным действием нескольких сил. Основными являются центробежная сила, сила сопротивления воздуха, сила тяжести и сила трения при контакте частицы со стенкой.

Главную роль в процессе отделения играет центробежная сила:

$$F_c = m\omega^2 r,$$

где F_c – центробежная сила, m – масса частицы, ω – угловая скорость, r – радиальная координата частицы.

Масса сферической частицы определяется формулой:

$$m = \rho_p \frac{\pi d^3}{6},$$

где ρ_p – плотность частицы, d – диаметр частицы.

Из этих выражений следует, что на более крупные и плотные частицы действует большая центробежная сила. Поэтому они легче отделяются от газового потока и быстрее доходят до стенки аппарата. Мелкодисперсная пыль, наоборот, имеет малую массу и сильнее увлекается воздушным потоком, из-за чего улавливать ее сложнее.

Сила сопротивления воздуха при малых числах Рейнольдса описывается законом Стокса:

$$\bar{F}_{c\tau} = \frac{-18\nu K_d \rho_g}{\rho d^2} \cdot (\bar{W}_h + \bar{v}_\tau),$$

где ν – кинематическая вязкость воздуха; K_d – динамический коэффициент формы частицы; ρ_g – плотность воздуха/газа; ρ – плотность материала частицы; d – диаметр частицы.

Сила сопротивления стремится уменьшить различие между скоростью частицы и скоростью газового потока. Поэтому мелкие частицы, для которых сопротивление воздуха относительно велико, движутся почти вместе с газом и хуже отделяются.

Сила тяжести способствует перемещению частицы вниз, в сторону пылесборной зоны. Однако ее значение зависит от размера частицы. Для крупных частиц сила тяжести может заметно влиять на траекторию, а для мелких – основную роль играют аэродинамические силы и центробежное воздействие.

Если частица достигает стенки, возникает сила трения. Сила трения влияет на дальнейшее движение частицы вдоль корпуса аппарата. При благоприятных условиях частица перемещается вниз и попадает в пылесборник. Если же потоковые условия неблагоприятны, возможно повторное вовлечение частицы в газовый поток.

Движение твердой фазы

Движение твердой фазы рассматривается как движение отдельной частицы в газовом потоке [9; 10]. Для описания движения частицы используется уравнение:

$$\frac{dV_x}{dt} = \frac{U_x - V_x}{\tau} + \frac{F_x}{m},$$

где V_x – составляющая скорости частицы вдоль оси x ; U_x – составляющая скорости среды вдоль оси x ; F_x – составляющая внешней силы; m – масса частицы; τ – время релаксации.

Время релаксации показывает, как быстро частица подстраивается под изменение скорости газа. Чем оно больше, тем дольше частица сохраняет свое направление движения и тем выше вероятность, что она отделится от потока. У крупных и плотных частиц время релаксации больше, поэтому они улавливаются лучше.

Физический смысл этого уравнения в том, что частица не сразу принимает скорость газового потока. Чем выше ее инерционность, тем сильнее она отклоняется от линий тока. На этом основана работа инерционных пылеуловителей: под действием центробежных сил частица смещается к стенке аппарата, после чего выводится из потока.

Оценка эффективности пылеулавливания

Эффективность газоочистки является основным показателем работы пылеулавливающего аппарата [6; 7]. Она определяется как отношение количества уловленного материала к количеству материала, поступающего в аппарат с пылегазовым потоком:

$$\eta = \frac{M_{\text{ул}}}{M_{\text{вх}}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{C_{\text{вых}} Q_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}} Q_{\text{вх}}}\right) \cdot 100,$$

где $M_{\text{вх}}$, $M_{\text{ул}}$, $M_{\text{вых}}$ – массы частиц соответственно на входе в аппарат, уловленных в аппарате и вышедших из него; $C_{\text{вх}}$ и $C_{\text{вых}}$ – средние концентрации частиц на входе и выходе; $Q_{\text{вх}}$ и $Q_{\text{вых}}$ – количество газа, поступающего в аппарат и выходящего из него.

При равенстве расходов газа на входе и выходе используется соотношение [8; 14]:

$$\eta = \left(1 - \frac{C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}}\right) \cdot 100.$$

Если имеются экспериментальные данные по фракционным степеням очистки, может использоваться формула:

$$\eta = \frac{\eta_1 \Phi_1}{100} + \frac{\eta_2 \Phi_2}{100} + \dots + \frac{\eta_n \Phi_n}{100},$$

где $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ – содержание соответствующих фракций на входе в аппарат, $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ – степени очистки газа соответственно в первом, втором и n -м газоочистителе.

Фракционный коэффициент проскока определяется как отношение концентрации частиц отдельной фракции после аппарата к концентрации частиц этой же фракции перед аппаратом:

$$K_{\sigma} = \frac{C_{\text{вых}}(\sigma)}{C_{\text{вх}}(\sigma)}.$$

Фракционная эффективность газоочистки связана с коэффициентом проскока выражением:

$$\eta_{\sigma} = 1 - K_{\sigma}.$$

Суммарный коэффициент проскока равен:

$$K_{\Sigma} = \frac{C_{\text{вых}\Sigma}}{C_{\text{вх}\Sigma}},$$

а суммарная эффективность газоочистки:

$$\eta_{\Sigma} = 1 - K_{\Sigma}.$$

Если известна дифференциальная функция распределения частиц по размерам $g(\sigma)$, полный проскок определяется интегралом:

$$K_{\Sigma} = \int_0^{\infty} K_{\sigma} g(\sigma) d\sigma,$$

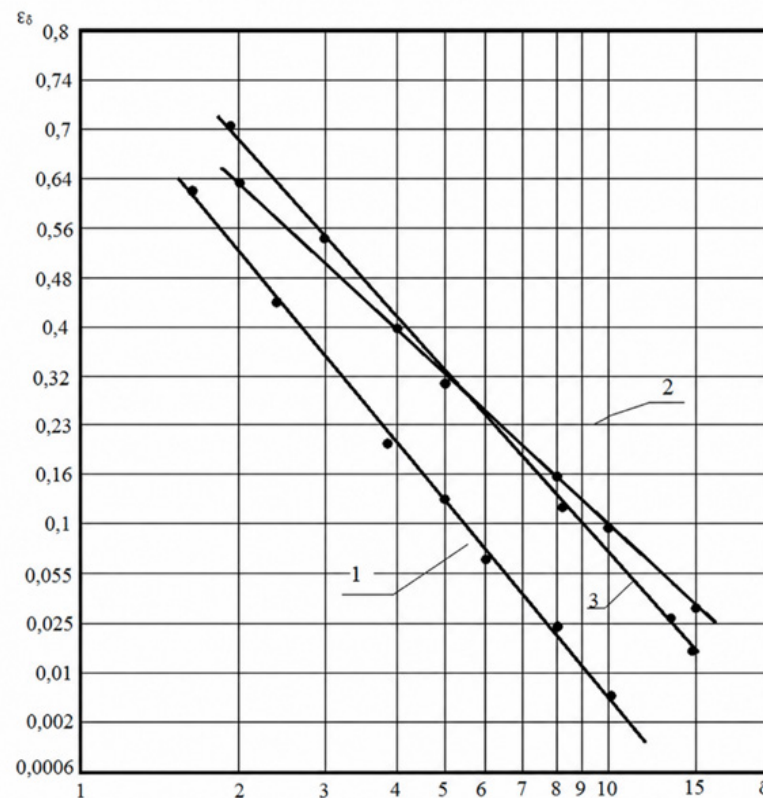


Рис. 2. Двойная логарифмическая – логарифмическая сетка с результатами нахождения проскока ε_δ от диаметра частиц δ : 1 – по данным А.С. Артюхина; 2 – по данным из графика А.В. Баева, по экспериментальным данным М. Остаали; 3 – аппарата ВЗП-100

а полная эффективность:

$$\eta_\Sigma = 1 - K_\Sigma = 1 - \int_0^\infty K_\sigma g(\sigma) d\sigma.$$

$$K_\sigma = e^{-aStk^n},$$

Для обобщения процесса улавливания используется зависимость фракционного коэффициента проскока от числа Стокса [12]:

$$Stk = \frac{\tau v_0}{d_0}.$$

Здесь Stk – инерционное число Стокса, которое характеризует инерционный механизм улавливания пыли в аппарате [12]; τ – динамическое время релаксации частицы, v_0 – характерная скорость, d_0 – характерный линейный размер инерционного процесса осаждения частиц.

Эти зависимости позволяют оценить фракционную и суммарную эффективность аппарата. Чем больше инерционность частицы, тем больше число Стокса и тем меньше вероятность ее проскока через пылеуловитель.

Выводы

Пылеулавливание в аппаратах со встречными закрученными потоками основано на взаимодействии газовой и твердой фаз. Газовый поток формирует радиальную, осевую и тангенциальную составляющие скорости, а частицы пыли под действием центробежных и аэродинамических сил отклоняются от линий тока.

Главным фактором отделения частиц является центробежное ускорение:

$$a_c = r\omega^2.$$

Чем выше угловая и тангенциальная скорость потока, тем интенсивнее частицы перемещаются к стенке аппарата. При этом крупные и плотные частицы улавливаются эффективнее, поскольку обладают большей инерционностью. Мелкодисперсные частицы сложнее отделяются из-за сильного вовлечения в газовый поток.

Расчетные зависимости для скоростей газа, действующих сил, движения частиц и числа Стокса позволяют оценить фракционную и суммарную эффективность аппарата. С их помощью можно подобрать рабочие параметры пылеуловителя, учесть свойства пыли и заранее оценить качество очистки воздуха в системах обеспыливающей вентиляции строительных производств.

Литература

1. Азаров, В.Н. Пылеуловители со встречными закрученными потоками / В.Н. Азаров, Д.В. Азаров ; Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2020. – 140 с.
2. Артюхин, А.С. Совершенствование режимно-конструктивных параметров аппаратов ВЗП в системах обеспыливающей вентиляции перегрузочных узлов строительных материалов : дис. ... канд. техн. наук / А.С. Артюхин. – Волгоград, 2007. – 184 с.
3. Баев, А.В. Совершенствование метода расчета вихревых пылеуловителей в системах обеспыливающей вентиляции строительных производств : дис. ... канд. техн. наук / А.В. Баев. – Волгоград, 2007. – 168 с.
4. Биргер, М.И. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков, В.Ю. Падва, А.А. Русанов, И.И. Урбах. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
5. Ветошкин, А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки : учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – Пенза : Издательство Пенз. гос. ун-та, 2005.
6. Гробов, А.Б. Расчет фракционной эффективности пылеулавливающего оборудования / А.Б. Гробов, А.С. Артюхин, Д.В. Азаров // Наука и образование 2005 : сборник материалов международной научно-практической конференции. – Днепропетровск, 2005. – Т. 17. – С 12–14.
7. Ильичева, С.И. Охрана окружающей среды в промышленности строительных материалов СССР и за рубежом : аналит. справка / С.И. Ильичева, А.А. Василькова. – М. : ВНИИЭСМ, 1991.
8. Калинушкин, М.П. Обеспыливающие установки / М.П. Калинушкин. – М. : Издательство мин-ва. коммун. хоз-ва РСФСР, 1957. – 144с.
9. Кобякова, Ю.Н. Универсальный метод расчета инерционных пылеуловителей / Ю.Н. Кобякова, Д.С. Бугаенко // Материалы 9-й научно-технической конференции «Энергетика, экология, надежность, безопасность». – Томск : Издательство ТПУ, 2003. – С. 14–21.

10. Тertiшников, И.В. Сравнительный анализ моделей Стокса и Осеена для расчета седиментационного диаметра частиц СВМПЭ / И.В. Тertiшников, И.А. Беляков, В.С. Симаков // Components of Scientific and Technological Progress. – 2026. – № 1(115).

11. Остаали, М. Совершенствование оценки фракционного проскока выбросов пыли в атмосферу от аппаратов ВЗП в производстве стройматериалов : дис. ... канд. техн. наук / М. Остаали. – Волгоград, 2019. – 126 с.

12. Шиляев, М.И. Методы расчета и принципы компоновки пылеулавливающего оборудования : учебное пособие / М.И. Шиляев, А.Р. Дорохов. – Томск : Издательство ТГАСУ, 1999. – 209 с.

13. Штокман, Е.А. Очистка воздуха / Е.А. Штокман. – М. : АСВ, 1999. – 319 с.

References

1. Azarov, V.N. Pyleuloviteli so vstrechnymi zakruchennymi potokami / V.N. Azarov, D.V. Azarov ; Volgogradskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. – Volgograd : Volgogradskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2020. – 140 s.

2. Artyukhin, A.S. Sovershenstvovanie rezhimno-konstruktivnykh parametrov apparatov VZP v sistemakh obespylivayushchej ventilyatsii peregruzochnykh uzlov stroitelnykh materialov : dis. ... kand. tekhn. nauk / A.S. Artyukhin. – Volgograd, 2007. – 184 s.

3. Baev, A.V. Sovershenstvovanie metoda rascheta vikhrevykh pyleulovitelej v sistemakh obespylivayushchej ventilyatsii stroitelnykh proizvodstv : dis. ... kand. tekhn. nauk / A.V. Baev. – Volgograd, 2007. – 168 s.

4. Birger, M.I. Spravochnik po pyle- i zoloulavlivaniyu / M.I. Birger, A.YU. Valdberg, B.I. Myagkov, V.YU. Padva, A.A. Rusanov, I.I. Urbakh. – М. : Energoatomizdat, 1983. – 312 s.

5. Vetoshkin, A.G. Protsessy i apparaty pyleochistki : uchebnoe posobie / A.G. Vetoshkin. – Penza : Izdatelstvo Penz. gos. un-ta, 2005.

6. Grobov, A.B. Raschet fraktsionnoj effektivnosti pyleulavlivayushchego oborudovaniya / A.B. Grobov, A.S. Artyukhin, D.V. Azarov // Nauka i obrazovanie 2005 : sbornike materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Dnepropetrovsk, 2005. – Т. 17. – S 12–14.

7. Ilicheva, S.I. Okhrana okruzhayushchej sredy v promyshlennosti stroitelnykh materialov SSSR i za rubezhom : analit. spravka / S.I. Ilicheva, A.A. Vasilkova. – М. : VNIIESM, 1991.

8. Kalinushkin, M.P. Obespylivayushchie ustanovki / M.P. Kalinushkin. – М. : Izdatelstvo min-va. kommun. khoz-va RSFSR, 1957. – 144 s.

9. Kobyakova, YU.N. Universalnyj metod rascheta inertsiionnykh pyleulovitelej / YU.N. Kobyakova, D.S. Bugaenko // Materialy 9-oj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Energetika, ekologiya, nadezhnost, bezopasnost». – Tomsk : Izdatelstvo TPU, 2003. – S. 14–21.

10. Tertishnikov, I.V. Sravnitelnyj analiz modelej Stoksa i Oseena dlya rascheta sidementatsionnogo diametra chastits SVMPE / I.V. Tertishnikov, I.A. Belyakov, V.S. Simakov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2026. – № 1(115).

11. Ostaali, M. Sovershenstvovanie otsenki fraktsionnogo proskoka vybrosov pyli v atmosferu ot apparatov VZP v proizvodstve strojmaterialov : dis. ... kand. tekhn. nauk / M. Ostaali. – Volgograd, 2019. – 126 s.

12. SHilyaev, M.I. Metody rascheta i printsipy komponovki pyleulavlivayushchego oborudovaniya : uchebnoe posobie / M.I. SHilyaev, A.R. Dorokhov. – Tomsk : Izdatelstvo TGASU, 1999.

13. SHtokman, E.A. Ochistka vozdukha / E.A. SHtokman. – М. : ASV, 1999. – 319 s.

Mathematical Description of the Dust Collection Process in Devices with Counter Swirling Flows

N.Yu. Karapuzova, A.D. Khlybov, V.I. Karapuzov, S.V. Lonshakov

Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia)

Keywords and phrases: dust extraction; dedusting ventilation; inertial dust collectors; mathematical description; centrifugal forces; Stokes number; fractional efficiency; fine dust.

Abstract. This article is devoted to the mathematical description of dust collection in counter-swirl flow (CSF) devices. The objective of the study is to optimize the CSF parameters for collecting fine dust. To achieve this goal, the following tasks were solved: analysis of the inertial phase separation mechanism, derivation of calculated dependencies of gas velocities and forces acting on particles, and an efficiency assessment using the Stokes number. It is hypothesized that accounting for the interaction of counter-swirl flows will improve the accuracy of predicting the trajectories of PM10 and PM2.5 particles compared to traditional cyclones. The results can improve the efficiency of industrial aspiration systems.

© Н.Ю. Карапузова, А.Д. Хлыбов, В.И. Карапузов, С.В. Лоншаков, 2026

УДК 697.9

Повышение эффективности систем промышленной вентиляции

Н.Ю. Карапузова, А.Д. Хлыбов,
Д.А. Мамыкин, А.И. Жупанов

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград (Россия)

Ключевые слова и фразы: аспирация; ВЗП; вихреинерционный пылеуловитель; жалюзийный пылеуловитель; зернистый фильтр; охрана окружающей среды; очистка воздуха; пылеулавливание; строительное производство; циклон.

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к снижению негативного воздействия выбросов предприятий строительной отрасли на производственную и окружающую среду. Проанализированы системы аспирации и пылеулавливания, применяемые для очистки аспирационного воздуха и отходящих газов. Представлены конструктивные решения двухступенчатых пылеуловителей на базе зернистых фильтров с использованием циклонов, жалюзийных пылеуловителей и вихреинерционных аппаратов на встречных закрученных потоках (ВЗП) в качестве первой ступени очистки. Показана эффективность применения многоступенчатых систем обеспыливания, позволяющих достичь степени очистки до 99,6 %.

Введение

Для обеспыливания выбрасываемых в атмосферу отходящих газов и аспирационного воздуха строительного производства применяют специальные пылеулавливающие установки, которые предотвращают загрязнение воздуха и потери перерабатываемых материалов. На систему аспирации возлагаются две задачи: обеспечение благоприятной пылевой обстановки на рабочих местах и вблизи технологического оборудования, когда концентрация пыли в воздухе рабочей зоны не превышает ПДК, а также обеспечение минимального выброса пыли в атмосферу [1; 2]. В зависимости от выполнения этих задач можно говорить об эффективности работы систем аспирации.

В соответствии с санитарными правилами и нормами (СанПиН 1.2.3685–21) предельно допустимая концентрация аэрозолей фиброгенного действия (к которым относится пыль строительного производства) в воздухе рабочих помещений не должна превышать 1,5–6 мг/м³ в зависимости от содержания свободного диоксида кремния [13]. При неудовлетворительной работе систем вентиляции и аспирации зачастую происходит выделение пыли в воздух рабочей зоны помещений, что приводит к ухудшению условий труда рабочих и уско-

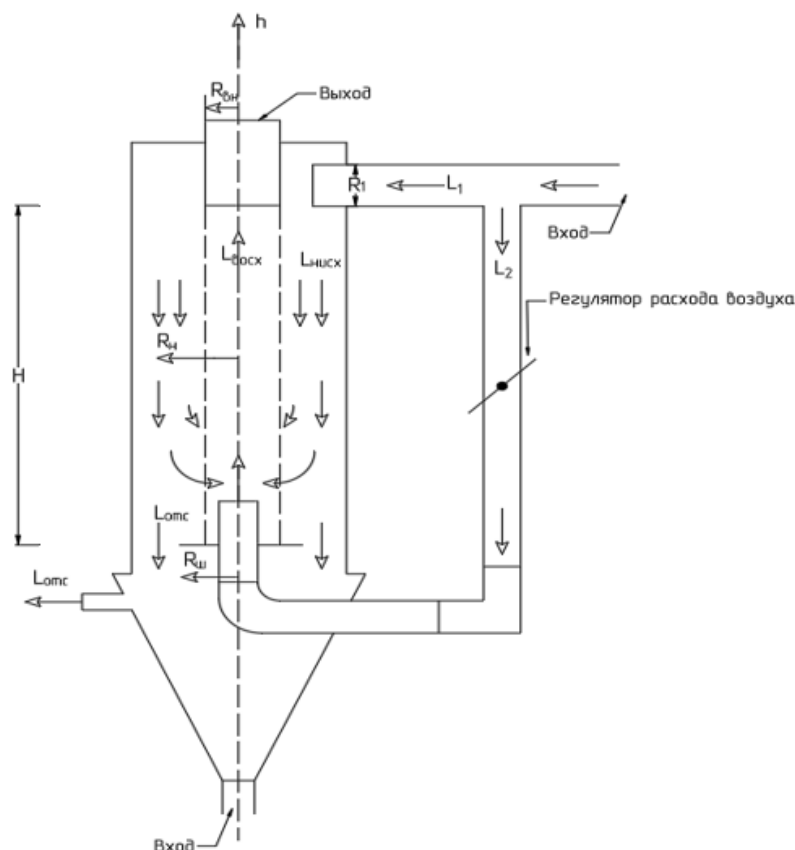


Рис. 1. Схема аппарата ВЗП

ряет износ машин и контрольно-измерительных приборов. Эта пыль, попадая в органы дыхания, может являться причиной возникновения различных профессиональных заболеваний, таких как пневмокониоз [14].

Строительное производство характеризуется значительным пылевыведением при выполнении различных технологических операций: дроблении, сортировке, транспортировке сыпучих материалов, приготовлении бетонных и строительных смесей. Интенсивность пылевыведения зависит от физико-химических свойств материалов, влажности, дисперсности частиц, высоты падения материала и других факторов [7].

В настоящее время для очистки аспирационного воздуха все чаще применяют многоступенчатые системы обеспыливания, включающие в качестве первой ступени циклоны различных конструкций, вихреинерционные пылеуловители на встречных закрученных потоках (ВЗП) или жалюзийные пылеуловители, а в качестве второй и третьей – рукавные фильтры или электрофильтры [4; 11].

Вихреинерционные пылеуловители на встречных закрученных потоках (ВЗП) представляют собой перспективный класс аппаратов для очистки газовых выбросов. Принцип действия основан на создании двух встречно направленных закрученных потоков, в зоне соударения которых происходит интенсивная коагуляция частиц пыли и их последующее разделение под действием центробежных сил [10; 12].

Конструкция ВЗП (рис.1) включает корпус цилиндрической или конической формы, тангенциальные патрубки подвода запыленного газа, завихрители, камеру соударения встречных потоков, пылевыгрузочное устройство и патрубок отвода очищенного газа.

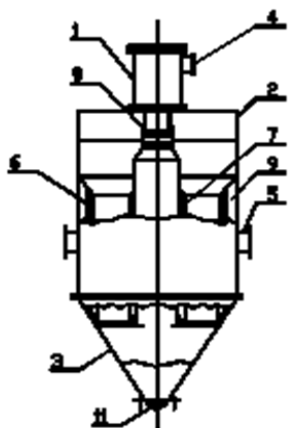


Рис. 2. Двухступенчатый пылеуловитель с циклоном для очистки выбросов строительного производства

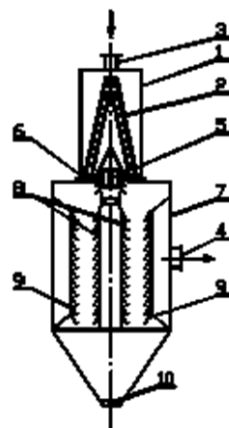


Рис. 3. Двухступенчатый аппарат с жалюзийным пылеуловителем

Использование ВЗП в системах аспирации строительных предприятий обеспечивает ряд существенных преимуществ.

1. Высокая эффективность очистки – степень улавливания пыли достигает 85–95 % для частиц размером от 5 мкм и выше, что превосходит показатели традиционных циклонов на 15–20 % [10].

2. Эффективность улавливания тонкодисперсной пыли – ВЗП способны эффективно улавливать частицы размером 1–10 мкм, которые сложно задержать в обычных инерционных аппаратах.

3. Низкое гидравлическое сопротивление – благодаря оптимизированной аэродинамике, гидравлическое сопротивление ВЗП составляет 400–800 Па, что на 20–30 % ниже, чем у традиционных циклонов аналогичной производительности [1].

4. Компактность конструкции и отсутствие движущихся частей, что обеспечивает высокую надежность и долговечность оборудования.

Сравнительный анализ эффективности различных типов пылеуловителей показывает преимущества ВЗП как аппарата первой ступени очистки:

- циклон НИИОГАЗ: эффективность 70–85 %, сопротивление 600–1000 Па;
- жалюзийный пылеуловитель: эффективность 65–80 %, сопротивление 300–600 Па;
- ВЗП: эффективность 85–95 %, сопротивление 400–800 Па [1; 10];
- рукавный фильтр: эффективность 99–99,9 %, сопротивление 800–1500 Па [6].

Повышение эффективности улавливания твердых частиц можно достичь применением аппаратов с пористыми средами, среди которых для улавливания твердых частиц выбросов строительной отрасли целесообразно использовать аппараты на базе зернистых фильтров. Они обладают стойкостью к большим температурам и агрессивным средам при достаточно высокой степени очистки, что предопределяет перспективность их использования [3; 6].

Зернистый слой фильтров регенерируется путем перемешивания или обратной продувкой. Однако регенерация фильтров обратной продувкой требует значительного количества газа с более низкой температурой, что в условиях высокотемпературного фильтрования приводит к конденсации влаги, из-за чего снижается эффективность очистки [8]. В связи с этим перспективным является использование методов непрерывной подачи свежей зернистой загрузки.

Для улавливания выбросов строительного производства разработан аппарат на базе зернистого фильтра, где в качестве первой ступени может использоваться циклон, вихреинерционный пылеуловитель (ВЗП), либо жалюзийный пылеуловитель [2; 11].

Авторами предложен двухступенчатый пылеуловитель с циклоном для очистки выбросов строительного производства (рис. 2) [2]. Аппарат включает в себя фильтр, содержащий зернистый фильтрующий материал, циклон, пылевыгрузочное устройство, патрубки подвода запыленного и отвода очищенного воздуха. Циклон выполнен в прямоточном исполнении и расположен над фильтром. Аппарат позволяет использовать крупные и средние фракции пыли, уловленной циклоном, в качестве зернистого фильтрующего материала [2].

Процесс очистки воздуха осуществляется ступенчато.

1. Первая ступень (циклон). Запыленный поток воздуха подается в циклон. Под действием сил гравитации и центробежных сил крупные и средние фракции пыли оседают между коаксиально расположенными жалюзийными решетками фильтра и образуют зернистый фильтрующий слой с размером частиц от 100 до 25 мкм [2].

2. Вторая ступень (зернистый фильтр). Поток с тонкодисперсными фракциями проходит через зернистый слой. Очищенный воздух отводится через патрубок, а фильтрующий материал с уловленной пылью опускается в пылевыгрузочное устройство.

Основным элементом жалюзийного пылеуловителя (рис. 3) является жалюзийная решетка, жалюзи которой располагаются под углом естественного откоса к направлению движения воздуха. Жалюзийный пылеуловитель соединен с зернистым фильтром, воздухоприемным устройством, представляющим собой разделительный конус с жалюзи и переходной втулкой [2].

Процесс очистки.

1. Первая ступень. Поток запыленного воздуха, обтекая жалюзийную решетку, разбивается на тонкие струйки. Крупные и средние фракции пыли по инерции оседают в направлении щелей, соединяющих пылеуловитель с фильтром, и накапливаются в межрешеточном пространстве.

2. Вторая ступень. Поток с тонкодисперсной пылью проходит через зернистый фильтрующий слой, после чего очищенный воздух отводится через наружную решетку [2].

Комбинированная схема с использованием ВЗП

Наиболее перспективной представляется схема, где в качестве первой ступени используется ВЗП. Это позволяет повысить общую эффективность системы до 99,6–99,8 % за счет более качественного улавливания тонкодисперсной пыли на первой ступени, снизить нагрузку на зернистый фильтр и увеличить межрегенерационный период [4; 10].

Регенерация фильтра во всех рассмотренных схемах осуществляется путем постоянной или периодической подачи свежей зернистой загрузки, что обеспечивает непрерывность работы устройства без необходимости установки дополнительных секций для регенерации [3; 8].

Использование рассмотренных конструкций пылеуловителей на базе зернистого фильтра для обеспыливания выбросов предприятий строительной отрасли позволяет:

- 1) повысить эффективность очистки до 99,6 % за счет многоступенчатой системы улавливания частиц различной дисперсности [2; 11];
- 2) снизить уровень запыленности воздуха в рабочей зоне за счет более устойчивой работы в условиях изменения расходов воздуха [4].
- 3) уменьшить эксплуатационные затраты благодаря использованию уловленной пыли в

качестве фильтрующего материала и применению энергоэффективных аппаратов ВЗП [10].

4) снизить выбросы в атмосферу до нормативных значений, установленных природоохранным законодательством [13; 14].

Заключение

Разработанные системы аспирации с использованием зернистых фильтров в комбинации с циклонами, жалюзийными пылеуловителями или вихреинерционными аппаратами на встречных закрученных потоках (ВЗП) представляют собой перспективное направление в области очистки выбросов предприятий строительной отрасли.

Применение многоступенчатых систем обеспыливания позволяет не только достичь высоких показателей эффективности очистки, но и обеспечить благоприятные условия труда персонала, продлить срок службы технологического оборудования и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Особую перспективность демонстрирует использование ВЗП в качестве первой ступени очистки, что обеспечивает высокую эффективность улавливания при низком гидравлическом сопротивлении.

Литература

1. Акимов, А.Д. Аэродинамика и расчет аппаратов пылеулавливания в строительной индустрии : монография / А.Д. Акимов. – М. : МГСУ, 2018. – 214 с.
2. Мензелинцева, Н.В. Аппарат для высокоэффективной очистки промышленных выбросов от твердых частиц / Н.В. Мензелинцева, Н.Ю. Карапузова, Л.И. Плеханова // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : сборник материалов международной научной конференции. – Волгоград : ВолГАСУ, 2007. – С. 205–208.
3. Башлыков, А.А. Мембранные и зернистые технологии в процессах разделения дисперсных систем / А.А. Башлыков. – Екатеринбург : УрФУ, 2020. – 194 с.
4. Воскресенский, А.Г. Технология пылеулавливания и обеспыливания воздуха : справочное пособие / А.Г. Воскресенский. – М. : Химия, 2019. – 416 с.
5. Лукьянов, Н.А. Определение гидравлического сопротивления в фильтрующем слое / Н.А. Лукьянов, С.Ю. Кабанов // Энергосбер. технолог. комплексы и оборудование для производства строительных материалов : сборник трудов. – Белгород : БГТУ, 2010. – С. 237–241.
6. Гусев, Ю.Н. Зернистые фильтры для очистки газов и жидкостей: теория и практика применения / Ю.Н. Гусев. – СПб. : Профессиональная литература, 2020. – 288 с.
7. Дмитриев, А.М. Экологическая безопасность предприятий строительной индустрии : учебник / А.М. Дмитриев. – М. : КНОРУС, 2021. – 320 с.
8. Аэров, М.Э. Аппараты со стационарным зернистым слоем (гидравлические и тепловые основы работы) / М.Э. Аэров, О.М. Тодес, Д.А. Наринский. – Л. : Химия, 1979. – 176 с.
9. Кошкарев, С.А. Повышение экологической безопасности предприятий стройиндустрии при снижении выбросов пыли и отходов от систем обеспыливания с пылеуловителями фильтрующе-псевдоожиженного слоя дисперсного материала. / С.А. Кошкарев, К.С. Кошкарев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2022. – № 3(88). – С. 255–267.
10. Шайкин, Д.В. Экономическая и экологическая эффективность модернизации систем вентиляции на промышленных предприятиях / Д.В. Шайкин, В.И. Лепилов, И.А. Обиднов, А.И. Жупанов // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 12(114).
11. Лукьянсков, А.С. Определение минимальных объемов аспирационного воздуха от

технологического оборудования / А.С. Лукьянсков, Е.А. Коротков // Экология, охрана среды, строительство : сборник научных трудов. – Волгоград : Волгогр. гос. арх.-строит. ун-т., 2006. – С. 151–154.

12. Парсункин, В.Н. Аппараты с закрученными потоками в химической и строительной технологии / В.Н. Парсункин, А.В. Клинов. – М. : Лань, 2019. – 312 с.

13. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания, 2021.

14. Таловская, А.В. Промышленная экология и охрана атмосферного воздуха : учебное пособие / А.В. Таловская, Е.Г. Языков. – Томск : Издательство ТПУ, 2021. – 245 с.

15. Хохлова, Л.И. Анализ эффективности систем аспирации на предприятиях по производству строительных материалов / Л.И. Хохлова, Т.В. Чернышкова // Инновационная наука в условиях модернизации экономики : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. – Уфа : АЭТЕРНА, 2023. – С. 42–45.

References

1. Akimov, A.D. Aerodinamika i raschet apparatov pyleulavlivaniya v stroitelnoj industrii : monografiya / A.D. Akimov. – M. : MGSU, 2018. – 214 s.

2. Menzelintseva, N.V. Apparat dlya vysokoeffektivnoj oчитки promyshlennykh vybrosov ot tverdykh chastits / N.V. Menzelintseva, N.YU. Karapuzova, L.I. Plekhanova // Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhayushchej sredy : sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii. – Volgograd : VolgGASU, 2007. – S. 205–208.

3. Bashlykov, A.A. Membrannye i zernistye tekhnologii v protsessakh razdeleniya dispersnykh sistem / A.A. Bashlykov. – Ekaterinburg : UrFU, 2020. – 194 s.

4. Voskresenskij, A.G. Tekhnologiya pyleulavlivaniya i obespylivaniya vozdukha : spravocnoe posobie / A.G. Voskresenskij. – M. : KHimiya, 2019. – 416 s.

5. Lukyanov, H.A. Opredelenie gidravlichesкого soprotivleniya v filtruyushchem sloe / H.A. Lukyanov, S.YU. Kabanov // Energosber. tekhnolog. komplekсы i oborudovanie dlya proizvodstva stroitelnykh materialov : sbornik trudov. – Belgorod : BGTU, 2010. – S. 237–241.

6. Gusev, YU.N. Zernistye filtry dlya oчитки gazov i zhidkostej: teoriya i praktika primeneniya / YU.N. Gusev. – SPb. : Professionalnaya literatura, 2020. – 288 s.

7. Dmitriev, A.M. Ekologicheskaya bezopasnost predpriyatij stroitelnoj industrii : uchebnik / A.M. Dmitriev. – M. : KNORUS, 2021. – 320 s.

8. Aerov, M.E. Apparaty so statsionarnym zernistym sloem (gidravlicheskie i teplovye osnovy raboty) / M.E. Aerov, O.M. Todes, D.A. Narinskij. – L. : KHimiya, 1979. – 176 s.

9. Koshkarev, S.A. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti predpriyatij strojindustrii pri snizhenii vybrosov pyli i otkhodov ot sistem obespylivaniya s pyleulovitelyami filtruyushchepsevdoozhizhennogo sloya dispersnogo materiala. / S.A. Koshkarev, K.S. Koshkarev // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arkhitektura. – 2022. – № 3(88). – S. 255–267.

10. SHajkin, D.V. Ekonomicheskaya i ekologicheskaya effektivnost modernizatsii sistem ventilyatsii na promyshlennykh predpriyatiyakh / D.V. SHajkin, V.I. Lepilov, I.A. Obidnov, A.I. ZHupanov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 12(114).

11. Lukyanskov, A.S. Opredelenie minimalnykh obemov aspiratsionnogo vozdukha ot tekhnologicheskogo oborudovaniya / A.S. Lukyanskov, E.A. Kоротков // Ekologiya, okhrana sredy, stroitelstvo : sbornik nauchnykh trudov. – Volgograd : Volgogr. gos. arkh.-stroit. un-t., 2006. – S. 151–154.

12. Parsunkin, V.N. Apparaty s zakruchennymi potokami v khimicheskoy i stroitelnoy tekhnologii / V.N. Parsunkin, A.V. Klinov. – M. : Lan, 2019. – 312 s.
13. SanPiN 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya, 2021.
14. Talovskaya, A.V. Promyshlennaya ekologiya i okhrana atmosfernogo vozdukha : uchebnoe posobie / A.V. Talovskaya, E.G. YAzikov. – Tomsk : Izdatelstvo TPU, 2021. – 245 s.
15. KHokhlova, L.I. Analiz effektivnosti sistem aspiratsii na predpriyatiyakh po proizvodstvu stroitelnykh materialov / L.I. KHokhlova, T.V. CHernyshkova // Innovatsionnaya nauka v usloviyakh modernizatsii ekonomiki : sb. st. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Ufa : AETERNA, 2023. – S. 42–45.

Improving the Efficiency of Industrial Ventilation Systems

N.Yu. Karapuzova, A.D. Khlybov, D.A. Mamykin, A.I. Zhupanov

Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia)

Keywords and phrases: aspiration; dust extraction; granular filter; cyclone; louvered dust collector; vortex inertia dust collector; counter-swirling flows; air purification; construction industry; environmental protection.

Abstract. The article discusses modern approaches to reducing the negative impact of emissions from the construction industry on production and the environment. Aspiration and dust collection systems used to purify aspiration air and exhaust gases are analyzed. Constructive solutions of two-stage dust collectors based on granular filters using cyclones, louvered dust collectors and vortex inertia devices on counter swirling flows as the first stage of purification are presented. The effectiveness of the use of multi-stage dedusting systems, allowing to achieve a degree of purification up to 99,6 %, is shown.

© Н.Ю. Карапузова, А.Д. Хлыбов, Д.А. Мамыкин, А.И. Жупанов, 2026

УДК 697.341(343)

Проблема всплытия трубопроводов тепловых сетей в водонасыщенных грунтах

П.П. Кондауров, Д.В. Новоселецкий

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград (Россия)

Ключевые слова и фразы: проектирование; тепловые сети; энергоэффективность.

Аннотация. Цель данной статьи – рассмотреть основные причины возникновения всплытия трубопроводов тепловых сетей, проанализировать существующие методы его выявления и профилактики, а также определить направления дальнейших исследований в этой области. Гипотеза исследования: существующие методы выявления и профилактики всплытия трубопроводов в водонасыщенных грунтах не учитывают множества факторов, таких как материал труб и вид изоляции, и требуют модификации. Методы: анализ инженерных решений, обобщение практического опыта, моделирование на основе существующих методик. Достигнутые результаты: выведены графики зависимости всплытия трубопроводов на основе существующей методики и определены факторы, учтенные данной методикой.

Введение

Актуальность проблемы всплытия трубопроводов в тепловых сетях обусловлена их критической ролью в обеспечении надежной и эффективной теплоэнергетики [1]. Тепловые сети являются сложными инженерными системами, предназначенными для транспортировки горячей воды или пара на большие расстояния с минимальными потерями энергии [2]. В процессе эксплуатации таких систем возникает ряд технических и эксплуатационных проблем, среди которых особое место занимает явление всплытия трубопроводов [2].

Причины всплытия трубопроводов

Всплытие трубопроводов в тепловых сетях является сложным многопричинным явлением, обусловленным взаимодействием гидравлических, конструктивных и материальных факторов. Для понимания механизма этого процесса необходимо подробно рассмотреть основные причины, вызывающие подъем трубопроводных конструкций в грунте или опорных конструкциях.

Конструктивные особенности и материалы трубопроводов существенно влияют на вероятность их всплытия. Трубопроводы с низкой массой и слабой фиксацией в грунте более

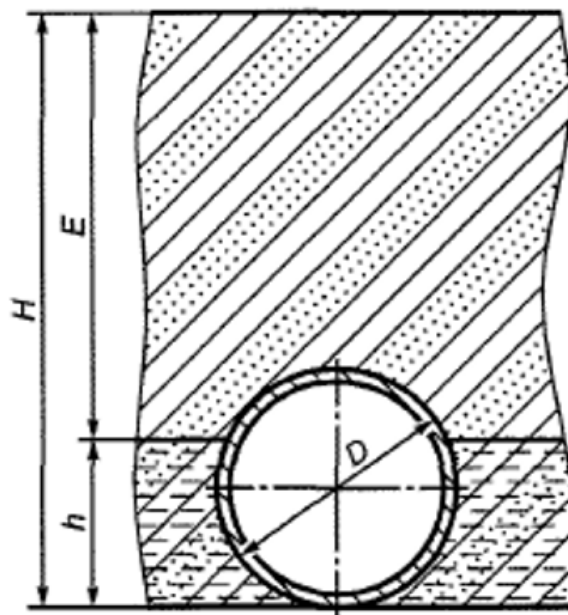


Рис. 1. Расчетная схема

подвержены подъему под действием гидростатических сил.

Использование легких материалов или недостаточная фиксация элементов системы способствуют возникновению условий для их свободного перемещения вверх при воздействии давления. Кроме того, конструктивные решения, такие как отсутствие дополнительных креплений, могут усугублять ситуацию. Материалы с низкой плотностью и плохой адгезией с грунтом не обеспечивают необходимой устойчивости и способствуют возникновению условий для всплытия.

Последствия и опасности всплытия трубопроводов

Одним из наиболее очевидных и непосредственных последствий всплытия является повреждение трубопроводов. Подъем конструкции в грунте или опорных конструкциях под действием гидростатических сил вызывает механические деформации, которые могут привести к трещинам, разрывам или разрушению изоляционных слоев. В результате происходит нарушение герметичности системы, что способствует утечкам теплоносителя.

Еще одним из последствий является образование воздушных пробок вследствие всплытия отдельных участков трубопроводов, что влечет за собой прекращение движения теплоносителя. В холодный период года такая ситуация может повлечь за собой размораживание тепловых сетей и критическую деформацию не только отдельных участков, но и всей системы теплоснабжения.

Проектные решения и укрепления

Одним из ключевых аспектов профилактики всплытия является правильный выбор конструктивных решений при проектировании тепловых сетей. Важным элементом является расчет на устойчивость от всплытия и закрепление трубопроводов. Для этого используют методы усиления грунтового основания, стабилизация грунта с помощью геотекстилей, а

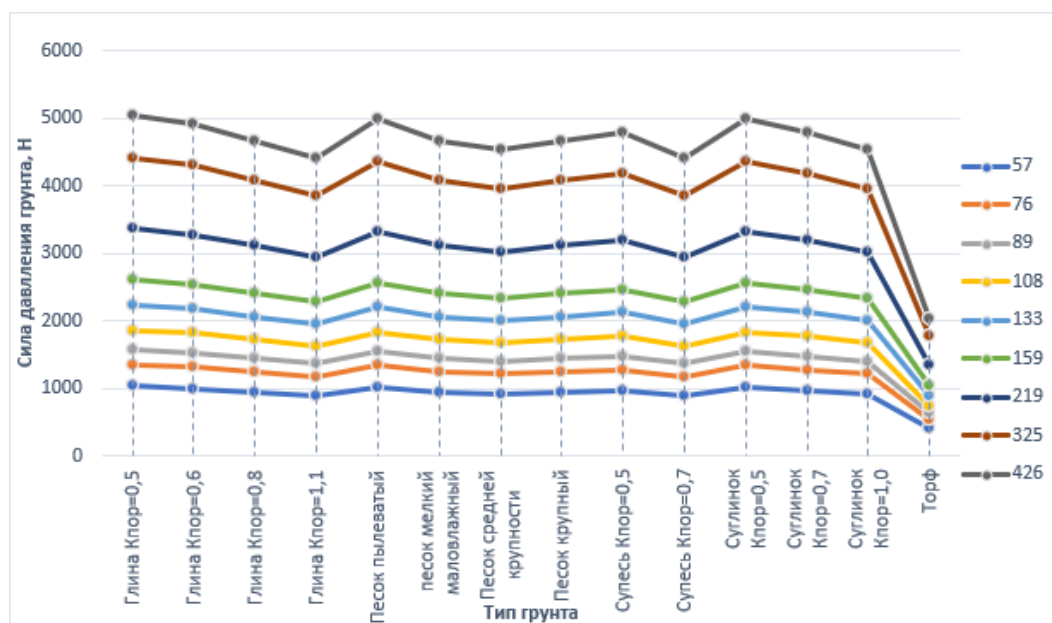


Рис. 2. График зависимости силы давления грунта от типа грунта и диаметра трубопровода

также применение специальных опорных конструкций, способных выдерживать гидростатические силы.

В качестве дополнительной меры применяют закрепляющие элементы: неподвижные опоры, хомуты, которые фиксируют положение трубопроводов в грунте или на опорах. Использование тяжелых материалов или специальных балластных элементов позволяет увеличить массу конструкции и снизить вероятность подъема под действием гидравлических сил.

Конструктивные решения также включают использование систем изоляции и защиты от коррозии, что способствует сохранению целостности трубопроводов при эксплуатации. Важным аспектом является проектирование системы так, чтобы обеспечить равномерное распределение нагрузок и минимизировать концентрацию гидравлических сил в отдельных участках. Для этого применителен расчет трубопровода на всплытие [3]:

Расчет трубопровода на всплытие сводится к выполнению неравенства:

$$F_{\text{гр}} + F_{\text{вт}} \geq F_A, \quad (1)$$

где $F_{\text{гр}}$ – сила давления грунта, Н; $F_{\text{вт}}$ – сила от массы трубы, Н; F_A – сила всплытия трубы (сила Архимеда), Н.

Высоту перекрытия трубы (м) рассчитывают по формуле

$$h = DK, \quad (2)$$

где D – наружный диаметр трубы, м;

$$K = (H - E)/D, \quad (3)$$

здесь H – глубина заложения, м; E – уровень грунтовых вод, м.

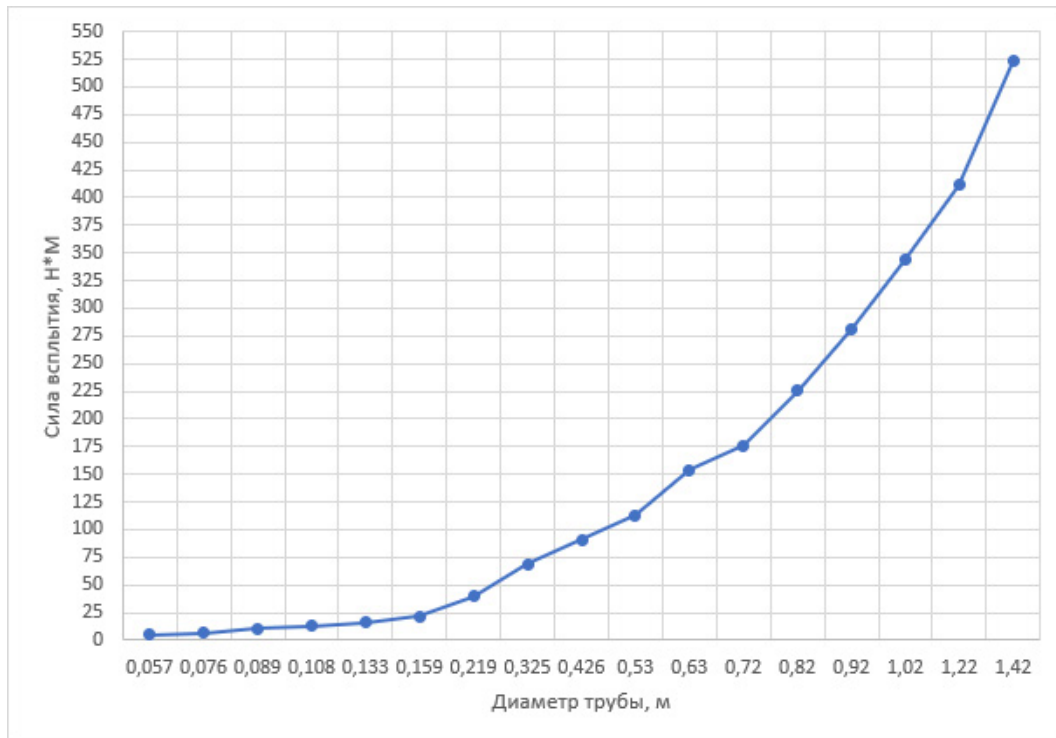


Рис. 3. График зависимости силы всплытия наполненного трубопровода от диаметра при $K = 1$

Если расчетный $K > 1$, принимают $K = 1$. Рассчитываемый коэффициент характеризует процент площади сечения трубы, находящейся ниже зоны грунтовых вод.

Силу давления грунта, H , рассчитывают по формуле

$$F_{\text{гр}} = \gamma \left[\frac{D^2}{2} - \frac{\pi D^2}{8} + (H - D)D \right] 1000g, \quad (4)$$

где γ – удельный вес грунта, т/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Силу всплытия (силу Архимеда, $H \cdot m$) рассчитывают по формулам:

- для незаполненных труб:

$$F_A = \left[\left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot \frac{\arccos(1-2K) \cdot 57,306}{180} \right] 1000g; \quad (5)$$

- для заполненных труб:

$$F_A = \left[\left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot \frac{\arccos(1-2K) \cdot 57,306}{180} - \frac{\pi d^2}{4} \right] 1000g, \quad (6)$$

где d – внутренний диаметр трубы, м.

Силу от массы трубы ($H \cdot m$) рассчитывают по формуле:

$$F_{\text{вт}} = mg, \quad (7)$$

где m – масса 1 пог.м трубы, кг.

По результатам расчета делают вывод:

- $F_{\text{гр}} + F_{\text{вт}} \geq F_{\text{А}}$ – трубопровод устойчив;
- $F_{\text{гр}} + F_{\text{вт}} < F_{\text{А}}$ – трубопровод всплывет.

Исходя из формулы (4) выведен график зависимости силы давления грунта от типа грунта и диаметра трубопровода (рис. 2).

Исходя из выведенных графиков можно сделать вывод, что всплытие трубопроводов в водонасыщенных грунтах напрямую зависит от типа грунта и диаметра. Так, анализируя график зависимости силы давления грунта от типа грунта и диаметра трубопровода (рис. 2), можно сказать, что при использовании небольших диаметров тип грунта не играет особой роли в всплытии трубопроводов и величина силы давления грунта является примерно одинаковой, чего не скажешь о больших диаметрах. При использовании крупных диаметров прослеживается явная разница силы давления различных типов грунтов, и можно выделить наиболее неблагоприятные грунты: торф, супесь и глины с высоким коэффициентом пористости.

Заключение

Методика расчета всплытия трубопроводных систем в тепловых сетях является критически важным аспектом обеспечения их надежной и безопасной эксплуатации. В сложных геологических условиях риск подъема конструкций под действием гидростатических сил представляет собой значительную угрозу целостности инфраструктуры, что может привести к дорогостоящим ремонтам, снижению эффективности теплообеспечения и потенциальным аварийным ситуациям.

В целом существующая методика расчета на всплытие является общей для всех трубопроводных систем (тепловые сети, водоснабжение и канализация). Но в приведенной методике не учтены материал труб и вид изоляции трубопроводов, что характерно в большей степени для тепловых сетей, поэтому методика требует модификации под реалии проектирования тепловых сетей на территориях с высокими грунтовыми водами.

Литература

1. Хрусталеv, Б.М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование ; 3-е изд., испр. и доп./ Б.М. Хрусталеv, Ю.Я. Кувшинов, В.М. Копко; под ред. проф. Б.М. Хрусталева. – М. : АСВ, 2007. – 784 с.
2. СП 315.1325800.2017. Тепловые сети бесканальной прокладки. Правила проектирования, 2018.
3. СП 399.1325800.2018. Системы водоснабжения и канализации наружные из полимерных материалов, 2018.

References

1. Khrustalev, B.M. Teplosnabzhenie i ventilyatsiya. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie ; 3-e izd., ispr. i dop./ B.M. Khrustalev, YU.YA. Kuvshinov, V.M. Kopko; pod red. prof. B.M. Khrustaleva. – M. : ASV, 2007. – 784 s.

2. SP 315.1325800.2017. Teplovye seti beskanalnoj prokladki. Pravila proektirovaniya, 2018.
3. SP 399.1325800.2018. Sistemy vodosnabzheniya i kanalizatsii naruzhnye iz polimernykh materialov, 2018.5.

The Problem of Heat Network Pipeline Flooding in Water-Saturated Soils

P.P. Kondaurov, D.V. Novoseletsky

Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia)

Keywords and phrases: heating networks; design; energy efficiency.

Abstract. The purpose of this article is to examine the main causes of heating network pipeline floatation, analyze existing methods for its detection and prevention, and identify areas for further research in this area. The research hypothesis suggests that existing methods for detecting and preventing pipeline floatation in water-saturated soils do not take into account many factors, such as pipe material and insulation type, and require modification. Methods include analysis of engineering solutions, generalization of practical experience, modeling based on existing methods. Results: graphs of pipeline floatation dependence were plotted using the existing method, and the factors taken into account by this method were identified.

© П.П. Кондауров, Д.В. Новоселецкий, 2026

УДК 697.9

Использование платы RF-Nano для сбора и хранения данных параметров воздуха в зданиях различного назначения

А.П. Латушкин

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)

Ключевые слова и фразы: данные; датчик; относительная влажность; температура; *RF-Nano*; *Arduino*; *BME280*.

Аннотация. Цель данной работы – улучшить комфортность пребывания человека в зданиях различного назначения. Основной задачей стала оптимизация способов измерения, передачи и сохранения данных о качестве микроклимата зданий. Для достижения этой цели используется компактная плата *RF-Nano* вместе с датчиком температуры, влажности и давления *BME280*. Методы: измерение, анализ и сравнение.

Степень комфортности пребывания человека в здании зависит, в том числе от качества работы систем обеспечения микроклимата, важным элементом которых является система автоматизации. В свою очередь, для качественной работы системы автоматизации требуется эффективная регистрация и передача данных о текущих параметрах микроклимата, к которым относятся: температура, влажность и другие.

В настоящей статье предлагается решение по оптимизации способа измерения, передачи и сохранения значений температуры, влажности и атмосферного давления в помещениях зданий различного назначения. (подобные задачи решались например в [1]). Оптимизация измерения решается за счет использования компактных и точных датчиков *BME280*, которые позволяют измерять все перечисленные параметры одновременно. Передача данных о измеренных параметрах осуществляется с помощью платы *RF-Nano*.

Платы *RF-Nano* являются аналогом платы *Arduino Nano* (уменьшенная *Arduino UNO*) и встроенным радиомодулем *NRF24L01+*. Такое решение отличается простотой и надежностью, в том числе потому, что уменьшается количество соединительных проводов. Эту особенность видно на рисунке 1, где представлена система измерения, передачи и сохранения данных.

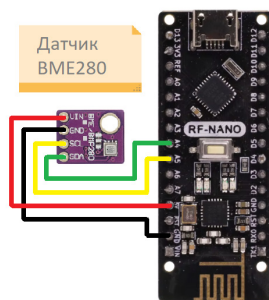
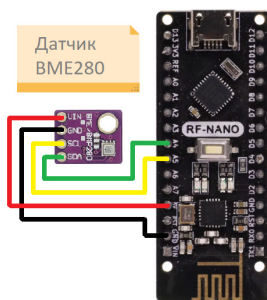
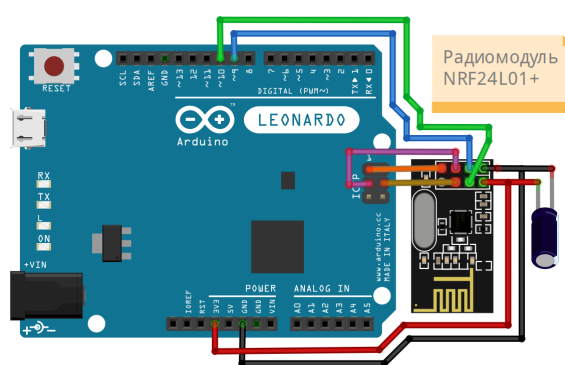
В системе намеренно использованы разные платы *Arduino*. Это позволило наглядно сравнить габариты и особенности подключения элементов устройств.

В системе есть два датчика и два передающих устройства, присутствуют приемник и плата передачи данных на планшетный компьютер под управлением операционной системы *Android*, два аккумулятора для питания передатчиков.

На рис. 2 показана схема первого передатчика. В нем измерения производятся датчи-



Рис. 1. Элементы системы сохранения данных

Рис. 2. Передатчик №1
(соединение *Arduino UNO*
с *NRF24L01+* и датчиком
DHT22)Рис. 3. Передатчик №2
(соединение *RF-Nano* с
датчиком *BME280*)Рис. 4. Приемник №1
(соединение *Arduino UNO* с
NRF24L01+ и датчиком *DHT22*)

ком температуры и влажности *DHT22*. Передача данных осуществляется через радио модуль *NRF24L01+*. Плата управления – *Arduino UNO*. Подробно ознакомиться с таким подходом можно в статье [2].

На рис. 3 показана схема второго передатчика. В нем измерения производятся датчиком температуры, влажности и атмосферного давления *BME280*. Передача данных осуществляется через встроенный радио модуль *NRF24L01+*. Плата управления – *RF-Nano*.

На рис. 4 показана схема приемника данных. В нем прием данных осуществляется через радио модуль *NRF24L01+*. Плата управления – *Iskra Neo (Arduino Leonardo)*. Планшетный компьютер получает данные от приемника через *OTG* кабель. Плата *Iskra Neo* воспринимается планшетом, как обычная клавиатура. Данные сохраняются в простом текстовом редакторе.

На рис. 5 представлена программа работы передатчика на базе *Arduino Uno*, а на рис. 6 – на базе *RF-Nano*. Программный код для передатчиков отличается незначительно. Используются разные библиотеки датчиков. В коде второго передатчика добавлена ячейка памяти для атмосферного давления. Контакты для датчика *BME280* прописаны в тексте библиотеки

```

#include <SPI.h> // подключение библиотек
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <iarduino_DHT.h>

RF24 radio(9, 10); iarduino_DHT sensor(6); // настройка NRF модуля датчика
struct th_t{float t;float h;}; // структура данных с датчика.

void setup() { // настройка nRF24L01+ и датчика DHT22
    delay(1000); radio.begin();
    radio.setChannel(5); radio.setDataRate(2); radio.setPALevel(1);
    radio.openWritingPipe(0xAABBCCDD11LL); // адрес передатчика
    pinMode(5, 1); digitalWrite(5, HIGH); pinMode(7, 1); // "+" и "-" датчика
}
void loop() {
    delay(60000); // отправка данных на приемник каждую минуту:
    sensor.read(); th_t th={sensor.tem, sensor.hum};
    radio.write(&th, sizeof(th)) // отправка данных на приемник
}

```

Рис. 5. Программа передатчика № 1 (Arduino UNO)

```

#include <SPI.h> // подключение библиотек
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <GyverBME280.h>
GyverBME280 bme; // создание объекта датчика BME280
RF24 radio(10, 9); // контакты CE, CSN для RF-NANO
struct th_t{float t; float h; float p;}; // структура данных с датчика.

void setup() { // настройка платы RF-NANO и датчика BME280
    radio.begin(); bme.begin();
    radio.setChannel(5); radio.setDataRate(2); radio.setPALevel(1);
    radio.openWritingPipe(0xAABBCCDD22LL); // адрес передатчика
}

void loop() {
    delay(60000); // отправка данных на приемник каждую минуту:
    th_t th={bme.readTemperature(), \
             bme.readHumidity(), \
             pressureToMmHg(bme.readPressure())}; // давление в мм ртутного столба
    radio.write(&th, sizeof(th)); // отправка данных на приемник
}

```

Рис. 6. Программа передатчика № 2 (RF-Nano)

GyverBME280.h.

Необходимо учесть, что на плате *RF-Nano* контакты *CE* и *CSN* – это контакты 10 и 9 (тогда как при использовании платы *Arduino UNO* классическим считается подключение к контактам 9 и 10).

Оказалось, что плата *RF-Nano* работает только с новыми версиями библиотеки *RF24.h*!

На рис. 7 представлена программа работы приемника на базе *Iskra Neo (Arduino Leonardo)*. Библиотека *Keyboard.h* нужна для работы в качестве клавиатуры. Структура вывода данных на планшетный компьютер выглядит так:

«600000 22,60 53,10 0,00 22,80 40,44 739,95 0,00 0,00 0,00»,

«время от начала работы программы в миллисекундах _ температура _ влажность _ давление _ <то же для остальных датчиков>».

```

#include <SPI.h> // подключение библиотек
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include "Keyboard.h"
RF24 radio(9, 10);

byte pipe; uint32_t Tmr; String t = "\t";
struct {float t; float h; float p;} th[4]; // структура данных с датчика.

void setup() { // настройка модуля nRF24L01+
  delay(1000); radio.begin();
  radio.setChannel(5); radio.setDataRate(2); radio.setPALevel(1);
  radio.openReadingPipe(1, 0xAABBCCDD11LL); // адрес передатчика №1
  radio.openReadingPipe(2, 0xAABBCCDD22LL); // адрес передатчика №2
  radio.openReadingPipe(3, 0xAABBCCDD33LL); // адрес передатчика №3
  radio.startListening();
}
void loop() {
  if (radio.available(&pipe)){radio.read(&th[pipe],sizeof(th[pipe]));}
  if (millis()-Tmr>=600000){Tmr=millis(); // вывод данных каждые 10 минут
    String sss=t+th[1].t+t+th[1].h+t+th[1].p+\
              t+th[2].t+t+th[2].h+t+th[2].p+\
              t+th[3].t+t+th[3].h+t+th[3].p ;
    sss.replace('.', ','); Keyboard.print(millis()); Keyboard.println(sss);
    memset(th,0,sizeof(th)); // обнуление массива данных
  }
}

```

Рис. 7. Программа для приемника данных (*Iskra Neo*)

Следует отметить, что датчик *BME280* имеет ряд преимуществ по сравнению с датчиком *DHT22*: большая точность измерений, компактность и возможность измерения атмосферного давления. Единственным минусом является то, что для получения данных необходимо использовать 4 провода вместо 3.

У платы *RF-Nano* на 7 проводов меньше, чем при подключении платы *Arduino* и радиомодуля *NRF24L01+*. Важно, что модуль *NRF24L01+* качественно работает только с электролитическим конденсатором на питании, а в плате *RF-Nano* он больше не нужен.

Можно заключить, что система с использованием платы *RF-Nano* и датчика *BME280* позволяет эффективней измерять и передавать данные параметров микроклимата. А использование *Android*-планшета добавляет всей системе компактности.

Еще важно отметить, что плата *RF-Nano* имеет потенциал для использования ее в качестве *BLE* устройства, как в [4].

Литература

1. Волков, И.Е. Разработка программно-аппаратного комплекса мониторинга параметров микроклимата помещений / И.Е. Волков, М.В. Раскатова, П. Щеголев, Э.А. Челышев // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 11(89). – С. 14–18. – EDN: OROUHY.
2. Латушкин, А.П. Разработка системы обработки и сохранения климатических данных с

использованием радиомодулей NRF24L01+ / А.П. Латушкин // Перспективы науки. – 2023. – № 7(166). – С. 85–89. – EDN: YYSKMW.

3. Латушкин, А.П. Использование модуля nRF24L01+ в качестве Bluetooth Low Energy устройства для передачи данных о состоянии микроклимата помещений / А.П. Латушкин // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 7(109). – С. 11–16. – EDN: YFUGUN.

References

1. Volkov, I.E. Razrabotka programmno-apparatnogo kompleksa monitoringa parametrov mikroklimata pomeshchenij / I.E. Volkov, M.V. Raskatova, P. SHCHegolev, E.A. CHelyshev // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 11(89). – С. 14–18. – EDN: OROUHY.

2. Latushkin, A.P. Razrabotka sistemy obrabotki i sokhraneniya klimaticheskikh dannykh s ispolzovaniem radiomodulej NRF24L01+ / A.P. Latushkin // Perspektivy nauki. – 2023. – № 7(166). – С. 85–89. – EDN: YYSKMW.

3. Latushkin, A.P. Ispolzovanie modulya nRF24L01+ v kachestve Bluetooth Low Energy ustrojstva dlya peredachi dannykh o sostoyanii mikroklimata pomeshchenij / A.P. Latushkin // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 7(109). – С. 11–16. – EDN: YFUGUN.

Using the RF-Nano Board to Collect and Store Air Parameter Data in Various Buildings

A.P. Latushkin

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia)

Keywords and phrases: temperature; relative humidity; RF-Nano; Arduino; BME280; sensor; data.

Abstract. The purpose of this work is to improve the comfort of human stay in buildings of various purposes. The main task was to optimize the methods of measuring, transmitting and storing data on the quality of the microclimate of buildings. To achieve this goal, a compact board RF-Nano is used together with a sensor of temperature, humidity and pressure BME280. Methods: measurement, analysis and comparison.

© А.П. Латушкин, 2026

УДК 621.577.62

Перспективы применения теплового насоса «воздух-вода» в системах теплоснабжения энергопотребляющих объектов

В.М. Фокин, Ф. А. Колесников, О.В. Душко

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет»,
г. Волгоград (Россия)*

Ключевые слова и фразы: альтернативные источники энергии; система теплоснабжения; теплонасосная установка.

Аннотация. Цель – разработать перспективную автономную систему теплоснабжения энергопотребляющих объектов. Задачи: разработка системы теплоснабжения на основе теплонасосной установки (ТНУ) «воздух-вода». Гипотеза: применение тепловых насосов имеет целый ряд положительных особенностей в области альтернативных источников энергии и вторичных энергоресурсов (ВЭР). Методы исследования: обзор существующих систем теплоснабжения с использованием ТНУ. Достигнутые результаты: повышение экономичности и удобства эксплуатации систем отопления, горячего водоснабжения и холодоснабжения.

В данной работе разработана перспективная автономная система теплоснабжения энергопотребляющих объектов различного назначения с использованием тепловых насосов, источником энергии которых является нагретый воздух. Возможность применения систем теплоснабжения на основе ТНУ «воздух-вода» позволит создать автономные центры вдали от систем централизованного теплоснабжения и водоснабжения, например на объектах нефтегазоконденсатных месторождений.

Применение тепловых насосов имеет целый ряд положительных особенностей, как в области альтернативных источников энергии, так и в области вторичных энергоресурсов (ВЭР). Теплонасосные установки (ТНУ) используют естественную возобновляемую низкопотенциальную тепловую энергию окружающей среды (воды, воздуха, грунта) и повышают потенциал основного теплоносителя до более высокого уровня, затрачивая при этом в несколько раз меньше первичной энергии или органического топлива.

ТНУ работают по термодинамическому циклу Карно, в котором рабочей жидкостью служат низкотемпературные жидкости (аммиак, фреон и др.). Перенос теплоты от источника низкого потенциала на более высокий температурный уровень осуществляется подводом механической энергии в компрессоре (парокомпрессионные ТНУ) или дополнительным подводом теплоты (абсорбционные ТНУ). В области вторичных энергоресурсов (ВЭР) для ТНУ

могут применяться различные тепловые источники в виде тепловой энергии уходящих топочных газов или воздуха, тепловой энергии пара вторичного вскипания или конденсата, а также тепловой энергии сточных вод.

Применение ТНУ в системах теплоснабжения энергопотребляющих объектов одно из важнейших положительных пересечений техники низких температур с теплоэнергетикой, что приводит к энергосбережению невозобновляемых источников энергии и защите окружающей среды за счет сокращения выбросов CO_2 и NO_x в атмосферу. Применение ТНУ весьма перспективно в комбинированных системах теплоснабжения и холодоснабжения в сочетании с другими технологиями использования возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой, биоэнергии) и позволяет оптимизировать параметры сопрягаемых систем и достигать наиболее высоких экономических показателей. Применение тепловых насосов позволяет всегда экономить дорогостоящие первичные энергоносители [1; 6; 7].

Существует экспериментальная установка для проведения исследований по определению экономической целесообразности применения тепловых насосов типа «воздух-вода» в экологической зоне озера Байкал, которая имеет практическое применение, а именно: нагрев воды для системы горячего водоснабжения. Установка включает тепловой насос, наружный и внутренний блок, а также систему управления [2].

В научно-исследовательской лаборатории «Солнечно-теплонасосная станция» при кафедре «Термодинамика и теплотехника» Ташкентского государственного технического университета в лабораторных условиях создана установка с совместным использованием солнечных коллекторов, солнечных фотоэлектрических панелей и теплового насоса в единой системе солнечного теплоснабжения. Комбинирование солнечного коллектора, солнечных фотоэлектрических панелей и теплового насоса позволяет повысить энергетическую эффективность системы теплоснабжения зданий [3].

Известна работа «Экспериментальная установка для исследования режимов работы теплового насоса» теплоснабжения сельскохозяйственных потребителей, удаленных от магистральных газопроводов, источниками энергии для которых служат электросети или местное топливо [4].

В Белорусском национальном техническом университете на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» разработаны лабораторные работы на стенде «Тепловые насосы», на которых в ходе выполнения работ осваивают методы определения эффективности действия теплового насоса и влияние различных факторов на процесс передачи теплоты от низкотемпературного источника к высокотемпературному источнику теплоты [5].

Известен целый ряд изобретений в этой области.

1. Для обогрева специализированных объектов: плавательных бассейнов, бань, химчисток, саун, сушилок. Способ предполагает обогрев объектов между отопительными сезонами в условиях отсутствия теплового насоса и когда котельная работает в летнем режиме, а централизованное отопление отключено [Патент RU 2416055].

2. «Система горячего водоснабжения». Может быть использовано для повышения эффективности и надежности работы системы горячего водоснабжения с тепловым насосом, утилизирующим тепловую энергию наружного воздуха [Патент RU 2386901].

3. «Система отопления жилого дома». Может использоваться для автономного отопления коттеджей и отдельно стоящих жилых домов. Система содержит расположенный в подвале дома бассейн, в котором находится тепловой насос: система «вода-лед-вода» и тепловой насос. Система отопления обеспечивает тепловой энергией здания за счет теплоты, выделяемой при фазовом переходе: «вода-лед» [Патент RU 2412401].

4. «Система теплоснабжения и холодоснабжения». Предназначенно для систем тепло-

снабжения бытовых и производственных объектов. Система теплоснабжения и холодоснабжения состоит из отопительной установки с циркуляционным насосом и теплообменником, отопительных приборов, запорно-регулирующей арматуры, подающих и обратных трубопроводов, в которые встроена абсорбционно-холодильная машина [Патент RU 2426033].

5. «Гибридная теплонасосная система теплохладоснабжения». Предназначенно для теплоснабжения и холодоснабжения зданий и сооружений различного назначения. Изобретение реализовано по гибридной схеме и включает теплонасосное оборудование, систему теплового аккумулирования, систему холодоснабжения или кондиционирования, а также систему утилизации вторичных тепловых ресурсов [Патент RU 2436016].

6. «Способ и устройство для обогрева объектов». Посвященno разработке экологически безопасного теплового насоса, и которое для обогрева объектов использует в качестве теплоносителя воздух. Энергия давления подаваемого воздуха трансформируется в холодный и горячий потоки. Холодный воздух выбрасывают в атмосферу и забирают из атмосферы более теплый воздух, чем выбрасываемый. Устройство для обогрева содержит двухцилиндровый компрессор, за ним первый теплообменник, соединенный выходом с входом в вихревую трубу. На линии горячего потока установлен второй теплообменник, обогревающий объект, выходы из обоих цилиндров соединены с первым теплообменником [Патент RU 2677310].

7. «Система вентиляции и отопления ванных помещений в многоэтажных домах». Относится к области тепловой техники, конкретно для отопления и вентиляции ванных помещений многоэтажных домов, используя тепловые насосы. Система вентиляции и отопления ванных помещений в многоэтажных домах содержит тепловой насос, отопительные приборы ванных помещений, соединенные подающим и обратным трубопроводами циркуляции горячей воды, блок автоматического управления, а также терморегулирующий клапан, установленный на обратном трубопроводе с хладагентом [Патент RU 2443944].

8. «Способ горячего водоснабжения и способ отопления с его использованием». Относится к теплотехнике горячего водоснабжения (ГВС), которое включает подачу воды, нагрев ее до нормативной температуры с помощью нескольких ТН и доставку нагретой воды потребителям. Причем отдельный ТН используется в системе как ступень последовательного нагрева, выбирая температуру воды, подаваемой на нагрев в ТН первой ступени, и настраивая каждый ТН на температуру конденсации его рабочего тела с учетом отдаваемого этой ступенью тепла за счет полезного использования тепла отапливаемого помещения [Патент RU 2454608].

9. Зарубежный патент на воздушно-водяной тепловой насос, в котором испаритель выполнен в виде пассивного испарителя, где поверхность теплообмена образуют ребристые стояки, а в качестве циркулирующего в тепловом насосе хладагента используется пропан [Патент U 5801].

Выводы.

Техническим результатом от разработки новых технологических схем теплохладоснабжения энергопотребляющих объектов с использованием теплового насоса «воздух-вода» станет:

- повышение экономичности и удобства эксплуатации систем отопления, горячего водоснабжения и холодоснабжения как жилых и производственных помещений, так и зданий индивидуального пользования: коттеджей и отдельно стоящих жилых домов;
- повышение энергетической эффективности за счет использования источников возобновляемой энергии (ВЭР);
- обеспечение экологической безопасности за счет уменьшения загрязнения воздуха и улучшения работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Обзор публикаций показывает, что существует множество работ по применению тепловых насосов, а также экспериментальных установок для изучения тепловых насосов и систем «вода-воздух» или «воздух-вода». Они позволяют как исследовать принцип работы самого теплового насоса, так и проводить эксперименты и изучение разных режимов работы устройств систем теплоснабжения или демонстрировать комплексную работу.

Следует отметить, что для обогрева специализированных объектов и помещений, таких как помещения котельных, бассейны и резервуары различного назначения, сауны и сушилки, где существуют значительные тепловые избытки, возможна и необходима их утилизация с последующим полезным применением теплоты вторичных энергоресурсов для систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, холодоснабжения и кондиционирования воздуха. Кроме того, особенностью таких исключительных объектов является повышенная относительная влажность теплоносителей (воздуха или газов) и их теплосодержание (энтальпия).

Литература

1. Фокин, В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита : монография / В.М. Фокин. – М. : Машиностроение-1, 2006. – 256 с.
2. Экспериментальная установка с тепловым насосом. ИТЦ «Альтер Энерго» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://owen.ru/project/eksperimentalnaya_ustanovka_s_teplovym_nasosom.
3. Короли, М.А. Экспериментальные исследования реверсивного теплового насоса «вода-воздух» на лабораторном стенде «Солнечно-теплоснабжающая станция» / М.А. Короли, А. Иванисова, А. Таубалдиев, Ж. Усманов, М. Гафурова // Восточно-европейский научный журнал. – 2020. – № 4(56). – С. 53–57.
4. Квеладзе, З.Д. Экспериментальная установка для исследования режимов работы теплового насоса / З.Д. Квеладзе, Д.В. Козырева, О.С.И. Волкова и др. // Энерго- и ресурсосбережение. – Екатеринбург : УрФУ, 2015.
5. Лосюк, Ю.А. Лабораторные работы на стенде «Тепловые насосы» для студентов теплоэнергетической специальности / Ю.А. Лосюк. – Минск : БНТУ, 2013. – 50 с.
6. Фокин, В.М. Экспериментальная установка для проведения энергоаудита теплоэнергетической системы теплоснабжения / В.М. Фокин, С.В. Нестеренко, А.В. Ковылин, И.В. Стефаненко, В.В. Федоров // Перспективы науки. – 2026. – № 2(197). – С. 72–76.
7. Варламов, А.Ю. Разработка лабораторного стенда для изучения процессов теплообмена / А.Ю. Варламов, Е.Г. Слободчиков // Перспективы науки. – 2022. – № 12(159). – С. 65–67.

References

1. Fokin, V.M. Osnovy energosberezheniya i energoaudita : monografiya / V.M. Fokin. – M. : Mashinostroenie-1, 2006. – 256 s.
2. Eksperimentalnaya ustanovka s teplovym nasosom. ITTS «Alter Energo» [Electronic resource]. – Access mode : https://owen.ru/project/eksperimentalnaya_ustanovka_s_teplovym_nasosom.
3. Koroli, M.A. Eksperimentalnye issledovaniya reversivnogo teplovogo nasosa «voda-vozdukh» na laboratornom stende «Solnechno-teplonasosnaya stantsiya» / M.A. Koroli, A. Ivanisova, A. Taubaldiev, ZH. Usmanov, M. Gafurova // Vostochno-evropejskij nauchnyj zhurnal. – 2020. – № 4(56). – S. 53–57.

4. Kveladze, Z.D. Eksperimentalnaya ustanovka dlya issledovaniya rezhimov raboty teplovogo nasosa / Z.D. Kveladze, D.V. Kozyreva, O.S.I. Volkova i dr. // Energo- i resursosberezhenie. – Ekaterinburg : UrFU, 2015.
5. Losyuk, YU.A. Laboratornye raboty na stende «Teplovye nasosy» dlya studentov teploenergeticheskoy spetsialnosti / YU.A. Losyuk. – Minsk : BNTU, 2013. – 50 s.
6. Fokin, V.M. Eksperimentalnaya ustanovka dlya provedeniya energoaudita teploenergeticheskoy sistemy teplosnabzheniya / V.M. Fokin, S.V. Nesterenko, A.V. Kovylin, I.V. Stefanenko, V.V. Fedorov // Perspektivy nauki. – 2026. – № 2(197). – S. 72–76.
7. Varlamov, A.YU. Razrabotka laboratornogo stenda dlya izucheniya protsessov teploobmena / A.YU. Varlamov, E.G. Slobodchikov // Perspektivy nauki. – 2022. – № 12(159). – S. 65–67.

Prospects for the Use of an Air-Water Heat Pump in Heat and Cooling Systems for Energy-Consuming Facilities

V.M. Fokin, F.A. Kolesnikov, O.V. Dushko

Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia)

Keywords and phrases: heat and cooling supply system; heat pump system; alternative energy sources.

Abstract. The objective of the study is to develop a promising autonomous heat and cooling system for energy-consuming facilities. The research task is to develop of a heat supply system based on an “air-water” heat pump system (HPS). The hypothesis assumes that the use of heat pumps has a number of positive features in the field of alternative energy sources and secondary energy resources. Research methods: review of existing heat and cold supply systems using HPS. The study resulted in increased efficiency and ease of operation of heating, hot water and cold supply systems.

© В.М. Фокин, Ф. А. Колесников, О.В. Душко, 2026

УДК 691.32: 620.19

Использование микрокапсулированных самовосстанавливающихся материалов в составе бетона

Е.В. Ткачук, Е.Н. Сорочан, Н.Ф. Катрачило

*Приазовский государственный технический университет –
филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Мариуполь (Россия)*

Ключевые слова и фразы: биодобавка; гидрофильные суперабсорбирующие полимеры; долговечность; микрокапсулы; прочность; самовосстанавливающийся бетон; строительные материалы; трещиностойкость; эпоксидная смола.

Аннотация. В данной статье рассматриваются перспективы повышения долговечности строительных конструкций за счет применения инновационных добавок. Целью работы является исследование эффективности применения микрокапсулированных самовосстанавливающихся материалов в составе бетона и оценка их влияния на прочностные и эксплуатационные характеристики. Для достижения цели решены следующие задачи: выполнен анализ факторов, влияющих на долговечность бетона; изучены материалы оболочек микрокапсульных систем и требования к ним; разработана технология приготовления модифицированной смеси и проведен комплекс испытаний образцов. Методы исследования включают неразрушающий ультразвуковой контроль прочности, частично разрушающий метод отрыва со скалыванием, а также лабораторные испытания бетонных кубов на одноосное сжатие с использованием гидравлического пресса. Гипотеза исследования основана на предположении, что введение микрокапсул с восстановительным агентом (эпоксидной смолой) позволит компенсировать внутреннюю неоднородность бетона и обеспечить «ремонт по требованию» за счет герметизации микротрещин в момент их возникновения. Результаты исследования подтверждают, что использование микрокапсулированной добавки позволяет сохранить исходные прочностные характеристики бетона (на уровне контрольных образцов) при одновременном повышении его долговечности и трещиностойкости за счет локализации дефектов структуры.



Рис. 1. Измерение прочности бетона ультразвуковым прибором



Рис. 2. Измерение прочности бетона прибором «ОНИКС-1.0С»

Современный этап развития строительной отрасли характеризуется повышенными требованиями к надежности и ресурсоэффективности зданий. Одной из главных проблем эксплуатации бетона является его склонность к образованию микротрещин под действием нагрузок, температурных колебаний и усадки. Эти дефекты становятся каналами для проникновения влаги и агрессивных сред, инициируя коррозию арматуры и преждевременное разрушение железобетона. Традиционные методы защиты и ремонта часто не обеспечивают адресного восстановления структуры в глубине массива. В связи с этим перспективным направлением является разработка бетонов с микрокапсулированными системами, реализующими принцип «ремонта по требованию». Такой подход позволяет автономно герметизировать трещины непосредственно в момент их возникновения, существенно продлевая межремонтные сроки и повышая эксплуатационную безопасность объектов.

На сегодняшний день разработки в области самовосстанавливающегося бетона можно условно разделить на два направления: включение в структуру бетона микроорганизмов, а также полимерных капсул в состав бетона [1–4]. Так, В.Т. Ерофеев в работе [2] приводит классификацию бактерий, дает обзор по технологии получения материалов с биодобавками и устранения трещин в бетоне, описывает преимущества применения микроорганизмов в бетоне. В статье Г.Г. Жуковой и А.И. Сайфулиной [5] рассчитан экономический эф-



Рис. 3. Значения прочности бетона по каждому классу

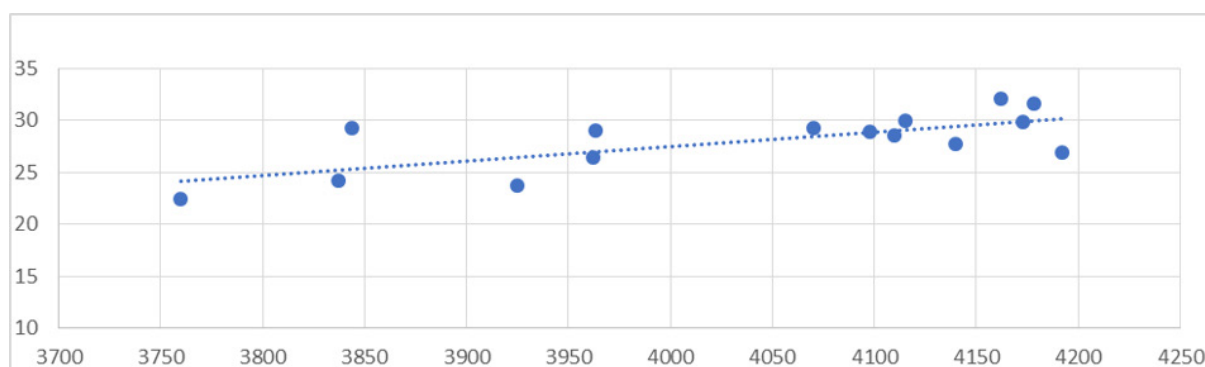


Рис. 4. Градуировочная зависимость ультразвукового контроля

фekt от применения самовосстанавливающихся материалов в бетоне, который показывает увеличение срока эксплуатации здания и снижение затрат на его обслуживание и ремонт. Альтернативным способом достижения самовосстановления бетона является применение эпоксидных смол. Авторами [6] разработаны составы двухкомпонентного эпоксидного праймера *Covalence (Raychem) S-PRIMERKIT* и шламов нефтепереработки, которые рекомендовано использовать для оснований и покрытий автомобильных дорог. В статье Т.Г. Шеиной и Е.Н. Кулешовой [6] описаны результаты исследований эпонпластбетона, которые доказывают целесообразность применения эпоксидной смолы. В работах [7; 8] поставлен вопрос о возможности использования микрокапсул на основе эпоксидных смол. А.Е. Захесин [8] обосновывает применение алифатических смол, которые позволяют получить цементные дорожные бетоны с морозостойкостью 200–300 циклов, водонепроницаемостью не менее W_{12} , повышенной прочностью при изгибе (до 5,5 МПа) и осевом растяжении (до 4,0 МПа).

С целью повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций разработаны перспективные составы бетонов, одним из которых является бетон с микрокапсула-



Рис. 5. Подготовка компонентов смеси с микрокапсулированной добавкой

ми, содержащими жидкий «лечебный» состав (раствор натриевого силиката или эпоксидной смолы) [9]. При появлении трещины капсулы разрываются, содержимое вытекает в трещину и полимеризуется или взаимодействует с гидроксидом кальция бетона, образуя кристаллическую или полимерную пробку. Это восстанавливает прочность на растяжении и повышает упругопластические свойства бетона. Отметим, что после разрушения капсулы и завершения процесса восстановления повторное заживление невозможно.

Для определения прочностных характеристик бетонов без использования самовосстанавливающихся материалов были проведены неразрушающие испытания образцов монолитного бетона различных классов (В9, В20, В24, В25, В30) методами ультразвука (рис. 1) и частично разрушающим методом отрыва со скалыванием (рис. 2). Полученные результаты позволяют определить фактическую прочность бетона и оценить качество его структуры.

По данным испытаний, приведенным на диаграмме (рис. 3), фактическая прочность всех исследованных классов бетона превышает нормативные значения. Однако значительный разброс показателей (от 21 % до 50 %) указывает на существенную внутреннюю неоднородность структуры и наличие микродефектов. Это обосновывает необходимость применения самовосстанавливающихся добавок для герметизации возникающих микротрещин и обеспечения эксплуатационной надежности материала.

Для исследования изготовлены образцы бетона с равномерным распределением микрокапсул, содержащих эпоксидную смолу (рис. 5). Состав смеси подбирался с учетом совместности компонентов, а микрокапсулы вводились на завершающей стадии перемешивания для предотвращения их механического повреждения и обеспечения однородности структуры.

После завершения перемешивания бетонная смесь была разлита в стандартные формы кубиков, соответствующие требованиям к образцам для испытаний на сжатие. Формование выполнялось с соблюдением технологических требований, обеспечивающих получение образцов правильной геометрической формы и однородной структуры. Для повышения плотности бетона и удаления вовлеченного воздуха применялось вибрационное уплотнение с использованием специализированного оборудования (рис. 6). Данный процесс позволяет снизить пористость материала, улучшить контакт между компонентами смеси и обеспечить более равномерное распределение микрокапсул в объеме образца.

После формования экспериментальные образцы с микрокапсулированной добавкой оставлялись для твердения в лабораторных условиях с соблюдением температурно-влажностного режима. Далее проводились испытания прочности образцов методом одноосного

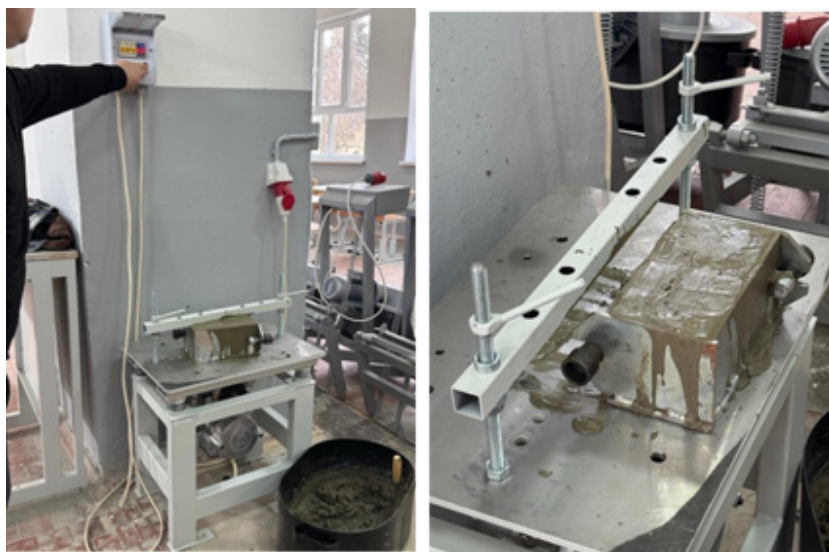


Рис. 6. Вибрационное уплотнение модифицированного бетона

сжатия с использованием гидравлического прессы.

Контрольные образцы бетона без добавления микрокапсул показали максимальную нагрузку 92,6 кН, что соответствует прочности порядка 7,2 МПа. Полученные значения указывают на низкий класс бетона, ориентировочно в диапазоне В5–В7,5, что свидетельствует о его ограниченных прочностных характеристиках и подтверждает экспериментальный характер подобранного состава.

Образцы с добавлением микрокапсул были испытаны после достижения необходимой степени твердения. Результаты показали, что прочность на сжатие находится на уровне, сопоставимом с контрольными образцами, при этом не наблюдается существенного снижения прочностных характеристик, что является важным показателем совместимости микрокапсулированной добавки с цементной матрицей.

Основное преимущество модифицированного бетона проявляется в изменении его эксплуатационного поведения, что позволяет сохранить исходные прочностные характеристики бетона при одновременном повышении его долговечности и эксплуатационной надежности.

Проанализированные данные испытаний показывают: бетон разного класса на объекте в среднем соответствует или превосходит заявленные нормативы прочности, но имеет значительные колебания прочности внутри одной марки. Такая вариабельность указывает на внутреннюю неоднородность смеси – наличие микропустот и скрытых трещин. Ультразвуковые измерения подтвердили, что бетон содержит участки с пониженной плотностью, а метод отрыва показал неравномерность прочности поверхностного слоя. Все это свидетельствует о том, что бетонная конструкция не идеальна и без профилактики способна развивать дефекты. В этих условиях обосновано внедрение микрокапсулированного самовосстанавливающегося бетона. Микрокапсулы в составе смеси компенсируют выявленные недостатки: они стабилизируют структуру, «залечивая» микротрещины и увеличивая пластичность материала.

Таким образом, на основе проведенного анализа прочностных показателей ясно, что применение инновационной самовосстанавливающей добавки в бетон оправдано и необходимо. Такой подход гарантирует, что даже при естественной неоднородности бетонной сме-

си эксплуатационная прочность конструкции сохранится, а развитие микротрещин будет локализовано и нейтрализовано до того, как они снизят несущую способность здания.

Литература

1. Слепов, С.Д. Принцип работы самовосстанавливающегося бетона и возможность его применения при строительстве и ремонте гидротехнических сооружений / С.Д. Слепов, А.Е. Коршунов // Приволжский научный журнал. – Н. Новгород : ННГАСУ, 2025. – № 3(75). – С. 31–36.
2. Ерофеев, В.Т. Бактерии для получения самовосстанавливающихся бетонов / В.Т. Ерофеев, Аль Дулайми Салман Давуд Салман, В.Ф. Смирнов // Транспортные сооружения. – 2018. – № 4. – DOI: 10.15862/07SATS418 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://t-s.today/PDF/07SATS418.pdf>.
3. Swapan Kumar Ghosh. Self-healing materials fundamentals, design strategies, and applications / Swapan Kumar Ghosh. – Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. – 307 p.
4. Низина, Т.А. Современное состояние научных исследований в области самовосстанавливающихся бетонов / Т.А. Низина, А.О. Ковшов // Умные композиты в строительстве. – 2024. – № 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-nauchnyh-issledovaniy-v-oblasti-samovosstanavlivayuschih-sya-betonov>.
5. Жукова, Г.Г. Исследование применения самовосстанавливающегося бетона / Г.Г. Жукова, А.И. Сайфулина // Construction and Geotechnics. – 2020. – Т. 11. – № 4. – С. 58–68. – DOI: 10.15593/2224-9826/2020.4.05.
6. Шеина, Т.В. Перспектива применения эпоксидных смол в дорожной отрасли / Т.В. Шеина, Е.Н. Кулешова // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 123–128. – DOI: 10.17673/Vestnik.2011.01.24. – EDN: RCPDWP.
7. Kanellopoulos, A. Polymeric microcapsules with switchable mechanical properties for self-healing concrete: Synthesis, characterisation and proof of concept / A. Kanellopoulos, P. Giannaros, D.W. Palmer, M.A. Kerr, A. Al-Tabbaa // Smart materials and structures. – 2017. – No. 26(4).
8. Захезин, А.Е. Цементные дорожные бетоны с комплексными добавками на основе алифатических эпоксидных смол : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Захезин А.Е. – Челябинск, 2010. – 19 с.
9. Бирюков, В.С. Тенденции современного строительства: самовосстанавливающийся бетон / В.С. Бирюков, А.С. Смирнов, А.М. Тамбовцев, Т.Ф. Чередниченко // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-sovremennogo-stroitelstva-samovosstanavlivayuschih-sya-beton?ysclid=mnmt67ipk4854991253>.

References

1. Slepov, S.D. Printsip raboty samovosstanavlivayushchegosya betona i vozmozhnost ego primeneniya pri stroitelstve i remonte gidrotekhnicheskij sooruzhenij / S.D. Slepov, A.E. Korshunov // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. – N. Novgorod : NNGASU, 2025. – № 3(75). – S. 31–36.
2. Erofeev, V.T. Bakterii dlya polucheniya samovosstanavlivayushchikhsya betonov / V.T. Erofeev, Al Dulajmi Salman Davud Salman, V.F. Smirnov // Transportnye sooruzheniya. – 2018. – № 4. – DOI: 10.15862/07SATS418 [Electronic resource]. – Access mode : <https://t-s.today/>

PDF/07SATS418.pdf.

4. Nizina, T.A. Sovremennoe sostoyanie nauchnykh issledovaniy v oblasti samovosstanavlivayushchikhsya betonov / T.A. Nizina, A.O. Kovshov // Umnye kompozity v stroitelstve. – 2024. – № 4 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-nauchnyh-issledovaniy-v-oblasti-samovosstanavlivayushchikhsya-betonov>.

5. ZHukova, G.G. Issledovanie primeneniya samovosstanavlivayushchegosya betona / G.G. ZHukova, A.I. Sajfulina // Construction and Geotechnics. – 2020. – T. 11. – № 4. – S. 58–68. – DOI: 10.15593/2224-9826/2020.4.05.

6. SHEina, T.V. Perspektiva primeneniya epoksidnykh smol v dorozhnoj otrasli / T.V. SHEina, E.N. Kuleshova // Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arkhitektura. – 2011. – № 1. – S. 123–128. – DOI: 10.17673/Vestnik.2011.01.24. – EDN: RCPDWP.

8. Zakhezin, A.E. TSementnye dorozhnye betony s kompleksnymi dobavkami na osnove alifaticheskikh epoksidnykh smol : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / Zakhezin A.E. – CHelyabinsk, 2010. – 19 s.

9. Biryukov, V.S. Tendentsii sovremennogo stroitelstva: samovosstanavlivayushchiysya beton / V.S. Biryukov, A.S. Smirnov, A.M. Tambovtsev, T.F. CHerednichenko // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2022. – № 2 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-sovremennogo-stroitelstva-samovosstanavlivayushchiysya-beton?ysclid=mnmt67ipk4854991253>.

Application of Microencapsulated Self-Healing Materials in Concrete

E.V. Tkachuk, E.N. Sorochan, N.F. Katrachilo

Priazovskiy State Technical University –

Branch of National Research Moscow State University of Civil Engineering, Mariupol (Russia)

Keywords and phrases: self-healing concrete; microcapsules; building materials; crack resistance; durability; strength; bio-additive; epoxy resin; hydrophilic superabsorbent polymers.

Abstract. This article discusses the prospects for increasing the durability of building structures through the use of innovative additives. The goal of the work is to study the effectiveness of using microencapsulated self-healing materials in concrete and evaluate their impact on the strength and performance characteristics. To achieve this, the following tasks were completed: an analysis of factors affecting the durability of concrete was performed; the materials of microcapsule system shells and requirements for them were studied; a technology for preparing a modified mixture was developed and a set of sample tests was carried out. Research methods include non-destructive ultrasonic strength control, a partially destructive pull-off method with chipping, and laboratory testing of concrete cubes for uniaxial compression using a hydraulic press. The research hypothesis is based on the assumption that the introduction of microcapsules with a restorative agent (epoxy resin) will compensate for the internal heterogeneity of concrete and provide “repair on demand” by sealing microcracks at the time of their occurrence. The research results confirm that the use of a microencapsulated additive allows maintaining the initial strength characteristics of concrete (at the level of control samples) while simultaneously increasing its durability and crack resistance due to the localization of structural defects.

© Е.В. Ткачук, Е.Н. Сорочан, Н.Ф. Катрачило, 2026

УДК 69.05

**Информационный анализ
как инструмент управления
проектами капитального строительства,
реализуемыми в рамках
Адресной инвестиционной программы**

Я.В. Жаров, А.Д. Аннин

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: Адресная инвестиционная программа; бюджетные инвестиции; информационный анализ; капитальное строительство; контрольные точки; проектное управление; управление строительством; управленческие решения.

Аннотация. В статье рассматривается информационный анализ как инструмент управления проектами капитального строительства, реализуемыми в рамках Адресной инвестиционной программы (АИП).

Актуальность исследования обусловлена тем, что в условиях бюджетного финансирования, программной увязки объектов и многоуровневого контроля возрастает значение своевременной и подтверждаемой информации о ходе реализации проекта.

Целью статьи является обоснование роли информационного анализа в системе управления проектами капитального строительства, реализуемыми в рамках АИП.

В исследовании использованы методы анализа нормативных правовых актов, научных публикаций и действующей практики управления объектами капитального строительства.

Установлено, что в проектах, реализуемых в рамках АИП, информационный анализ должен рассматриваться не как вспомогательная функция учета, а как элемент проектного управления, обеспечивающий сопоставление плановых и фактических параметров, выявление отклонений и подготовку обоснованных управленческих решений.

Сделан вывод о том, что повышение эффективности управления такими проектами связано не с расширением массива собираемых сведений, а с ростом их аналитической и управленческой ценности.

Проекты капитального строительства, реализуемые в рамках АИП, отличаются от коммерчески ориентированных строительных проектов не только источником финансирования, но и самой логикой управления. В данном случае объект капитального строительства рассматривается как элемент более широкой системы публичных капитальных вложений, связанной с бюджетным планированием, утвержденными параметрами реализации, государственными приоритетами и внешним контролем. В соответствии со статьей 79 Бюджетного кодекса Российской Федерации бюджетные инвестиции в объекты государственной и муниципальной собственности осуществляются в установленном порядке и предполагают увязку со сроками, стоимостью и иными параметрами капитальных вложений [1]. Кроме того, статья 179.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации закрепляет реестр объектов капитального строительства, на основании сведений которого предусматриваются бюджетные ассигнования [1].

Такая нормативная основа означает, что управление объектами, включенными в АИП, осуществляется в более жестко регламентированной среде, чем управление коммерческими проектами. Если в коммерческой практике допустим более широкий управленческий маневр, связанный с оперативной корректировкой сроков, ресурсов и организационной схемы реализации, то в проектах, финансируемых за счет бюджетных средств, любое существенное изменение параметров требует дополнительного обоснования и связано с системой программного и финансового контроля. В результате возрастает значение качества информации, на основе которой принимаются управленческие решения.

В современных условиях руководителю недостаточно оценивать проект по отдельным докладам, фрагментарным сведениям или визуальному восприятию текущего состояния объекта. Для своевременного реагирования на отклонения требуется информационный анализ, позволяющий сопоставлять плановые и фактические параметры реализации, выявлять проблемные зоны и определять необходимость корректирующих воздействий. Актуальность такого подхода подтверждается и современными изменениями в нормативной базе. Так, приказом Минстроя России от 17.03.2025 № 163/пр утверждены методические указания по формированию сведений, включаемых в реестр объектов капитального строительства, что свидетельствует о переходе к более структурированному учету и мониторингу параметров реализации [2].

Целью настоящей статьи является обоснование роли информационного анализа как инструмента управления проектами капитального строительства, реализуемыми в рамках АИП.

Методическую основу исследования составили анализ, сопоставление и обобщение нормативных правовых актов, научных публикаций и практических подходов к управлению объектами капитального строительства, реализуемыми за счет бюджетных средств. В качестве нормативной базы использованы положения Бюджетного кодекса Российской Федерации и приказ Минстроя России от 17.03.2025 № 163/пр [1; 2]. Теоретической основой исследования стали публикации, посвященные трансформации системы управления капитальными вложениями, управлению незавершенными объектами капитального строительства, управлению стоимостью строительства и повышению эффективности государственного управления инвестиционными проектами [3–8].

Выбор именно этих источников обусловлен тем, что они позволяют рассмотреть исследуемую проблему одновременно в нормативном, организационном и управленческом аспектах. Это особенно важно для темы, связанной не с техническим сбором информации, а с использованием информационного анализа в системе проектного управления.

Проведенный анализ показал, что в системе управления проектами капитального стро-

ительства, реализуемыми в рамках АИП, информационный анализ выполняет значительно более важную функцию, чем обычное информационное сопровождение проекта. В коммерчески ориентированном строительном проекте руководитель чаще всего принимает решения, исходя из экономической эффективности, рыночной ситуации и стратегии инвестора. В случае реализации объектов, включенных в АИП, управленческое решение должно учитывать не только текущее состояние объекта, но и его место в общей системе бюджетных обязательств, сроков и контрольных параметров [1].

Эта особенность усиливает требования к качеству и содержанию информации, поступающей руководителю. Недостаточно просто фиксировать отдельные сведения о ходе работ, об освоении финансирования или о статусе контракта. Для управления проектом требуется их сопоставление, позволяющее оценить не один показатель сам по себе, а целостную ситуацию по объекту. Например, отставание от графика приобретает различное значение в зависимости от того, связано ли оно с затягиванием документационной подготовки, низкими темпами работ подрядчика, недостаточной контрактацией или изменением проектных решений. Следовательно, информационный анализ должен обеспечивать не только фиксацию текущего состояния объекта, но и подготовку обоснованного управленческого решения, что соответствует современным подходам к организации строительного контроля и управлению производственными процессами в строительстве [5; 6; 9].

На современном этапе государственная система управления капитальными вложениями развивается именно в сторону более формализованного информационного сопровождения. Это находит отражение как в трансформации федеральных механизмов адресного планирования капитальных вложений, так и в развитии реестрового подхода к учету объектов капитального строительства [2; 3]. В работах последних лет подчеркивается, что рост прозрачности, сопоставимости показателей и качества аналитического сопровождения необходим для повышения результативности управления объектами, реализуемыми за счет бюджетных средств [3; 4].

Одновременно проведенный анализ показывает, что наличие формальных механизмов учета еще не гарантирует высокого качества управленческих решений. Даже при существовании обязательной отчетности руководитель может сталкиваться с ситуацией, когда сведения поступают неравномерно, отражают объект по частям или не позволяют своевременно установить связь между возникшим отклонением и его причиной. В такой ситуации информационный анализ фактически подменяется набором разрозненных сообщений, а принятие решения начинает зависеть от субъективной интерпретации текущего положения дел. Для проектов, реализуемых в рамках АИП, это особенно критично, поскольку позднее выявление проблем ограничивает возможность корректирующего воздействия и увеличивает риск срыва сроков или роста стоимости [4; 7].

С практической точки зрения информационный анализ должен быть встроен в систему управления проектом как регулярный процесс. Его задача состоит в том, чтобы на основе сопоставления плановых и фактических параметров своевременно показывать, сохраняется ли реализация объекта в плановом режиме либо требуется вмешательство. Такой подход предполагает переход от описательного мониторинга к управленческой аналитике. Руководителю проекта необходимо понимать не только то, что произошло, но и то, какие действия следует предпринять для сохранения целевых параметров реализации. Следовательно, результат информационного анализа должен иметь форму не формальной справки, а управленческого вывода.

Особое значение при этом приобретает использование контрольных точек. Оценка реализации объекта только по конечному результату не позволяет своевременно выявлять

возникающие риски. Гораздо более эффективной является модель, при которой проект оценивается по промежуточным стадиям, каждая из которых имеет управленческое значение. Анализ достижения контрольных точек позволяет раньше увидеть срыв графика, задержку закупочных процедур, проблемы документационного обеспечения или снижение темпов работ. Именно поэтому развитие механизмов контроля по адресным объектам в настоящее время связано с повышением внимания к промежуточным параметрам реализации [2; 3].

Результаты исследования также показывают, что для повышения эффективности управления проектами капитального строительства, реализуемыми в рамках АИП, информационный анализ должен отвечать нескольким ключевым требованиям. Во-первых, он должен быть ориентирован на управленческую полезность, а не на увеличение объема собираемых сведений. Во-вторых, он должен обеспечивать сопоставимость информации, поступающей из разных источников. В-третьих, он должен быть направлен на раннее выявление рисков, а не только на фиксацию уже сложившихся отклонений. В-четвертых, он должен завершаться выработкой конкретного варианта управленческой реакции.

Полученные результаты позволяют рассматривать информационный анализ как один из ключевых элементов системы управления проектами капитального строительства, реализуемыми в рамках АИП. В отличие от подхода, при котором информация воспринимается как вспомогательное сопровождение строительства, в данном случае она приобретает значение самостоятельного управленческого ресурса. Это особенно важно в условиях бюджетного финансирования, где ошибки в оценке текущего состояния проекта приводят не только к локальным организационным трудностям, но и к нарушению сроков, параметров финансирования и программных обязательств [1; 2]. Такой подход соответствует современным представлениям об организации строительства, в которых управление проектом рассматривается как система взаимосвязанных процессов планирования, контроля и координации реализации объекта [9].

Научные публикации последних лет подтверждают этот вывод. Так, в исследованиях, посвященных трансформации системы управления капитальными вложениями и управлению незавершенными объектами капитального строительства, подчеркивается необходимость более четкой аналитической поддержки решений и более раннего выявления проблемных зон [3; 4]. Работы, посвященные управлению стоимостью строительства в условиях государственного инвестирования, также показывают, что для таких проектов особое значение имеют структурированность управленческих процедур, обоснованность решений и постоянный контроль отклонений [5; 6]. В свою очередь, исследования по эффективности государственного управления инвестиционными проектами подчеркивают, что результативность капитальных вложений во многом определяется не только объемом ресурсов, но и качеством управленческой организации [7; 8].

Следовательно, информационный анализ при реализации АИП целесообразно рассматривать не как отдельную информационную функцию, а как инструмент управления проектом, обеспечивающий связь между текущим состоянием объекта, оценкой рисков и принятием решений.

По результатам проведенного исследования сформулированы следующие выводы.

Проекты капитального строительства, реализуемые в рамках АИП, осуществляются в условиях бюджетного финансирования, программной увязки и многоуровневого контроля, что определяет особенности их управления [1]. В такой системе информационный анализ приобретает значение инструмента проектного управления, а не только средства информационного сопровождения [3; 4]. Практическая ценность информационного анализа определяется не объемом собираемых сведений, а их способностью отражать текущее состояние

проекта, выявлять отклонения, объяснять их причины и служить основанием для управленческого действия [5; 6]. Для руководителя проекта особенно важно, чтобы результаты анализа были ориентированы на принятие решений по срокам, стоимости, организации реализации и мерам контроля.

Развитие нормативной и организационной базы в данной сфере подтверждает переход к более формализованной и подтверждаемой модели управления капитальными вложениями, в которой возрастает значение сопоставимых сведений и контрольных точек [2; 3]. Дальнейшее совершенствование управления проектами капитального строительства, реализуемыми в рамках АИП, должно быть связано с включением информационного анализа в общую систему проектного управления и с повышением его аналитической и управленческой полезности [7; 8].

Литература

1. Бюджетный кодекс Российской Федерации : ФЗ № 145-ФЗ от 31.07.1998.
2. Об утверждении методических указаний по формированию сведений, включаемых в реестр объектов капитального строительства, объектов недвижимого имущества, строительство или приобретение которых осуществляется за счет средств федерального бюджета, а также формы таких сведений : приказ Минстроя России № 163/пр от 17.03.2025.
3. Серяков, М.С. Трансформация системы управления капитальными вложениями в рамках федеральной адресной инвестиционной программы и комплексной государственной программы «Строительство» / М.С. Серяков, В.Б. Куликов, О.Г. Абрамова // Экономика и бизнес. – 2024. – № 4-3.
4. Сирота, В.В. Новые подходы к управлению незавершенными объектами капитального строительства в рамках трансформации федеральной адресной инвестиционной программы / В.В. Сирота // Государственная служба. – 2024. – Т. 26. – № 3.
5. Прохорова, Ю.С. Организационная основа управления стоимостью строительства объекта при реализации адресных инвестиционных программ (на примере г. Москвы) / Ю.С. Прохорова, И.В. Каракозова // Экономика и управление. – 2020. – Т. 26. – № 6. – С. 656–664.
6. Прохорова, Ю.С. Комплексный подход к управлению стоимостью строительства объекта в условиях государственного инвестирования / Ю.С. Прохорова // Экономика и управление. – 2020. – Т. 26. – № 8. – С. 861–872.
7. Литвина, К.Я. Эффективное государственное управление инвестиционными проектами для достижения целей социально-экономического развития / К.Я. Литвина // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. – 2024. – № 1(335). – С. 85–93. – DOI: 10.53598/2410-3683-2024-1-335-85-93.
8. Потоцкий, Д.А. Оценка эффективности бюджетных инвестиций в создание объектов социальной инфраструктуры в рамках предпроектной стадии / Д.А. Потоцкий // Финансовые рынки и банки. – 2024. – № 2. – С. 239–245. – DOI: 10.24412/2658-3917-2024-2-239-245.
9. Лapidус, А.А. Метод повышения производительности труда в строительстве / А.А. Лapidус // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19. – № 8. – С. 1365–1372.

References

1. Byudzhetnyj kodeks Rossijskoj Federatsii : FZ № 145-FZ ot 31.07.1998.
2. Ob utverzhenii metodicheskikh ukazaniy po formirovaniyu svedenij, vključaemykh

v reestr obektov kapitalnogo stroitelstva, obektov nedvizhimogo imushchestva, stroitelstvo ili priobretenie kotorykh osushchestvlyayetsya za schet sredstv federalnogo byudzheta, a takzhe formy takikh svedenij : prikaz Ministroya Rossii № 163/pr ot 17.03.2025.

3. Seryakov, M.S. Transformatsiya sistemy upravleniya kapitalnymi vlozheniyami v ramkakh federalnoj adresnoj investitsionnoj programmy i kompleksnoj gosudarstvennoj programmy «Stroitelstvo» / M.S. Seryakov, V.B. Kulikov, O.G. Abramova // *Ekonomika i biznes*. – 2024. – № 4-3.

4. Sirota, V.V. Novye podkhody k upravleniyu nezavershennymi obektami kapitalnogo stroitelstva v ramkakh transformatsii federalnoj adresnoj investitsionnoj programmy / V.V. Sirota // *Gosudarstvennaya sluzhba*. – 2024. – T. 26. – № 3.

5. Prokhorova, YU.S. Organizatsionnaya osnova upravleniya stoimostyu stroitelstva obekta pri realizatsii adresnykh investitsionnykh programm (na primere g. Moskvy) / YU.S. Prokhorova, I.V. Karakozova // *Ekonomika i upravlenie*. – 2020. – T. 26. – № 6. – S. 656–664.

6. Prokhorova, YU.S. Kompleksnyj podkhod k upravleniyu stoimostyu stroitelstva obekta v usloviyakh gosudarstvennogo investirovaniya / YU.S. Prokhorova // *Ekonomika i upravlenie*. – 2020. – T. 26. – № 8. – S. 861–872.

7. Litvina, K.YA. Effektivnoe gosudarstvennoe upravlenie investitsionnymi proektami dlya dostizheniya tselej sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya / K.YA. Litvina // *Vestnik Adygejskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 5: Ekonomika*. – 2024. – № 1(335). – S. 85–93. – DOI: 10.53598/2410-3683-2024-1-335-85-93.

8. Pototskij, D.A. Otsenka effektivnosti byudzhetykh investitsij v sozdanie obektov sotsialnoj infrastruktury v ramkakh predproektnoj stadii / D.A. Pototskij // *Finansovyje rynki i banki*. – 2024. – № 2. – S. 239–245. – DOI: 10.24412/2658-3917-2024-2-239-245.

9. Lapidus, A.A. Metod povysheniya proizvoditelnosti truda v stroitelstve / A.A. Lapidus // *Vestnik MGSU*. – 2024. – T. 19. – № 8. – S. 1365–1372.

Information Analysis as a Tool for Managing Capital Construction Projects Implemented Within the Targeted Investment Program

Ya.V. Zharov, A.D. Annin

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: targeted investment program; budget investments; capital construction; information analysis; control points; project management; construction management; managerial decisions.

Abstract. The article examines information analysis as a tool for managing capital construction projects implemented within the targeted investment program.

The relevance of the study is determined by the fact that, under budget financing, program-based coordination of facilities, and multi-level control, the importance of timely and verified information on project implementation is increasing.

The purpose of the article is to substantiate the role of information analysis in the management system of capital construction projects implemented within the targeted investment program.

The study employs methods of analyzing regulatory legal acts, scholarly publications, and current practices in managing capital construction facilities.

It is established that in projects implemented within the targeted investment program,

information analysis should be regarded not as an auxiliary accounting function, but as an element of project management that ensures comparison of planned and actual parameters, identification of deviations, and preparation of substantiated managerial decisions.

The article concludes that improving the efficiency of managing such projects is associated not with expanding the volume of collected information, but with increasing its analytical and managerial value.

© Я.В. Жаров, А.Д. Аннин, 2026

УДК 69:004.9

Expert Ranking of Factors for Using Digital Information Model at the Constrdution Stage

A.A. Lapidus¹, A.M. Bismukhametova², G.S. Pateev¹¹ *National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia);*² *Astrakhan State Technical University, Astrakhan (Russia)*

Keywords and phrases: BIM; construction stage; DIM; expert ranking; factor weights; Kendall coefficient.

Abstract. The paper considers expert ranking as a tool for determining the significance of factors affecting the use of a digital information model at the construction stage. The aim of the study is to develop a compact procedure that makes it possible to prioritize factors and employ the ranking results in the subsequent diagnostics of the DIM use environment. The methodology includes the analysis of regulatory documents and BIM-related publications, identification of three groups of factors: model-related factors, software and IT environment factors, and organizational factors, and a two-level expert ranking procedure. At the first level, the relative significance of factor groups is assessed; at the second level, factors within each group are ranked. The consistency of expert judgments is proposed to be verified using Kendall's concordance coefficient and the Pearson chi-square test. As a result, a procedure is formed that allows moving from a qualitative description of DIM implementation barriers to a quantitative determination of factor weights. The practical value of the approach lies in the possibility of using ranking results for the integral assessment of the environment and for selecting priority organizational and technological decisions.

At the construction stage, a digital information model can perform the function of a management tool only if an appropriate environment for its use has been formed. International ISO 19650 standards and Russian legal acts define the requirements for information management and model maintenance, but they do not specify which factors are the most critical for the practical use of a DIM [1–4].

The study aims is to develop a compact procedure for expert ranking of factors affecting DIM use at the construction stage, suitable for the subsequent calculation of factor weights in the integral assessment of the environment.

The methodological basis of the study includes the analysis of regulatory documents and BIM-related publications [1–6]. On this basis, three groups of factors are identified: model-related factors, software and IT environment factors, and organizational factors.

Expert ranking is performed at two levels: first, three groups of factors are ranked on a scale from 1 to 3; then, ten factors within each group are ranked on a scale from 1 to 10. The sums of ranks are used to determine the weights of groups and intra-group factors. The consistency of judgments is verified using Kendall's concordance coefficient and the Pearson chi-square test.

The proposed procedure makes it possible to obtain an ordered system of weights without direct quantitative measurement of organizational and process-related factors. Its main advantage lies in the step-by-step transition from the assessment of broad factor groups to the assessment of specific factors.

The ranking results can be used in the integral assessment of the DIM use environment, where the main attention is given to factors with the highest total rank. Thus, expert ranking becomes a link between the qualitative analysis of implementation barriers and the quantitative diagnostics of the environment.

The main advantage of the approach is that it takes into account the opinions of specialists representing different project management contours and includes factors that are difficult to measure directly [5–8]. At the same time, the stability of the resulting weights depends on the composition of the expert group and the consistency of judgments.

For this reason, expert ranking should be treated not as a standalone solution, but as the first stage of a broader analytical procedure including diagnostics, gap analysis, and repeated assessment.

The paper proposes a compact procedure for expert ranking of factors affecting DIM use at the construction stage. It is shown that a two-level ranking scheme makes it possible to determine the weights of groups and factors for the subsequent integral assessment of the environment.

The practical value of the approach lies in the possibility of prioritizing deficiencies in the digital environment and substantiating organizational and technological changes in construction production.

References

1. ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles.
2. ISO 19650-2:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 2: Delivery phase of the assets.
3. Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства : Постановление Правительства Российской Федерации № 331 от 05.03.2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103100026>.
4. Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов : Постановление Правительства Российской Федерации № 614 от 17.05.2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202405170050>
5. Теличенко, В.И. Информационное моделирование технологий и бизнес-процессов в

строительстве / В.И. Теличенко, А.А. Липидус, А.А. Морозенко. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 144 с.

6. Succar, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders / B. Succar // Automation in Construction. – 2009. – Vol. 18. – Iss. 3. – P. 357–375. – DOI: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.

7. Borrmann, A. Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice / A. Borrmann, M. König, C. Koch, J. Beetz. – Cham : Springer, 2018. – 584 p.

8. СП 301.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами.

References

3. Ob ustanovlenii sluchaev, pri kotorykh zastrojshchikom, tekhnicheskim zakazchikom, litsom, obespechivayushchim ili osushchestvlyayushchim podgotovku obosnovaniya investitsij, i (ili) litsom, otvetstvennym za ekspluatatsiyu obekta kapitalnogo stroitelstva, obespechivayutsya formirovanie i vedenie informatsionnoj modeli obekta kapitalnogo stroitelstva : Postanovlenie Pravitelstva Rossijskoj Federatsii № 331 ot 05.03.2021 [Electronic resource]. – Access mode : <https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103100026>.

4. Ob utverzhdenii Pravil formirovaniya i vedeniya informatsionnoj modeli obekta kapitalnogo stroitelstva, sostava svedenij, dokumentov i materialov, vlyuchayemykh v informatsionnyy model obekta kapitalnogo stroitelstva i predstavlyayemykh v forme elektronnykh dokumentov, i trebovanij k formatam ukazannykh elektronnykh dokumentov : Postanovlenie Pravitelstva Rossijskoj Federatsii № 614 ot 17.05.2024 [Electronic resource]. – Access mode : <https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202405170050>

5. Telichenko, V.I. Informatsionnoe modelirovanie tekhnologij i biznes-protsessov v stroitelstve / V.I. Telichenko, A.A. Lapidus, A.A. Morozenko. – М. : Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2008. – 144 s.

8. SP 301.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами.

Экспертное ранжирование факторов использования ЦИМ на стадии СМР

А.А. Липидус¹, А.М. Бикмухаметова², Г.С. Патеев¹

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия);

² ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,
г. Астрахань (Россия)

Ключевые слова и фразы: веса факторов; коэффициент Кендалла; СМР; ЦИМ; экспертное ранжирование; BIM.

Аннотация. В статье рассматривается экспертное ранжирование как инструмент определения значимости факторов использования цифровой информационной модели на стадии строительно-монтажных работ. Цель исследования состоит в разработке компактной процедуры, позволяющей упорядочить факторы по приоритету и использовать

результаты ранжирования при последующей диагностике среды применения ЦИМ. Методология включает анализ нормативных документов и научных публикаций по ВМ/ЦИМ, выделение трех групп факторов – факторов модели, факторов ПО/ИТ-среды и организационных факторов – и двухуровневое экспертное ранжирование. На первом уровне оценивается относительная значимость групп факторов, на втором – значимость факторов внутри каждой группы. Согласованность оценок предлагается проверять коэффициентом конкордации Кендалла и критерием Пирсона. В результате сформирована процедура, позволяющая переходить от качественного описания ограничений внедрения ЦИМ к количественному определению весов факторов. Практическая значимость подхода состоит в возможности использовать результаты ранжирования для интегральной оценки среды и выбора приоритетных организационно-технологических решений.

© А.А. Lapidus, А.М. Bikmukhametova, G.S. Pateev, 2026

УДК 69.05

Факторы, влияющие на неравномерность использования трудовых ресурсов при возведении объектов социальной инфраструктуры

Е.В. Михайлова, Ю.С. Еремина

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: детские дошкольные учреждения; календарное планирование; неравномерность использования рабочих; оптимизация графиков; строительство школ; трудовые ресурсы.

Аннотация. Целью исследования являются определение и систематизация факторов, обуславливающих неравномерность использования трудовых ресурсов при календарном планировании строительства школ и дошкольных учреждений, а также анализ существующих методов количественной оценки этой неравномерности.

Задачи включают в себя анализ организационно-технологических, экономических и природно-климатических причин колебаний потребности в рабочей силе на объектах социальной инфраструктуры; сравнение выявленных факторов с условиями жилищного строительства; обзор общепринятых показателей неравномерности движения рабочих и оценку их применимости для учета специфики школ и ДОУ.

Гипотеза заключается в том, что неравномерность трудовых затрат на школьных и дошкольных объектах порождается не только традиционной сменой технологических этапов, но в большей степени совокупным влиянием жесткого директивного срока ввода и значительной доли сезоннозависимых работ, что не находит адекватного отражения в стандартных подходах к выравниванию графиков.

Методы: анализ научных публикаций и нормативных документов, сравнительный анализ календарных планов жилых и социальных объектов, классификация и систематизация факторов неравномерности по группам, обзор и систематизация существующих показателей неравномерности использования трудовых ресурсов.

Достигнутые результаты: составлена классификация факторов неравномерности с выделением отличий от жи-

личного строительства; установлено, что ключевую роль играет синхронизация директивных и сезонных ограничений; проведен обзор показателей неравномерности (коэффициент неравномерности движения рабочих, коэффициент сменности работ, индекс Херфиндаля-Хиршмана) и показана их применимость для количественной оценки влияния выявленных факторов. Сделан вывод о необходимости совершенствования методов календарного планирования, в полной мере учитывающих выявленную специфику объектов социальной инфраструктуры.

Введение

Строительство объектов социальной инфраструктуры, в частности школ и детских садов, является приоритетной задачей для обеспечения комфортной городской среды. Жесткие сроки ввода таких объектов (часто приуроченные к началу учебного года) и высокая социальная значимость требуют от всех участников строительства особого внимания к организации строительного производства. Одним из ключевых аспектов успешной реализации проектов является эффективное использование трудовых ресурсов. Неравномерность их использования во времени приводит к простоям, снижению качества работ и увеличению себестоимости.

Специфика объектов социальной инфраструктуры как источник неравномерности

Школы и детские сады относятся к группе зданий с характерными объемно-планировочными и конструктивными решениями, для них типичны:

- 1) развитая сеть внутренних помещений различного назначения (классы, спальни, спортивные залы, пищеблоки);
- 2) наличие сложных инженерных систем (должны отвечать высоким требованиям к надежности, безопасности и энергоэффективности);
- 3) повышенные требования к отделке и безопасности, регламентированные СП 251.1325800.2016 [1].

Эти особенности обуславливают разнородный состав строительно-монтажных работ, выполняемых в разные периоды возведения здания. Как отмечается в современной учебной литературе по организации строительного производства, чередование специализированных потоков (нулевой цикл, монолитные работы, кровля, отделка, монтаж оборудования) неизбежно порождает пиковые нагрузки на отдельные категории рабочих [2–4].

Классификация факторов неравномерности

Анализ практики строительства позволяет выделить три группы факторов, влияющих на неравномерность использования трудовых ресурсов на объектах социальной инфраструктуры.

Ниже представлена сравнительная таблица объектов социальной инфраструктуры (школы, ДОУ) и многоквартирных жилых зданий с точки зрения факторов, влияющих на неравномерность использования трудовых ресурсов.

Таблица 1. Сравнительная таблица объектов социальной инфраструктуры и многоквартирных жилых зданий

Группа факторов	Фактор	Проявление при строительстве школ и ДОУ	Отличие от строительства жилых зданий
Организационно-технологические	Структура и разнообразие работ	Наличие крупных зальных помещений (спортзалы, актовые залы, бассейны), пищеблоков с особыми требованиями, множества мелких помещений разного назначения. Высокая доля инженерных систем (вентиляция, пожарная безопасность, технологическое оборудование)	В жилье преобладают типовые ячейки (квартиры), что обеспечивает высокую степень повторяемости операций и ритмичность. В школах и ДОУ выше удельный вес уникальных и сложных работ
	Технологические перерывы	Значительная продолжительность «мокрых» процессов (стяжки, штукатурка) из-за строгих санитарно-гигиенических требований к качеству внутренней среды. Обязательные перерывы для устройства многослойной отделки пищеблоков и медицинских кабинетов	В жилых зданиях требования к внутренней среде регламентированы менее жестко, что позволяет применять ускоренные технологии отделки и совмещения процессов без потери качества
	Совмещение работ	Монтаж специфического оборудования требует последовательного выполнения. Безопасное совмещение работ регламентируется нормативными документами по охране труда в строительстве [5; 6]	В жилье допустимо массовое поточное совмещение отделки и инженерии в разных секциях, что сглаживает график потребности в рабочих
Экономические и управленческие	Директивные сроки ввода	Жесткая привязка к началу учебного года (1 сентября). Срыв срока переносит ввод объекта на полгода-год, что провоцирует концентрацию ресурсов в сжатый период завершения строительства и вызывает резкое увеличение численности персонала на финальной стадии. Понятие директивных сроков и их влияние на организацию строительства рассматривается в нормативно-методических документах [7]	Ввод жилья планируется поквартально, возможна поэтапная сдача секций, отсутствует единовременный критический рубеж, что снижает амплитуду колебаний числа рабочих
	Доступность и квалификация кадров	Требуются узкие специалисты по монтажу учебно-лабораторного, кухонного оборудования, систем безопасности. Их ограниченное число на рынке труда приводит к ожиданию и неравномерной загрузке других бригад	В жилье перечень специальностей более унифицирован (отделочники широкого профиля, монтажники стандартных систем), дефицит кадров проявляется в меньшей степени и легче замещается
Природно-климатические	Сезонность и влияние погоды	Большие площади остекления и пришкольной территории делают наружные работы критичными к погодным условиям и времени года. Окончание благоустройства в осенне-зимний период невозможно без дополнительных затрат на прогрев и защиту	В жилье благоустройство может быть завершено в более сжатые сроки (проезды, минимальное озеленение), а основные корпуса возводятся и отделываются практически круглогодично

Показатели неравномерности использования трудовых ресурсов

В теории и практике организации строительного производства для количественной оценки неравномерности использования трудовых ресурсов применяется система показателей, позволяющих анализировать графики движения рабочих и выявлять организационно-технологические резервы [3; 4].

Основным и наиболее распространенным измерителем служит коэффициент неравномерности движения рабочих (K_n), определяемый как отношение максимальной численности работающих (R_{max}) к средней за весь период строительства (R_{cp}) [2–4]:

$$K_n = \frac{R_{max}}{R_{cp}}.$$

Оптимальным считается значение $K_n \leq 1,5$, что свидетельствует об относительно равномерной загрузке трудовых ресурсов.

Для более детального анализа структуры неравномерности используются дополнительные характеристики:

- коэффициент сменности работ – отражает степень использования рабочего времени в течение суток и косвенно характеризует равномерность загрузки трудовых ресурсов при многосменной организации;
- индекс Херфиндаля–Хиршмана (HNI), позволяющий количественно оценить концентрацию трудовых ресурсов в отдельных периодах; чем выше значение индекса, тем больше концентрация, что указывает на высокую неравномерность распределения рабочих и обосновывает необходимость оптимизации графиков [8].

В совокупности перечисленные показатели формируют методическую базу для оценки графиков движения рабочих и выявления периодов неоправданной концентрации труда. Именно их применение при календарном планировании строительства школ и дошкольных учреждений позволяет количественно подтвердить влияние факторов, рассмотренных в классификации (табл. 1), и обосновать необходимость организационно-технологических мероприятий по выравниванию графиков.

Обзор методов учета факторов в календарном планировании

В современной теории организации строительства разработан ряд методов, позволяющих частично компенсировать влияние факторов, порождающих неравномерность использования трудовых ресурсов.

Традиционные календарные планы в виде линейных графиков или циклограмм дают общее представление о последовательности и сроках выполнения работ, однако не позволяют эффективно снижать локальные максимумы численности рабочих без многократных итераций и субъективной корректировки [2; 3].

Более широкие возможности для оптимизации предоставляют сетевые графики и методы математического программирования. С их помощью можно перераспределять не критические работы в пределах имеющихся резервов времени, добиваясь более равномерной загрузки трудовых ресурсов [9; 10].

Перспективным направлением является применение информационного моделирования зданий (**BIM**). Как показывают исследования, использование регрессионных зависимостей

в среде *BIM* позволяет с приемлемой точностью рассчитать продолжительности основных циклов работ на ранних стадиях проектирования и тем самым повысить обоснованность календарных планов [11].

Вместе с тем, несмотря на наличие указанных методов, задача учета всей совокупности организационно-технологических, экономических и природно-климатических факторов, специфичных для объектов социальной инфраструктуры, остается нерешенной. Это свидетельствует о необходимости дальнейшего развития инструментов календарного планирования, ориентированных на данный тип зданий.

Выводы

Неравномерность использования трудовых ресурсов при строительстве школ и детских садов обусловлена комплексом факторов: технологической структурой работ, жесткими сроками, сезонностью и дефицитом кадров. Существующие методы календарного планирования не в полной мере адаптированы к специфике данных объектов, что приводит к неоптимальным графикам движения рабочих. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку моделей, позволяющих одновременно учитывать организационные, экономические и природные факторы для повышения равномерности использования трудовых ресурсов и соблюдения сроков строительства социально значимых объектов.

Литература

1. СП 251.1325800.2016. Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования (с актуализациями). – М. : Минстрой России, 2016.
2. Михайлов, А.Ю. Организация строительства. Календарное и сетевое планирование : учебное пособие ; 3-е изд. / А.Ю. Михайлов. – Инфра-Инженерия, 2025. – 298 с.
3. Олейник, П.П. Организация строительного производства: подготовка и производство строительно-монтажных работ : учебное пособие ; 2-е изд. / П.П. Олейник, В.И. Бродский. – М. : Издательство МИСИ-МГСУ, 2020. – 96 с.
4. Олейник П.П. Теория, методы и формы организации строительного производства : учебник. В 2 ч. Ч. 2. / П.П. Олейник, В.И. Бродский, Т.К. Кузьмина и др. – М. : ЭБС АСВ, 2020. – 334 с.
5. СП 48.13330.2019. Организация строительства. СНиП 12-01-2004.
6. СП 49.13330.2010. Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования.
7. СНиП 1.04.03-85. Часть II. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий зданий и сооружений.
8. Михайлова, Е.В. Равномерность распределения трудовых ресурсов в календарном планировании строительства зданий и сооружений / Е.В. Михайлова // ИВД. – 2025. – № 4(124) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/ravnomernost-raspredeleniya-trudovyh-resursov-v-kalendar-nom-planirovanii-stroitelstva-zdaniy-i-sooruzheniy>.
9. Баркалов, С.А. Математическая модель оптимального распределения ресурсов в строительной сфере в условиях их дефицита / С.А. Баркалов, С.И. Моисеев, Е.А. Серебрякова // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2023. – №1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/matematiceskaya-model-optimalnogo-raspredeleniya-resursov-v-stroitelnoy-sfere-v-usloviyah-ih-defitsita>.
10. Букунова, О.В. Решение задач планирования строительных земляных работ методами

линейного программирования / О.В. Букунова, А.Е. Лопатко // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2025/10296>.

11. Болотин, С.А. Имитация календарного планирования в программах информационного моделирования зданий и регрессионная детализация норм продолжительностей строительства / С.А. Болотин, А.Х. Дадар, И.С. Птухина // Magazine of Civil Engineering. – 2011. – №7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsiya-kalendar-nogo-planirovaniya-v-programmah-informatsionnogo-modelirovaniya-zdaniy-i-regressionnaya-detalizatsiya-norm>.

References

1. SP 251.1325800.2016. Zdaniya obshcheobrazovatelnykh organizatsij. Pravila proektirovaniya (s aktualizatsiyami). – М. : Minstroy Rossii, 2016.

2. Mikhajlov, A.YU. Organizatsiya stroitelstva. Kalendarnoe i setevoe planirovanie : uchebnoe posobie ; 3-e izd. / A.YU. Mikhajlov. – Infra-Inzheneriya, 2025. – 298 s.

3. Olejnik, P.P. Organizatsiya stroitelnogo proizvodstva: podgotovka i proizvodstvo stroitelno-montaznykh rabot : uchebnoe posobie ; 2-e izd. / P.P. Olejnik, V.I. Brodskij. – М. : Izdatelstvo MISI-MGSU, 2020. – 96 s.

4. Olejnik P.P. Teoriya, metody i formy organizatsii stroitelnogo proizvodstva : uchebnik. V 2 ch. CH. 2. / P.P. Olejnik, V.I. Brodskij, T.K. Kuzmina i dr. – М. : EBS ASV, 2020. – 334 s.

5. SP 48.13330.2019 Organizatsiya stroitelstva. SNiP 12-01-2004.

6. SP 49.13330.2010 Bezopasnost truda v stroitelstve. CHast 1. Obshchie trebovaniya.

7. SNiP 1.04.03-85 CHast II Normy prodolzhitelnosti stroitelstva i zadela v stroitelstve predpriyatij zdaniy i sooruzhenij.

8. Mikhajlova, E.V. Ravnomernost raspredeleniya trudovykh resursov v kalendarnom planirovanii stroitelstva zdaniy i sooruzhenij / E.V. Mikhajlova // IVD. – 2025. – № 4(124) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/ravnomernost-raspredeleniya-trudovykh-resursov-v-kalendarnom-planirovanii-stroitelstva-zdaniy-i-sooruzheniy>.

9. Barkalov, S.A. Matematicheskaya model optimalnogo raspredeleniya resursov v stroitelnoy sfere v usloviyakh ikh defitsita / S.A. Barkalov, S.I. Moiseev, E.A. Serebryakova // Vestnik YUUrGU. Seriya: Kompyuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika. – 2023. – №1 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-optimalnogo-raspredeleniya-resursov-v-stroitelnoy-sfere-v-usloviyah-ih-defitsita>.

10. Bukunova, O.V. Reshenie zadach planirovaniya stroitelnykh zemlyanykh rabot metodami linejnogo programmirovaniya / O.V. Bukunova, A.E. Lopatko // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2025. – № 8 [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2025/10296>.

11. Bolotin, S.A. Imitatsiya kalendarnogo planirovaniya v programmakh informatsionnogo modelirovaniya zdaniy i regressionnaya detalizatsiya norm prodolzhitelnostej stroitelstva / S.A. Bolotin, A.KH. Dadar, I.S. Ptukhina // Magazine of Civil Engineering. – 2011. – №7 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsiya-kalendar-nogo-planirovaniya-v-programmah-informatsionnogo-modelirovaniya-zdaniy-i-regressionnaya-detalizatsiya-norm>.

Factors Affecting the Unevenness of Labor Resource Utilization During the Construction of Social Infrastructure Facilities

E.V. Mikhailova, Yu.S. Eremina

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: calendar planning; labor resources; unevenness of worker utilization; construction of schools; preschool institutions; schedule optimization.

Abstract. The aim of the study is to identify and systematize the factors causing unevenness in the utilization of labor resources during the scheduling of school and preschool institution construction, as well as to analyze existing methods for the quantitative assessment of this unevenness.

The objectives include analyzing the organizational-technological, economic, and natural-climatic causes of fluctuations in labor demand at social infrastructure facilities; comparing the identified factors with the conditions of residential construction; reviewing commonly accepted indicators of unevenness in worker movement and assessing their applicability for accounting for the specific characteristics of schools and preschool educational institutions.

The hypothesis assumes that the unevenness of labor costs at school and preschool facilities is generated not only by the traditional succession of technological stages but, to a greater extent, by the combined influence of a strict directive completion deadline and a significant proportion of seasonally dependent works. This combined influence is not adequately reflected in standard schedule leveling approaches.

Methods include analysis of scientific publications and regulatory documents, comparative analysis of schedules for residential and social facilities, classification and systematization of unevenness factors into groups, review and systematization of existing indicators of unevenness in labor resource utilization.

Results achieved: a classification of unevenness factors was compiled, highlighting differences from residential construction; it was established that the synchronization of directive and seasonal constraints plays a key role; a review of unevenness indicators (coefficient of unevenness of worker movement, work shift coefficient, Herfindahl-Hirschman index) was conducted, and their applicability for quantitatively assessing the influence of the identified factors was demonstrated. It was concluded that it is necessary to improve scheduling methods to fully account for the identified specifics of social infrastructure facilities.

© Е.В. Михайлова, Ю.С. Еремина, 2026

УДК 69.05

Организационно-технологические аспекты применения поточного метода при комплексной застройке микрорайона

В.А. Муря, А.С. Снежков

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: захватка; календарное планирование; комплексная застройка микрорайона; комплексное развитие территорий; организационно-технологическая надежность; организационно-технологические решения; поточный метод; ресурсная нагрузка; ритмичность строительства; строительный поток.

Аннотация. Цель исследования состоит в уточнении организационно-технологических условий применения поточного метода при комплексной застройке микрорайона. В число задач вошли: анализ нормативной базы; сопоставление отечественных и зарубежных публикаций; рассмотрение параметров потока, влияющих на сроки, ритм работ и ресурсную загрузку; определение критериев оценки организационно-технологических решений. Гипотеза состоит в том, что при застройке микрорайона поточный метод дает наибольший организационный эффект при оценке не по одному сроку, а по совокупности взаимосвязанных параметров. Используются сравнительный анализ, систематизация публикаций, нормативная интерпретация и сопоставление расчетных и практических данных. Установлено, что применение потока сокращает простои, упорядочивает очередность ввода объектов и требует интегральной оценки при учете продолжительности строительства, ритма, непрерывности работы бригад, ресурсной нагрузки и согласованности ввода разнородных объектов.

Микрорайонная застройка стала одной из основных форм освоения городских территорий. Проекты этого типа включают возведение жилых домов, школ, детских садов, поликлиник и инженерной инфраструктуры в пределах единого градостроительного образования; число объектов нередко превышает 20 единиц, поэтому очередность работ, сроки ввода и соблюдение нормативов обеспеченности населения социальной инфраструктурой требуют точной координации. Организация строительства при микрорайонной застройке зависит от параметров потока, календарного плана и действующей нормативной базы. Наибольшую роль здесь играют документы, регулирующие правовые основания освоения территории,

Таблица 1. Нормативные документы по организации строительства при комплексной застройке

Нормативный документ	Предмет регулирования	Значение
Градостроительный кодекс Российской Федерации [1]	Правовые основы градостроительной деятельности, планировка территории, проектирование, строительство и ввод объектов	Определяет общие условия комплексной застройки и правовые рамки организационно-технологических решений
Федеральный закон № 494-ФЗ [2]	Комплексное развитие территорий и преобразование застроенных территорий	Закрепляет правовую основу комплексной застройки
СП 48.13330.2019 «Организация строительства» [3]	Подготовка строительства, состав документации, календарное планирование и требования к производству	Используется при анализе поточного метода и обосновании организации строительства

механизм развития, состав организационно-технологической документации и порядок производства работ; их учет связывает поточный метод с реальными условиями проектирования и строительства.

На ранних стадиях проектирования календарных графиков обычно отсутствуют точные сведения о продолжительности процессов, их трудоемкости и составе ресурсов. По этой причине применяется метод неопределенных ресурсных коэффициентов, описывающий организационно-технологическую схему строительства системой линейных зависимостей с изменением параметров графика в заданных пределах [4]. По действующим нормам месячное выполнение подготовительных работ составляет 3–9 % общих инвестиционных затрат, подземных работ – 2–25 %. Учет этих интервалов нужен при оценке влияния перераспределения ресурсов на общую продолжительность строительства микрорайона. Уже для двух жилых зданий поточная схема требует модели примерно из 20 линейных уравнений, поскольку несогласованность ограничений вызывает временные разрывы и перенос отдельных этапов.

Поточный метод строится на разделении строительного процесса на повторяющиеся специализированные операции с последовательным переходом бригад между захватками без перерывов по занятости. На примере четырех одинаковых жилых домов установлено, что каждый объект имеет площадь застройки $501,2 \text{ м}^2$, строительный объем $22\,080,33 \text{ м}^3$, монолитный железобетонный каркас, перекрытия толщиной 180 мм, свайное основание и бетонную подготовку 100 мм [5]. Цикл включает подземную часть, надземную часть и отделку по 1 месяцу на этап. Последовательная схема требует 12 месяцев, параллельная – 3, поточная – 6, то есть срок сокращается на 50 % по сравнению с последовательной. Итоговые затраты составили 14 420 979,84 руб. при последовательном методе, 12 478 592,64 руб. при параллельном и 7 210 489,92 руб. при поточном, что означает уменьшение на 50,0 % и 42,2 % соответственно. Практика подтверждает тот же эффект: при строительстве первого этапа ЖК «ЗИЛАРТ» срок сократился с 48 до 36 месяцев, затраты – с 5 до 4,2 млрд руб., производительность труда выросла на 20 %; при строительстве участка Большого Казанского кольца срок снизился с 36 до 27 месяцев, затраты – с 7 до 6 млрд руб., производительность выросла на 22 % [5].

Микрорайонная застройка относится к наиболее сложным формам организации строительного производства, поскольку объектом управления здесь становится не один корпус, а территория с жильем, социальной инфраструктурой, внутриквартальными проездами, ин-

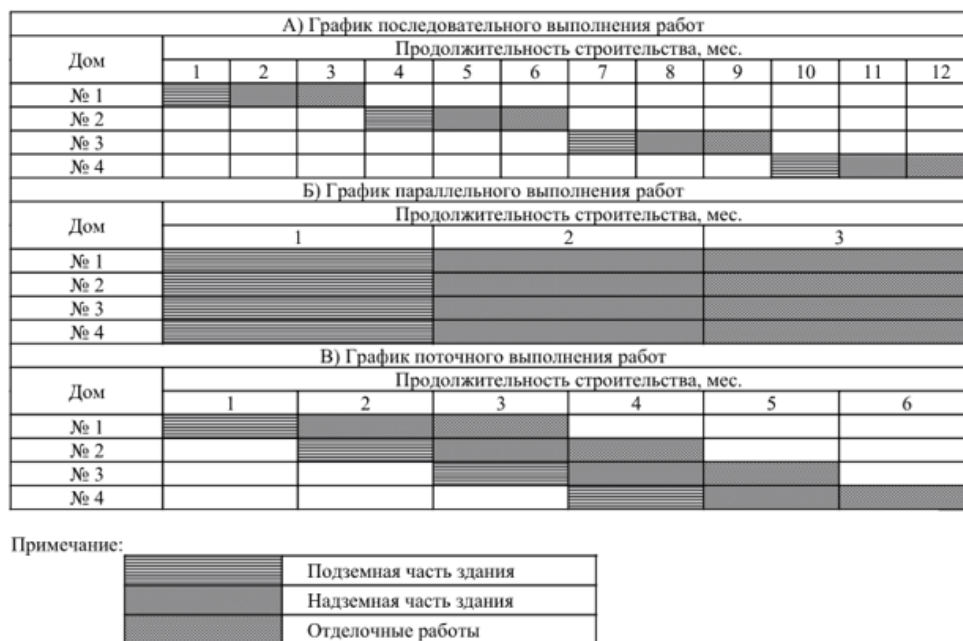


Рис. 1. Графики выполнения строительно-монтажных работ различными методами [5]

женерными сетями и благоустройством. Ввод этих элементов должен совпадать по срокам. Масштаб работ хорошо виден по данным КРТ: в проработке находится 1 616 территорий общей площадью 38,65 тыс. га, а градостроительный потенциал достигает 277,3 млн м² недвижимости, из них 204,3 млн м² приходится на жилье [6]. При столь крупном объеме работ центр управления смещается от отдельного здания к увязке процессов между участками. Задержка по наружным сетям, дорогам или благоустройству меняет фронт работ на смежных участках, перераспределяет технику, увеличивает простои и сдвигает очереди ввода. Готовность микрорайона определяется не фактом завершения одного жилого корпуса, а степенью согласованности всей среды проживания. Поточный метод решает задачу согласования процессов на разных объектах и участках [7]. Опорной единицей здесь служит захватка, в пределах которой бригада выполняет заданный объем операций за фиксированный интервал. Деление территории на повторяющиеся этапы – подготовка площадки, устройство сетей, возведение жилья, строительство объектов обслуживания, дорожные работы и благоустройство – закрепляет ресурсы по видам работ и уменьшает потери времени при переходе между участками. Уже введено почти 2,3 млн м² недвижимости по проектам КРТ, из них 1,9 млн м² жилья, поэтому ошибка в организационно-технологической схеме сразу отражается на сроке проекта, загрузке ресурсов и порядке ввода. Надежность строительного процесса раскрыта через оценку факторов, нарушающих нормальное развитие работ [8]. Организационно-технологическая надежность трактуется как способность строительной системы сохранять работоспособность под действием неблагоприятных воздействий на разных стадиях проекта. Наибольшие весовые коэффициенты получили риск изменения объемов общего потока – 0,061, риск изменения отношения потоков технологических модулей в операционных потоках – 0,060, риск изменения совмещения операционного потока в специализированном потоке – 0,059, риск изменения интенсивности операционного потока – 0,054. Эти величины указывают на зоны, где чаще нарушаются ритм, структура потока и расчетные параметры календарного плана. Дальнейшая проработка темы смещается к конфигурации

потоков группы объектов [9]. На примере производственной программы из 3 объектов и 7 специализированных потоков рассмотрены комбинированная, агрегированная и уплотненная схемы. Увязка первого и второго объектов шла по пятому специализированному потоку, второго и третьего – по первому, а старт третьего объекта в одном варианте сдвинулся на 20 рабочих дней под влиянием контрактных ограничений. Отсюда следует вывод по микрорайонной застройке: поток приходится оценивать по технологической логике, производственной мощности подрядчика, рыночной ситуации и директивным срокам.

Международный набор публикаций расширяет анализ [10]. Из 238 работ отобраны 193, еще 45 исключены как не относящиеся к теме. Рост интереса к планированию повторяющихся строительных процессов прослеживается с 2001 г., пик пришелся на 2020 г. – 15 работ; США дали 66 публикаций, Канада – 28. Микрорайонная застройка ближе всего к нелинейным рассредоточенным проектам, где пространственно разнесенные объекты подчинены общей схеме работ. Корпус публикаций сгруппирован по шести направлениям: традиционное планирование повторяющихся проектов, ресурсное планирование, надежность графиков, минимум продолжительности, минимум стоимости, многокритериальная оптимизация. Отдельно отмечаются повторяющиеся процессы при одновременной занятости нескольких однотипных бригад [11]. Пересмотрены две распространенные посылки: равенство рабочих зон по объему и запрет одновременного выполнения одного процесса в нескольких местах. В строительной практике захватки различаются по трудоемкости, а подрядчик нередко выводит несколько бригад одного профиля. Смешанная бинарная линейная модель сократила длительность тестового проекта до 23 дней, то есть на 3 дня по сравнению с базовым решением; во втором примере сохранены 28 дней при более удачной последовательности операций. Показателен пример внутренней отделки школьного здания: 5 групп процессов, 9 рабочих зон, состав бригад 2, 2, 2, 1 и 1, минимальная продолжительность – 61 день при нулевом простое бригад.

Отдельный блок исследований касается выравнивания ресурсной нагрузки [12]. Здесь использован двухэтапный генетический алгоритм: сначала подбирается распределение ресурсов, затем вводятся допустимые прерывания отдельных работ без роста общей продолжительности проекта. У трубопроводного проекта длительностью 65 дней отклонение суточного ресурсопотребления от среднего уменьшилось с 657,33 до 609, а по сравнению с более ранним решением – с 1 037; максимальная численность работников сократилась с 89 до 67 человек. Во втором варианте при 48 днях отклонение уменьшилось с 592 до 479, максимум занятых рабочих – с 77 до 67 человек. У линейного проекта из 24 процессов и 10 повторяющихся единиц при 406 днях показатель снизился с 5 182 до 1 797, численность рабочих – с 64 до 50.

Сопоставление материалов [6–12] сводит проблему к двум задачам. Первая касается увязки жилья, сетей, дорог, благоустройства и социальных объектов в одном потоке с общей очередностью. Вторая связана с оценкой этой увязки по группе критериев: срок, непрерывность работы бригад, надежность графика, ресурсная загрузка, порядок ввода. Слабее всего проработана интегральная оценка поточного метода применительно к группе разнородных объектов. Следующий шаг по теме состоит в создании методики, которая сопоставит варианты организации строительства при меняющихся внешних ограничениях и сохранит связь расчетной схемы с практикой микрорайонной застройки.

Литература

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации: федеральный закон № 190-ФЗ от

29 декабря 2004 г. (в ред. от 02.07.2021).

2. О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях обеспечения комплексного развития территорий : федеральный закон № 494-ФЗ от 30.12.2020.

3. СП 48.13330.2019. Организация строительства. – М. : Минстрой России, 2025. – 80 с.

4. Дадар, А.-К.Х. Применение поточной организации работ при строительстве новых микрорайонов / А.-К. Х. Дадар, Х.В. Биче-Оол // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. – 2021. – № 1(74) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-potochnoy-organizatsii-rabot-pri-stroitelstve-novykh-mikrorayonov>.

5. Батуева, М.И. Поточный метод организации строительного производства / М.И. Батуева, А.Н. Зонова, Н.А. Алексеева // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 5. – № 6(147). – С. 62–68. – DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2024.06.05.009. – EDN: OWFYGS.

6. Градпотенциал проектов комплексного развития территорий достиг 277 млн кв.м недвижимости [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.minstroyrf.gov.ru/press/gradpotentsial-proektov-kompleksnogo-razvitiya-territoriy-dostig-277-mln-kv-m-nedvizhimosti/>.

7. Черников, Ю.Ю. Актуализация применения поточного метода организации строительства транспортных сооружений в современных условиях / Ю.Ю. Черников, С.В. Турдаков, А.А. Кнышов // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов : Сборник статей II Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 23 января 2024 года. – Петрозаводск : Новая Наука, 2024. – С. 137–142. – EDN: CHHFHA.

8. Аль-Мсари, А.А.РА. Риски ресурсообеспечения при разработке методов оценки организационно-технологической надежности комплексных процессов в строительстве / А.А.РА. Аль-Мсари // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2024. – Т. 20. – № 1(35). – С. 80–86. – DOI: 10.26200/GSTOU.2024.34.73.008. – EDN: XOLTWO.

9. Цапко, К.А. Формирование производственной программы строительной организации на основе поточного метода организации строительства / К.А. Цапко, Н.Ф. Востриков // Вестник Евразийской науки. – 2020. – Т. 12. – № 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://esj.today/PDF/39SAVN420.pdf>.

10. Tomczak, M. Scheduling Repetitive Construction Projects: Structured Literature Review / M. Tomczak, P. Jaśkowski // Journal of Civil Engineering and Management. – 2022. – Vol. 28. – Iss. 6. – P. 422–442. – DOI: 10.3846/jcem.2022.16943.

11. Jaśkowski, P. Scheduling of Repetitive Construction Processes with Concurrent Work of Similarly Specialized Crews / P. Jaśkowski, S. Biruk // Journal of Civil Engineering and Management. – 2020. – Vol. 26. – Iss. 6. – P. 579–589. – DOI: 10.3846/jcem.2020.12914.

12. Dai, G. Resource Levelling in Repetitive Construction Projects with Interruptions: An Integrated Approach / G. Dai, M. Liao, R. Zhang // Journal of Civil Engineering and Management. – 2023. – Vol. 29. – Iss. 2. – P. 93–106. – DOI: 10.3846/jcem.2023.17568.

References

1. Gradostroitelnyj kodeks Rossijskoj Federatsii: federalnyj zakon № 190-FZ ot 29 dekabrya 2004 g. (v red. ot 02.07.2021).

2. O vnesenii izmenenij v Gradostroitelnyj kodeks Rossijskoj Federatsii i otdelnye zakonodatelnye akty Rossijskoj Federatsii v tselyakh obespecheniya kompleksnogo razvitiya territorij : federalnyj zakon № 494-FZ ot 30.12.2020.

3. SP 48.13330.2019. Organizatsiya stroitelstva. – М. : Minstroj Rossii, 2025. – 80 s.

4. Dadar, A.-K.KH. Primenenie potochnoj organizatsii rabot pri stroitelstve novykh mikrorajonov / A.-K. KH. Dadar, KH.V. Biche-Ool // Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki. – 2021. – № 1(74) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-potochnoy-organizatsii-rabot-pri-stroitelstve-novyh-mikrorajonov>.

5. Batueva, M.I. Potochnyj metod organizatsii stroitel'nogo proizvodstva / M.I. Batueva, A.N. Zonova, N.A. Alekseeva // Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. – 2024. – T. 5. – № 6(147). – S. 62–68. – DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2024.06.05.009. – EDN: OWFYGS.

6. Gradpotentsial proektov kompleksnogo razvitiya territorij dostig 277 mln kv. m nedvizhimosti [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.minstroyrf.gov.ru/press/gradpotentsial-proektov-kompleksnogo-razvitiya-territoriy-dostig-277-mln-kv-m-nedvizhimosti/>.

7. CHernikov, YU.YU. Aktualizatsiya primeneniya potochnogo metoda organizatsii stroitelstva transportnykh sooruzhenij v sovremennykh usloviyakh / YU.YU. CHernikov, S.V. Turdakov, A.A. Knyshov // Aktualnye problemy obshchestva, ekonomiki i prava v kontekste globalnykh vyzovov : Sbornik statej II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Petrozavodsk, 23 yanvarya 2024 goda. – Petrozavodsk : Novaya Nauka, 2024. – S. 137–142. – EDN: CHHFHA.

8. Al-Msari, A.A.R.A. Riski resursoobespecheniya pri razrabotke metodov otsenki organizatsionno-tehnologicheskoy nadezhnosti kompleksnykh protsessov v stroitelstve / A.A.R.A. Al-Msari // Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – T. 20. – № 1(35). – S. 80–86. – DOI: 10.26200/GSTOU.2024.34.73.008. – EDN: XOLTWO.

9. TSapko, K.A. Formirovanie proizvodstvennoj programmy stroitel'noj organizatsii na osnove potochnogo metoda organizatsii stroitelstva / K.A. TSapko, N.F. Vostrikov // Vestnik Evrazijskoj nauki. – 2020. – T. 12. – № 4 [Electronic resource]. – Access mode : <https://esj.today/PDF/39SAVN420.pdf>.

Organizational and Technological Aspects of Applying the Flow Method in Integrated District Development

V.A. Murya, A.S. Snezhkov

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: flow method; integrated district development; organizational and technological solutions; construction scheduling; construction rhythm; work zone; construction flow; resource load.

Abstract. The aim of the study is to specify the organizational and technological conditions for applying the flow method in integrated microdistrict development. The objectives include the analysis of the regulatory framework, the comparison of Russian and international publications, the examination of flow parameters affecting construction duration, work rhythm, and resource loading, and the identification of criteria for assessing organizational and technological solutions. The hypothesis is that, in microdistrict development, the flow method yields the greatest organizational effect when it is assessed not by construction duration alone, but by a set of interrelated parameters. The study employs comparative analysis, literature systematization, regulatory interpretation, and the comparison of calculated and practical data. It is established that the application of the flow method reduces idle time, streamlines the sequence of facility commissioning, and requires an

integral assessment that takes into account construction duration, flow rhythm, continuity of crew operations, resource loading, and the coordinated commissioning of heterogeneous facilities.

© В.А. Муря, А.С. Снежков, 2026

УДК 69.05

Оценка конкурентоспособности технологий при устройстве свайных фундаментов под резервуары на территории АЗРФ

И.П. Стоянов, Е.В. Дехтярь

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: Арктическая зона Российской Федерации; возведение свайных фундаментов; конкурентоспособность технологии; многолетнемерзлые грунты; резервуары вертикальные стальные; технология и организация строительства.

Аннотация. Возведение свайных фундаментов под РВС на территории АЗРФ позволяет добиться высокой степени механизации строительно-монтажных работ, уменьшить объем земляных работ, сократить расход бетона и арматуры, а также увеличить культуру производства. В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 26.10.2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» необходимо: повышение уровня защищенности критически важных и потенциально опасных объектов, обеспечение устойчивости их функционирования при чрезвычайных ситуациях в арктических условиях.

Цель исследования заключается в систематизации существующих методов оценки конкурентоспособности технологий в строительном производстве с последующей разработкой методики их выбора.

Задачи исследования заключаются в формировании факторного пространства, составлении матрицы конкурентоспособности и разработке метода оценки, выбора наиболее конкурентоспособной технологии возведения свайных фундаментов под РВС на территории АЗРФ.

Для определения уровня конкурентоспособной технологии возведения свайных фундаментов под РВС на территории АЗРФ используем комплексный метод. Сперва путем проведения экспертного опроса отбираем значимые показатели, затем формируем факторное пространство для определения значимости факторов, влияющих на конкурентоспособность технологии устройства свайных фун-

даментов под РВС на территории АЗРФ. Далее составляем матрицу конкурентоспособности технологии по группам факторов.

Гипотеза исследования заключается в том, что применении комплексного метода оценки конкурентоспособности технологии позволит добиться сокращения сроков производства строительно-монтажных работ.

Результаты исследования заключаются в разработке метода оценки конкурентоспособности технологии, сформулирован метод выбора наиболее конкурентоспособной технологии возведения свайного фундамента под РВС на территории АЗРФ.

Введение

Огромная доля добытой, переработанной и хранимой нефти и нефтепродуктов находится в резервуарах вертикальных стальных (РВС) [1] (рис. 1.).

Нефтяная промышленность является одним из основных направлений конкурентоспособности Российской Федерации на международном уровне. Обнаружение колоссальных шельфовых запасов нефти объемом 57 мл. тонн на территории Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) куда в соответствии с указом в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 02.05.2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» входят: все районы Чукотского автономного округа, Ямало-Ненецкого автономного округа, Мурманской области, Ненецкого автономного округа; части Республики Саха, Республики Карелия, Республики Коми, Красноярского края, Архангельской области; земли и острова расположенные в Северном Ледовитом океане [2].

Возведение свайных фундаментов под РВС на территории АЗРФ позволяет добиться высокой степени механизации строительно-монтажных работ, уменьшить объем земляных работ, сократить расход бетона и арматуры, а также увеличить культуру производства [3]. В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 26.10.2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» в пп. «14» необходимо: повышение уровня защищенности критически важных и потенциально опасных объектов, обеспечение устойчивости их функционирования при чрезвычайных ситуациях в арктических условиях [4]. Решение данных задач автор видит в повышении ресурсной эффективности, что достигается путем выбора конкурентоспособной технологии строительства.

Цель исследования заключается в систематизации существующих методов оценки конкурентоспособности технологий в строительном производстве с последующей разработкой методики их выбора.

Задачи исследования заключаются в формировании факторного пространства, составлении матрицы конкурентоспособности и разработке метода оценки, выбора наиболее конкурентоспособной технологии возведения свайных фундаментов под РВС на территории АЗРФ.

Содержание

Конкурентоспособность технологии в строительстве заключается в способности данной технологии обеспечить ее преимущество перед другими технологиями в определенных ре-

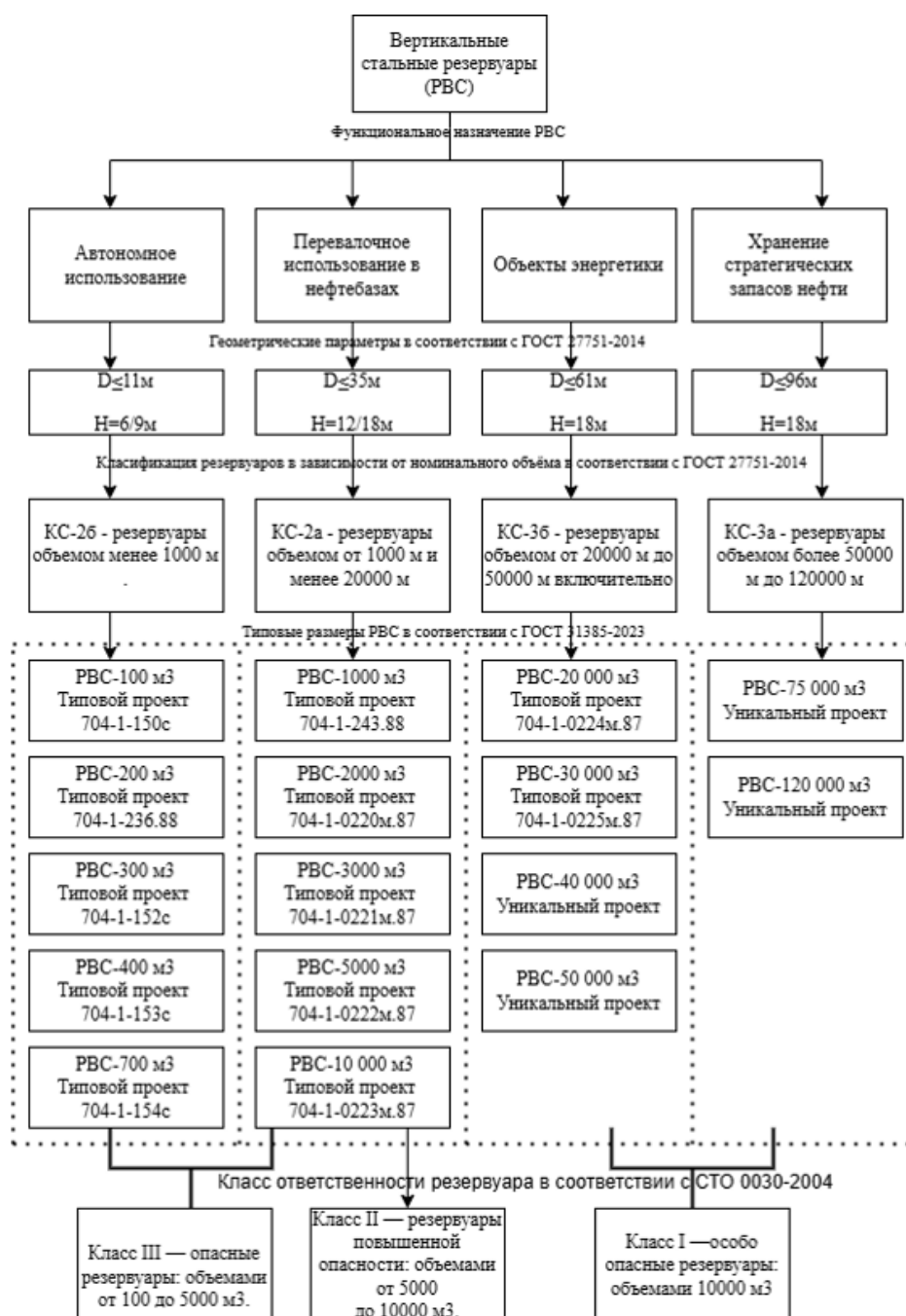


Рис. 1. Классификация PBC возводимых на территории АЗРФ

гиональных условиях и достигнуть требуемых характеристик строительного продукта.

Проблема оценки уровня конкурентоспособности технологии возведения свайного фундамента под PBC на территории АЗРФ обусловлена особенностями строительства как отрасли материального производства:

- большом разнообразии конструктивных решений, неподвижности, территориальной разобщенности его продукции;
- изменчивости климатических и географических условий строительства.

Существуют различные методы определения уровня конкурентоспособности техноло-

Таблица 1. Факторное пространство для определения конкурентоспособности технологии устройства свайных фундаментов под РВС на территории АЗРФ

Группы факторов	№ параметра	Наименование показателей по группам факторов
Технологические (F1)	X ₁	1. Комплексная технологичность
	X ₂	2. Организационно-технологическая надежность
	X ₃	3. Трудоемкость выполняемых работ.
	X ₄	4. Энерговооруженность рабочих
	X ₅	5. Механовооруженность (степень механизации технологии)
	X ₆	6. Экологичность технологии
	X ₇	7. Транспортная технологичность конструкций
	X ₈	8. Технологичность строительных конструкций
	X ₉	9. Уровень цифровизации технологии
	X ₁₀	10. Материалоемкость единицы продукции
Экономические (F2)	X ₁₁	11. Стоимость погружения единицы длины сваи
	X ₁₂	12. Экономический эффект от применения технологии
	X ₁₃	13. Приведенные затраты
	X ₁₄	14. Фондоотдача в подрядных строительных организациях
	X ₁₅	15. Доля расходов на НИОКР
	X ₁₆	16. Уровень удельной рентабельности
Организационные (F3)	X ₁₇	17. Коэффициент совмещения работ
	X ₁₈	18. Качество инженерных изысканий решений
	X ₁₉	19. Качество проектной документации
	X ₂₀	20. Качество организационно-технологических решений
	X ₂₁	21. Качество трудовых ресурсов
	X ₂₂	22. Применение поточных методов
Потенциал узкоспециализированной организации (F4)	X ₂₃	23. Продолжительность развертывания мощностей
	X ₂₄	24. Квалификация инженерно-технических работников
	X ₂₅	25. Количество мобильных элементов в строительной организации
	X ₂₆	26. Интенсивность строительства объекта
	X ₂₇	27. Прирост производительности труда, в результате увеличения объемов СМР и изменения численности работников
	X ₂₈	28. Прирост производительности труда, в результате лучшего использования фонда рабочего времени
	X ₂₉	29. Квалификация инженерно-технических работников
	X ₃₀	30. Степень маневренности (мобильности)
	X ₃₁	31. Коэффициент использования квалификации
	X ₃₂	32. Доля рекламаций
	X ₃₃	33. Производительность труда сдельщика

Таблица 1. Факторное пространство для определения конкурентоспособности технологии устройства свайных фундаментов под РВС на территории АЗРФ (продолжение)

Группы факторов	№ параметра	Наименование показателей по группам факторов
Характеристики строительного продукта (F5)	X_{34}	34. Вид хранимой жидкости (нефть, бензин, дизельное топливо)
	X_{35}	35. Геометрические характеристики РВС
	X_{36}	36. Температура хранения продукта
	X_{37}	37. Среднегодовой объем ввода РВС на территории АЗРФ
	X_{38}	38. Конструктивные решения днища РВС
Характеристики региональных условий строительства свайных фундаментов под РВС (F6)	X_{39}	39. Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов (ММГ) на глубине нулевых годовых амплитуд
	X_4	40. Глубина сезонного протаивания и промерзания
	X_{41}	41. Температура грунта по длине сваи
	X_{42}	42. Тип грунта (песчаный, глинистый, засоленный, сильнольдистый с содержанием органики)
	X_{43}	43. Допустимая сезонность проведения работ
	X_{44}	44. Ограниченность работ (световой день, скорость ветра и т.д.)
	X_{45}	45. Транспортная доступность объекта

гии: дифференциальный метод заключается в использовании показателей экономичности путем сравнения отношения показателей нового и эталонного образца; комплексный метод заключается в использовании комплексных показателей (интегральных, групповых) путем сравнения нового и эталонного значения; смешанный метод заключается в совместном использовании единичных и комплексных показателей [5–9].

Для определения уровня конкурентоспособной технологии возведения свайных фундаментов под РВС на территории АЗРФ используем комплексный метод. Сперва путем проведения экспертного опроса отбираем значимые показатели, затем формируем факторное пространство для определения значимости факторов, влияющих на конкурентоспособность технологии устройства свайных фундаментов под РВС на территории АЗРФ [10–11] (табл. 1.).

Далее составляем матрицу конкурентоспособности технологии по группам факторов [12–13] (табл. 2).

Методика выбора наиболее конкурентоспособной технологии.

Представим совокупность рассматриваемых технологий как вектор-столбец:

$$TL = \begin{pmatrix} tl_1 \\ tl_2 \\ \dots \\ tl_m \end{pmatrix} = (tl_i), \quad i = \overline{1, m}, \quad m \in \mathbb{N}, \quad (1)$$

где TL – вектор-столбец рассматриваемых технологий; tl_i – i -я технология.

Таблица 2. Матрица конкурентоспособности технологии возведения свайных фундаментов под РВС на территории АЗРФ

№ технологии	Технологически факторы	Экономические факторы	Организационные факторы	Потенциал узкоспециализированных организаций	Характеристики строительного продукта	Характеристики региональных условий
T ₁ (буро-опускной метод)						
T ₂ (опускной метод)						
T ₃ (забивной метод)						
T ₄ (буро-забивной метод)						

Также зададим вектор-строку критериев, по которым будут оцениваться рассматриваемые технологии:

$$KCI = (kci_1, kci_2, \dots, kci_n) = (kci_j), \quad j = \overline{1, n}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (2)$$

где KCI – вектор-строка критериев оценки рассматриваемых технологий; kci_j – j -й критерий оценки технологии.

Определим соответствие i -й технологии j -му критерию как величину k_{ij} и представим данные значения в виде матрицы:

$$K_{m \times n} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ k_{m1} & k_{m2} & \dots & k_{mn} \end{pmatrix} = (k_{ij}). \quad (3)$$

Конкурентоспособность каждой технологии можно представить как некоторую сумму ее составляющих, которые назовем «элементарными конкурентоспособностями», по каждому из рассматриваемых критериев:

$$kc_i = ekc_{i1} + ekc_{i2} + \dots + ekc_{in} = \sum_{j=1}^n ekc_{ij}, \quad (4)$$

где kc_i – конкурентоспособность i -й технологии; ekc_{ij} – элементарная конкурентоспособность i -й технологии по j -му критерию.

Элементарную конкурентоспособность будем определять как следующее произведение:

$$ekc_{ij} = k_{ij} \cdot w_j, \quad (5)$$

где w_j – удельный вес j -го критерия оценки. Удельный вес критерия отражает его значимость. Совокупность таковых для всех применяемых критериев может быть представлена аналогично (1) и (2):

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n) = (w_j), \quad (6)$$

где W – вектор-строка удельных весов критериев.

Тогда можно выразить конкурентоспособность рассматриваемой группы технологии в следующем виде [14–15]:

$$(kc_i) = \begin{pmatrix} kc_1 \\ kc_2 \\ \dots \\ kc_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^n ekc_{1n} \\ \sum_{j=1}^n ekc_{2n} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n ekc_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11} \cdot w_1 + k_{12} \cdot w_2 + \dots + k_{1n} \cdot w_n \\ k_{21} \cdot w_1 + k_{22} \cdot w_2 + \dots + k_{2n} \cdot w_n \\ \vdots \\ k_{m1} \cdot w_1 + k_{m2} \cdot w_2 + \dots + k_{mn} \cdot w_n \end{pmatrix} = K \times W^T = KC. \quad (6)$$

Заключение

Автором проанализированы методы оценки конкурентоспособности технологии и сформулирован метод выбора наиболее конкурентоспособной технологии возведения свайного фундамента под РВС на территории АЗРФ, плюсом данного метода является его универсальность и высокая адаптивность.

Дальнейшее развитие данного исследования заключается, по мнению автора, в составлении методических рекомендации по поиску резервов технологии и пути их повышения.

Литература

1. СП 365.1325800.2017. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для хранения нефтепродуктов. Правила производства и приемки работ при монтаже [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/17d/SP-365.pdf>.
2. О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации № 296 от 02.05.2014 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/38377>.
3. Лapidус, А.А. Метод возведения монолитных конструкций в условиях Арктики с применением технологий нейронного моделирования и искусственного интеллекта / А.А. Лapidус. – М. : АСВ, 2024. – 122 с.
4. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года : Указ Президента Российской Федерации № 645 от 26.10.2020 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972>.

5. Mowers, M. An evaluation of electricity system technology competitiveness metrics: The case for profitability / M. Mowers, T. Mai // *The Electricity Journal*. – 2021. – No. 34(4). – DOI: 10.1016/j.tej.2021.106931.
6. Wu, W.Y. Contextualizing competitive advantage in emerging markets: A qualitative study of company competitiveness in Laos / W.Y. Wu, K.Z. Ya, W.S. Chang, A. Phonvisay, V. Chanthanasinh, X. Kongmanila et al. // *Asia Pacific Management Review*. – 2025. – DOI: 10.1016/j.apmr.2025.100393.
7. Daskevic, D. Distribution logistics technologies applied in the management of logistics operation to increase business competitiveness / D. Daskevic, A. Burinskiene // *IFAC-PapersOnLine*. – 2025. – No. 59(10). – P. 7–12. – DOI: 10.1016/j.ifacol.2025.09.003.
8. Liu, S.T. Employing a hierarchical data envelopment analysis to evaluate the competitiveness of listed companies in Indonesia / S.T. Liu, C.H. Huang, D.N. Danarsari, P.A. Widyastaman, Y.S. Huang // *Asia Pacific Management Review*. – 2026. – No. 31(1). – DOI: 10.1016/j.apmr.2025.100387.
9. Wu, W.Y. Ranking mechanisms for assessing the competitiveness of listed companies in the Philippines: A comparative analysis / W.Y. Wu, W.S. Chang, Y.K. Liao, P. Sudjai, R. Lizares, L. Rahnema et al. // *Asia Pacific Management Review*. – 2025. – DOI 10.1016/j.apmr.2025.100394.
10. Stoianov, I.P. Factor space for construction of pile foundations in permafrost soils / I.P. Stoianov // *Real Estate Economics Management*. – 2024. – № 1. – P. 51–54.
11. Спирин, А.С. Специализированное программное обеспечение для решения организационно-технологических задач строительства методом экспертных оценок / А.С. Спирин, И.П. Стоянов, А.К.-М. Кагбе // *Вестник евразийской науки*. – 2025. – Т. 17. – № 6.
12. Ефимов, Н.В. Квадратичные формы и матрицы. Общая теория линий второго порядка. Общая теория поверхностей второго порядка. Линейные преобразования и матрицы / Н.В. Ефимов. – М. : Ленанд, 2021. – 160 с.
13. Александров, П.С. Введение в общую теорию множеств и функций / П.С. Александров. – М. : Ленанд, 2022. – 416 с.
14. Лузин, Н.Н. Интегральное исчисление / Н.Н. Лузин. – М. : Ленанд, 2017. – 416 с.
15. Лузин, Н.Н. Теория функций действительного переменного / Н.Н. Лузин. – М. : Ленанд, 2023. – 320 с.

References

1. SP 365.1325800.2017. Rezervuary vertikalnye tsilindricheskie stalnye dlya khraneniya nefteproduktov. Pravila proizvodstva i priemki rabot pri montazhe [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/17d/SP-365.pdf>.
2. O sukhoputnykh territoriyakh Arkticheskoy zony Rossijskoj Federatsii : Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federatsii № 296 ot 02.05.2014 g. [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/38377>.
3. Lapidus, A.A. Metod vozvedeniya monolitnykh konstruksij v usloviyakh Arktiki s primeneniem tekhnologij nejronnogo modelirovaniya i iskusstvennogo intellekta / A.A. Lapidus. – М. : ASV, 2024. – 122 s.
4. O Strategii razvitiya Arkticheskoy zony Rossijskoj Federatsii i obespecheniya natsionalnoj bezopasnosti na period do 2035 goda : Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federatsii № 645 ot 26.10.2020 g. [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972>.
11. Spirin, A.S. Spetsializirovannoe programmnoe obespechenie dlya resheniya organizatsionno-tekhnologicheskikh zadach stroitelstva metodom ekspertnykh otsenok / A.S. Spirin, I.P. Stoyanov, A.K.-M. Kagbe // *Vestnik evrazijskoj nauki*. – 2025. – Т. 17. – № 6.

12. Efimov, N.V. Kvadratichnye formy i matritsy. Obshchaya teoriya linij vtorogo poryadka. Obshchaya teoriya poverkhnostej vtorogo poryadka. Linejnye preobrazovaniya i matritsy / N.V. Efimov. – M. : Lenand, 2021. – 160 s.

13. Aleksandrov, P.S. Vvedenie v obshchuyu teoriyu mnozhestv i funktsij / P.S. Aleksandrov. – M. : Lenand, 2022. – 416 s.

14. Luzin, N.N. Integralnoe ischislenie / N.N. Luzin. – M. : Lenand, 2017. – 416 s.

15. Luzin, N.N. Teoriya funktsij dejstvitel'nogo peremennogo / N.N. Luzin. – M. : Lenand, 2023. – 320 s.

Assessment of the Competitiveness of Technologies for Constructing Pile Foundations for Storage Tanks at the AZRF Site

I.P. Stoianov, E.V. Dekhtiar

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: construction technology and organization; construction of pile foundations; vertical steel tanks; permafrost; the Arctic region of the Russian Federation; technological competitiveness.

Abstract. The construction of pile foundations for the vertical steel tanks on the AZRF site allows for a high degree of mechanization in construction and installation work, reduces the volume of earthwork, cuts down on concrete and rebar consumption, and improves production standards. In accordance with Decree No. 645 of the President of the Russian Federation dated October 26, 2020 “On the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and Ensuring National Security for the Period up to 2035,” it is necessary to: enhance the level of protection for critical and potentially hazardous facilities and ensure the continuity of their operations during emergencies in Arctic conditions. The aim of this study is to systematize existing methods for assessing the competitiveness of technologies in the construction industry, followed by the development of a methodology for selecting them. The objectives of this study are to construct a factor space, develop a competitiveness matrix, and devise a method for evaluating and selecting the most competitive technology for constructing pile foundations for gas storage facilities in the AZRF region. To determine the level of competitiveness of the technology for constructing pile foundations for vertical steel tanks in the AZRF region, we use a comprehensive method. First, we identify key indicators through an expert survey; then, we construct a factor space to determine the significance of the factors influencing the competitiveness of the technology for constructing pile foundations for vertical steel tanks in the AZRF region. Next, we construct a technology competitiveness matrix by factor groups. The hypothesis of this study is that the use of a comprehensive method for assessing the competitiveness of a technology will lead to a reduction in the time required to complete construction and installation work. The results of the study include the development of a method for assessing the competitiveness of technologies, and a method has been formulated for selecting the most competitive technology for constructing pile foundations for underground utility lines within the AZRF territory.

© И.П. Стоянов, Е.В. Дехтярь, 2026

УДК 658.5

Интеграция технологий геопро пространственного контроля (BIM, лазерное сканирование, фотограмметрия) в методику проверки соответствия строительных работ

Т.Э. Хаев, Н.П. Егорова

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: автоматизация; геопро пространственный контроль; информационное моделирование зданий (BIM); лазерное сканирование; строительный контроль; фотограмметрия; цифровой двойник.

Аннотация. Целью исследования является разработка и экспериментальная верификация интегрированной методики автоматизированной проверки соответствия строительных работ проектной документации на основе BIM, лазерного сканирования и фотограмметрии.

Задачи включают анализ сильных сторон и ограничений каждой технологии, создание алгоритма синхронизации и сопоставления проектных и фактических данных, определение точек интеграции на этапах строительства, а также оценку точности, полноты и временной эффективности методики.

Гипотеза заключается в том, что интеграция трех технологий в единый геопро пространственный контур позволяет за счет автоматизации и формализации критериев преодолеть субъективность и низкую производительность традиционных методов контроля.

В работе использованы методы виртуального моделирования, симуляции лазерного сканирования (плотность точек 2–20 точек/см²) и фотограмметрической 3D-реконструкции с последующим сравнением с эталонной BIM-моделью.

Достигнутые результаты: полнота выявления критических отклонений (> 20 мм) составила 99,3 %, для отклонений 3–10 мм – 87,2 %; среднеквадратическая погрешность измерений – 1,8 мм для лазерного сканирования и 3,4 мм для фотограмметрии; общий цикл контроля сокращается в 2,1–2,7 раза, а расчетное снижение затрат на контроль качества достигает 28–35 %.

Традиционные методы контроля строительных работ, такие как визуальный осмотр и выборочные замеры, имеют ограничения из-за субъективности оценок и временных затрат. Особенно сложно контролировать нелинейные архитектурные формы и скрытые коммуникации, где точность фиксации отклонений составляет 10–15 мм. Экономические потери от переделок из-за несвоевременного выявления ошибок достигают 7–12 % от стоимости проекта. Внедрение технологий, объединяющих геодезию, информационное моделирование и компьютерное зрение, отвечает современным требованиям и решает эти проблемы.

Исследование основано на синергии трех технологий: *BIM* для нормативной геометрии, лазерного сканирования для высокоточных облаков точек и фотограмметрии для мониторинга. Каждая технология компенсирует недостатки других: сканирование обеспечивает точность в статике, фотограмметрия – динамику на протяженных объектах. Их интеграция создает платформу для четырехмерного анализа.

Цель исследования – разработать и проверить методику геопространственного контроля, объединяющую данные *BIM*, лазерного сканирования и фотограмметрии для автоматического выявления отклонений. Особое внимание уделяется оптимизации интеграции цифровых инструментов на всех этапах, от подготовки контрольных сечений до формирования актов приема.

Практическая значимость связана с потенциалом сокращения времени контрольных операций на 30–40 % посредством автоматизации рутинных процессов сравнения и формирования отчетности.

В строительстве ключевыми технологиями геопространственного контроля являются *BIM*, лазерное сканирование и фотограмметрия. *BIM* создает единую цифровую модель объекта, обеспечивая согласованность данных. Лазерное сканирование фиксирует состояние объекта с миллиметровой точностью. Фотограмметрия оперативно документирует работы через ортофотопланы и 3D-модели, эффективна при съемке больших площадей. Эти технологии интегрируются для комплексного контроля на всех стадиях строительства, дополняя друг друга.

Геопространственные технологии превосходят традиционные методы контроля за счет большей полноты и плотности данных, что снижает риск пропуска дефектов. Они повышают точность измерений и устраняют субъективность визуальных инспекций. Цифровая природа данных облегчает их хранение, обработку и автоматизацию, ускоряя цикл контроля и отчетности. В итоге интеграция этих технологий улучшает оперативность и эффективность строительных инспекций.

Геопространственные технологии эволюционировали, позволяя объединить инструменты. Для их адаптации к стандартам необходимы методики интеграции данных и унификации верификации. Это обеспечит их внедрение и соответствие строительным регламентам. Подробнее рассмотрим каждую из технологий.

1. Современные *BIM*-системы оснащены инструментами автоматизированного выявления отклонений, включая сверку проектных и исполнительных объемов, проверку коллизий и контроль соответствия спецификаций. «Контроль объемов работ посредством 3D модели позволяет безошибочно и быстро определять, какие работы выполнены в заданный промежуток времени, и своевременно подписывать акты выполненных работ у заказчика» [4, с. 65]. Такие возможности повышают прозрачность учета выполненных работ и ускоряют процессы приемки. Автоматизированные визуализации отклонений облегчают интерпретацию результатов для всех заинтересованных сторон. Функционал *BIM* включает настройку правил сопоставления, установление допустимых отклонений и порогов тревоги, что позволяет адаптировать проверки под требования конкретного проекта. Интегрированные сред-

Таблица 1. Сравнительный анализ технологий геопространственного контроля

Параметр	Традиционные методы (визуальный осмотр, ручные замеры)	BIM (информационное моделирование)	Лазерное сканирование	Фотограмметрия (на основе БПЛА)
Точность измерений	10–20 мм	Зависит от модели (идеальная)	1–5 мм	5–15 мм (в зависимости от условий)
Скорость сбора данных	Низкая (зависит от объема работ)	Высокая (цифровая среда)	Высокая (до 1 млн точек/сек)	Очень высокая (покрытие больших площадей)
Полнота данных	Выборочная, точечная	Полная (проектная модель)	Полная (плотное облако точек)	Высокая (визуальное покрытие)
Субъективность	Высокая	Низкая (параметрическая модель)	Низкая (автоматизированный сбор)	Средняя (зависит от обработки)
Этап применения	Все этапы, но ограничено	Проектирование, планирование	Исполнение, контроль, мониторинг	Мониторинг, документирование
Основной продукт	Акты, журналы, эскизы	3D-модель, чертежи, спецификации	Облако точек (.pts, .las)	Ортофотоплан, 3D-модель, текстуры

ства отчетности и анализа автоматически формируют документацию установленного вида, включая акты освидетельствования и ведомости несоответствий. Визуальные сопоставления проектного и фактического состояния, представленные в формате интерактивных карт отклонений и сравнительных схем, обеспечивают наглядность и однозначность интерпретации результатов. Экспорт итоговых данных в общепринятые форматы (*PDF, IFC, Excel*) упрощает их передачу в системы управления качеством и ускоряет процедуры согласования и принятия управленческих решений. Связь *BIM* с геодезическими методами обеспечивается через общее координатное пространство, в котором цифровая модель привязывается к реальной местности с использованием опорных геодезических знаков. Данные лазерного сканирования и фотограмметрические съемки служат для верификации фактического положения конструкций и своевременного обновления исполнительных моделей. Двусторонний обмен информацией между обновленной *BIM*-средой и полевыми замерами позволяет оперативно регистрировать расхождения и документировать их для последующего устранения. Данный подход повышает объективность контрольных операций и снижает вероятность ошибок при приемке завершенных строительных работ.

2. Лазерное сканирование. Наземное лазерное сканирование обеспечивает высокую плотность точек (до нескольких тысяч на квадратный метр) и точность измерений в пределах 1–5 мм, что оптимально для детальной фиксации сложных архитектурных элементов, в свою очередь воздушное лазерное сканирование, реализуемое с дронов или самолетов, характеризуется меньшей плотностью данных, но охватывает обширные территории со скоростью до 1 км² в час. Ключевое различие между методами заключается в сферах применения: наземные системы используются для интерьерных работ и объектов с насыщенной инфраструктурой, а воздушные – для топографической съемки и масштабных линейных сооружений. Выбор технологии сканирования определяется требованиями проекта: наземные сканеры незаменимы при контроле скрытых элементов конструкций в стесненных условиях,

Таблица 2. Области применения лазерного сканирования на этапах строительства

Этап строительства	Цель применения	Тип сканирования	Пример использования
Подготовительный	Съемка рельефа, существующих условий	Воздушное (БПЛА)	Топографическая съемка площадки
Возведение фундамента	Контроль геометрии котлована, опалубки	Наземное	Проверка отклонений по осям
Монтаж конструкций	Верификация положения колонн, балок, плит	Наземное, мобильное	Сравнение с BIM-моделью
Инженерные сети	Контроль прокладки коммуникаций	Наземное (в помещениях)	Обнаружение коллизий
Отделка и фасады	Проверка плоскостности, геометрии сложных элементов	Наземное + БПЛА	Контроль кривизны, зазоров
Приемка и мониторинг	Фиксация «как построено» (<i>as-built</i>), деформационный анализ	Комбинированное	Формирование цифрового двойника

тогда как воздушные эффективны для мониторинга высотных объектов и труднодоступных участков. Комбинирование обоих методов позволяет создать цифровой двойник объекта с полным охватом геометрии. Технологическая гибкость лазерного сканирования обеспечивает его применение на всех стадиях строительства от геодезической разбивки до приемочных испытаний. Области применения лазерного сканирования представлены в табл. 2.

Результаты лазерного сканирования позволяют отслеживать деформации конструкций в реальном времени, вызванные внешними факторами. «Воздействие температурных факторов на бетонную плотину продолжается и в эксплуатационный период. Основные действующие на конструкцию температурные воздействия – это температура воздуха; температура воды водохранилища и нижнего бьефа; тепловое воздействие со стороны основания плотины и солнечная радиация. Эти температурные факторы вызывают дополнительные деформации и температурные напряжения, что может ухудшать состояние плотины от основных действующих нагрузок» [1, с. 1026]. Сравнение последовательных сканов выявляет динамику изменений, обеспечивая основу для оперативного устранения несоответствий до возникновения критических ситуаций.

3. Фотограмметрия. Использование беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки обеспечивает оперативное документирование хода строительства за счет возможности регулярного сбора изображений с высокой покрывающей плотностью. Автоматизация полетных планов и повторяемость съемки создают временные ряды данных для мониторинга прогресса и соблюдения графика. Высокая детализация аэрофотосъемки помогает визуально оценивать состояние площадки, выявлять нарушения и контролировать безопасность. Интеграция данных с геопривязкой обеспечивает сопоставимость снимков. Обработка включает калибровку, построение плотного облака точек и генерацию цифровых моделей. Ортофотопланы служат для планиметрических измерений и привязки к документации. Продукты совместимы с системами BIM. Точность 3D-реконструкции зависит от параметров съемки и условий освещения. В сложных зонах, таких как тени и однородные поверхности, фотограмметрию комбинируют с лазерным сканированием. Подготовка данных включает фильтрацию шума и классификацию элементов для интеграции с BIM-моделями.

Таблица 3. Интеграция технологий на различных этапах жизненного цикла строительного объекта

Этап строительства	Точка интеграции	Технология (инструмент)	Цель применения
Проектирование	Создание эталонной модели	<i>BIM</i>	Формирование цифрового эталона для контроля
	Определение контрольных точек и сечений	<i>BIM</i> + геодезия	Подготовка к пространственной привязке и контролю
Вынос в натуру	Привязка в модели к местности	<i>BIM</i> + <i>GNSS</i>	Обеспечение соответствия проектных координат реальным
	Контроль разбивочных работ	Лазерное сканирование	Верификация правильности вынесения осей и контуров
Возведение	Оперативный мониторинг хода работ	Фотограмметрия (БПЛА)	Быстрая фиксация прогресса и выявление грубых отклонений
	Детальная проверка геометрии конструкций	Лазерное сканирование	Прецизионный контроль размеров, плоскостности, положения
	Актуализация исполнительной модели	<i>BIM</i>	Обновление цифровой модели по фактическим данным
Приемка	Итоговый комплексный контроль	Все технологии (<i>BIM</i> + сканирование + фотограмметрия)	Полная верификация соответствия объекта проекту
	Формирование отчетной документации	<i>BIM</i> + аналитические инструменты	Автоматическая генерация актов, ведомостей, визуализация

Верификация точности реконструкции обязательна.

Фотограмметрические данные позволяют количественно анализировать объемы работ: рассчитывать перемещение грунта, объемы насыпей и выемок, а также оценивать выполнение конструктивных элементов с привязкой ко времени. Сравнение последовательных съемок выявляет изменения, отклонения от графика и помогает корректировать работы. Специальные инструменты сопоставляют облака точек и цифровые модели, рассчитывая разницу объемов и оценивая отклонения от проектных данных. Это создает объективную основу для проверки соответствия выполненным работ требованиям. Интеграция результатов в систему контроля повышает прозрачность и точность отчетности о ходе строительства.

Цифровые технологии повышают точность измерений и уменьшают субъективность благодаря интеграции 3D-моделей и автоматизированной обработки данных. *BIM*, лазерное сканирование и фотограмметрия сопоставляют проектные и фактические данные, ускоряя выявление отклонений. Реализация таких решений должна соответствовать нормативным требованиям точности и процедурам верификации для официального признания результатов.

Синхронизация временных меток *BIM*-моделей с геопространственными данными обеспечивает поэтапную верификацию работ на основе хронологии строительства. Необходи-

Таблица 4. Параметры виртуальной тестовой среды

Параметр моделирования	Значение/Диапазон	Характеристика
Тип виртуального объекта	Административно-деловой комплекс	Условный объект средней сложности
Уровень детализации <i>BIM</i> (<i>LOD</i>)	350–400	Соответствует стадии «Рабочая документация»
Количество конструктивных элементов	1 200 единиц	Включая колонны, стены, перекрытия, сети
Категории моделируемых отклонений	3 типа: допустимые, пограничные, критические	Градация по нормам СП 126.13330.2017
Диапазон внесенных отклонений	3–35 мм	От минимальных до превышающих допуск
Плотность облака точек (эмуляция)	2–20 точек/см ²	Имитация разных сканеров
Система координат	Условная МСК-100	Локальная система для экспериментов

мо сопоставить версии *BIM*, метки времени на облаках точек и параметры фотосессий для привязки замеров к этапам объекта. Это позволяет автоматически сравнивать проектную и фактическую информацию, оперативно выявляя отклонения. Для корректной работы требуется установить единые стандарты временных зон, определить частоту фиксации данных и внедрить контроль качества временных меток.

Контрольные сечения оптимизируются путем совмещения *BIM*-модели с точками лазерного сканирования, что сокращает объем измерений и фокусирует проверку на значимых участках. Заданные в модели плоскости накладываются на срезы облаков точек для оценки соответствия геометрии конструкций. Это снижает избыточность данных и повышает точность контроля. Необходима точная трансформация координат и проверка регистрации для обеспечения сопоставимости *BIM* и данных сканирования. Фотограмметрия заполняет пространственные лакуны в зонах ограниченного доступа, интегрируясь с лазерными данными для полной геометрической репрезентации. Для корректной компоновки согласовываются масштаб, опорные точки и метаданные, сохраняя метрическую точность. Протоколы передачи данных между платформами обеспечивают целостность и совместимость *BIM*, сканирования и фотограмметрии.

«Проектирование зданий путем создания информационного двойника означает обработку полученной информации о здании со всеми его связями и зависимостями, когда здание и все то, что имеет к нему отношение, рассматривается как единый объект» [7, с. 9]. Протоколы должны включать форматы обмена, метаданные временных меток, сведения о версии и об источнике данных, а также механизмы контроля целостности и аутентификации файлов. Внедрение таких протоколов обеспечивает воспроизводимость сопоставлений проектных и фактических данных и создает основу для автоматизированной проверки соответствия с сохранением истории изменений.

Алгоритм автоматизированного сопоставления *BIM* и облака точек представлен в табл. 3.

Алгоритмическая обработка фотограмметрических данных компенсирует оптические искажения через модель калибровки камеры, аппроксимируя радиальные и тангенциаль-

ные искажения и оптимизируя параметры для геометрической согласованности снимков. После калибровки фильтруются шумы и выполняется плотная реконструкция, при необходимости вводятся контрольные точки для метрической привязки. Корректированные модели и облака сопоставляются с *BIM* для уменьшения систематических ошибок.

Структурирование этапов контроля предполагает последовательное объединение процессов от первичной съемки до формирования отчетов об отклонениях. На этапе первичной съемки реализуется сбор исходных геопространственных данных с использованием лазерного сканирования и фотограмметрии с фиксацией геопривязки и параметров съемки. Следующий этап включает обработку и регистрацию облаков точек, выравнивание с проектной *BIM*-моделью и автоматизированное выявление расхождений по заданным допускам. Финальным шагом является генерация структурированных отчетов с привязкой обнаруженных отклонений к элементам *BIM*-модели и подготовкой рекомендаций по корректирующим мероприятиям.

Частота контрольных замеров должна зависеть от стадии строительства, критичности работ и требуемой точности. На этапах земляных работ и фундамента замеры проводят чаще на начальных этапах и после значимых операций. Для монолитных конструкций и монтажа замеры выполняют периодически, увеличивая частоту при ответственных узлах. На стадиях отделки и инженерного оборудования контроль выборочный, с учетом допусков и предыдущих проверок. Регламенты должны включать три уровня замеров: регулярный, расширенный и аварийный, с четкими критериями перехода.

Интеграция протоколов визуализации расхождений в *BIM*-среде автоматически отображает отклонения через цветовые карты, векторные отметки и аннотации, привязанные к элементам модели. Визуализация опирается на сопоставление проектных данных и фактических облаков точек с многоканальными уровнями допусков. Фотограмметрические изображения улучшают наглядность и верификацию дефектов. Система связана с управлением несоответствиями, включая автоматическую генерацию задач и отслеживание их статуса. Интеграция с документацией и планами синхронизирует корректирующие мероприятия с графиком и сметой. Регистрация данных и проверок в единой среде обеспечивает прослеживаемость и объективность решений. Формируется замкнутый цикл контроля.

Исследование основано на виртуальном моделировании с синтетическими данными, имитирующими реальный строительный объект. Разработана цифровая тест-среда с эталонной *BIM*-моделью административно-делового комплекса. Модель включала монолитные железобетонные конструкции, сборные элементы фасада и инженерные коммуникации. Параметры виртуальной тестовой среды представлены в табл. 4.

Эксперимент основан на нарушении геометрии цифрового прототипа с контролируемыми отклонениями: допустимыми, пограничными и критическими. Для создания облаков точек использовались алгоритмы, имитирующие лазерные сканеры с точностью от 1 мм до 5 мм. Условия съемки варьировались по плотности точек (2–20 точек на см²), углам обзора и наличию «мертвых зон».

Верификация включает сравнение результатов автоматизированного анализа с эталонными данными о внесенных отклонениях. Оценка эффективности основана на полноте обнаружения (процент выявленных отклонений), точности количественной оценки (среднеквадратическая погрешность) и временных показателях обработки данных.

Процедура моделирования полевых изысканий структурирована в соответствии с технологическими циклами строительного контроля. На первом этапе осуществлена генерация «идеального» облака точек на основе эталонной *BIM*-модели с применением детерминированных алгоритмов рендеринга, полученный массив данных послужил базой для последую-

щего искажения, имитирующего реальные погрешности строительства.

Для симуляции лазерного сканирования использовался модифицированный алгоритм обратного трассирования лучей с добавлением нормального шума. Параметры шума калибровались по характеристикам современных систем: погрешность позиционирования (1–3 мм), дальномера (2–4 мм) и угловая (0,001–0,005°). Учитывались артефакты: затенение, интерполяционные ошибки и многолучевое отражение.

Фотограмметрическое моделирование включало синтез фотореалистичных изображений и последующую реконструкцию трехмерной геометрии. Камера с калиброванными характеристиками перемещалась по заданным траекториям, перекрывая снимки на 70–85 %. Оптические искажения добавлялись через абберрации, атмосферные эффекты и изменения освещенности. Модель реконструировалась стандартными методами, что обеспечило реалистичный облачный массив с погрешностями, характерными для метода.

Синхронизация разнородных данных обеспечивалась через единую систему координат с внесением преднамеренных расхождений в позиционирование (до 5 мм) для проверки устойчивости алгоритмов регистрации. Общий объем тестовых данных составил свыше 500 миллионов точек, распределенных по 15 сценариям различной сложности.

Количественный анализ проводился по многоуровневой системе. На первом уровне оценивалась способность методики детектировать отклонения. Для расхождений более 20 мм полнота обнаружения составила 99,3 %, доля ложных срабатываний – 0,8 %. Для отклонений 10–20 мм показатели – 94,7 % и 2,1 %, для 3–10 мм – 87,2 % и 4,3 %. Точность оценки проверялась сравнением с эталоном. Среднеквадратическая погрешность для лазерного сканирования составила 1,8 мм, для фотограмметрии – 3,4 мм. Наибольшие расхождения (до 4,7 мм) наблюдались для криволинейных поверхностей. Статистический анализ подтвердил нормальный характер ошибок с нулевым математическим ожиданием.

Сравнительная оценка временных характеристик выявила нелинейную зависимость продолжительности анализа от сложности объекта и детализации данных. Полный цикл обработки для базового сценария (100 млн точек) занимал 47 минут на стандартной рабочей станции, при этом доля автоматизированных операций превышала 85 % общего времени. Ручная постобработка и верификация результатов требовала дополнительных 15–20 % временных ресурсов. Параллелизация вычислений и оптимизация алгоритмов позволили сократить время анализа на 34 % при обработке крупных массивов данных (свыше 300 млн точек).

Особый интерес представляют результаты оценки устойчивости методики к дефектам исходных данных. Тестирование на моделях с искусственно созданными лакунами (до 15 % от общего объема) показало сохранение полноты обнаружения на уровне 91–96 % в зависимости от расположения пропущенных зон. Регрессионный анализ подтвердил статистически значимую зависимость точности контроля от плотности облака точек ($R^2 = 0,89$) и уровня перекрытия сканов ($R^2 = 0,76$).

Сопоставительная оценка эффективности проводилась путем сравнения результатов, полученных по интегрированной методике, с показателями виртуального моделирования традиционных способов контроля. Для эмуляции классических методов были разработаны сценарии выборочного контроля с плотностью измерений 1 точка на 5–10 м² (соответствует типовой практике инструментальных проверок) и визуального осмотра с субъективной оценкой дефектов.

Интегрированная методика в 1,8–2,4 раза эффективнее традиционных методов в выявлении отклонений. Особенно значителен разрыв для скрытых дефектов и труднодоступных зон, где традиционные методы эффективны на 40–55 %. Комплексный подход обеспечивает

количественную и семантическую классификацию отклонений с автоматическим соотношением к конструктивным элементам и технологическим операциям.

Анализ показал, что при увеличении времени обработки данных на 60–80 % интегрированная методика сокращает общий цикл контроля в 2,1–2,7 раза благодаря минимизации полевых операций и автоматизации отчетности. Виртуальное моделирование подтвердило наибольший выигрыш на объектах сложной геометрии, где традиционные методы требуют частых выездов и повторных измерений.

Экономическое моделирование показало, что внедрение интегрированной методики контроля качества на среднем объекте капитального строительства снижает затраты на 28–35 %. Эффект достигается за счет раннего выявления отклонений, предотвращения ошибок и минимизации переделок.

Интегрированный подход позволяет проводить прогнозную аналитику. Алгоритмы машинного обучения, обученные на синтетических данных, выявляют закономерности возникновения отклонений с точностью 76–84 % для разных конструкций. Это дает возможность переходить от контроля после выявления проблем к превентивному управлению качеством и предотвращать несоответствия заранее.

Для успешного внедрения необходимо создать организационные условия, включающие формализацию нормативов и регламенты взаимодействия всех участников проекта. Требуется разработка стандартов обмена данными и критериев верификации результатов геопространственных измерений, обеспечивающих сопоставимость цифровых моделей и полевой информации. Важно закрепить ответственных лиц и утвердить процедуры приемки результатов контроля на каждом этапе строительства. Обязательным элементом является обучение персонала и развитие компетенций по работе с *BIM*-средами, лазерными сканерами и фотограмметрическим оборудованием. Параллельно должна быть развернута техническая инфраструктура, включающая средства сбора данных, специализированное программное обеспечение для обработки и систему хранения информации с контролем версий и качества данных. Внедрение должно сопровождаться планами по гарантийному сопровождению оборудования и поддержке *IT*-инфраструктуры для поддержания стабильности процессов контроля.

Рекомендуется поэтапно внедрять методику, начиная с пилотных проектов на типовых участках и постепенно масштабируя на весь объект. Приоритет отдается применению *BIM* на стадии проектирования для создания цифровой модели, лазерному сканированию для мониторинга позиций и геометрии, фотограмметрии для документирования и контроля. На каждом этапе важно валидировать данные и интегрировать результаты в единое информационное пространство для управленческих решений.

Критерии оценки эффективности внедрения должны включать: сокращение сроков проверок, повышение точности выявления отклонений и снижение количества рекламаций при приемке работ. «Использование дронов с поддержкой *RTK* позволяет существенно повысить точность, снизить затраты на сбор и обработку данных, а также ускорить создание топографических карт и *3D*-моделей» [6, с. 31]. Данные параметры оценки необходимо фиксировать на этапе пилотирования с последующим сравнительным анализом до и после внедрения методики для объективной валидации ее экономической и технической эффективности.

Проведенный анализ технологий геопространственного контроля подтвердил их взаимодополняемость при создании цифровых двойников строительных объектов. *BIM*-модели формируют нормативно-проектную основу, обеспечивая эталонные параметры для сравнения. Лазерное сканирование и фотограмметрия предоставляют высокоточные данные о фактическом состоянии объекта с погрешностью до 2 мм, что создает надежную основу для

объективного контроля. Разработанная методика интегрированного контроля преодолевает ключевые ограничения традиционных подходов за счет алгоритма автоматизированного сопоставления проектных данных с результатами съемки. Формализация критериев отклонений исключает субъективность оценок, а автоматизация процессов сокращает время выявления несоответствий на 40 %, что обеспечивает оперативное принятие корректирующих решений на всех этапах строительства. Практические рекомендации по внедрению включают поэтапную цифровизацию контрольных процедур и разработку стандартизированных протоколов обмена данными между технологиями. Обучение специалистов работе с интегрированной системой создаст предпосылки для отраслевой трансформации. Системное применение методики повысит качество объектов при одновременном снижении рисков срыва сроков и непредвиденных затрат.

Литература

1. Анискин, Н.А. Строительство, конструкции и инновации плотин из малоцементного бетона / Н.А. Анискин, А.М. Шайтанов // Вестник МГСУ. – 2020. – № 7. – С. 1018–1029.
2. Бабич, Ж. Цифровая фотограмметрия в Боснии и Герцеговине. Опыт работы с программным продуктом PHOTOMOD / Ж. Бабич // Конференция пользователей системы PHOTOMOD. – СПб., 2002. – С. 10–19.
3. Елисеева, Е.Ю. Применение строительной информационной модели для оптимизации процессов управления проектами в строительстве / Е.Ю. Елисеева, Т.И. Чеченов, В.В. Медведько // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2025. – Т. 15. – № 4-1. – С. 126–141. – EDN: RTUZIN.
4. Павлов, А.С. Проблемы внедрения BIM в подрядных организациях / А.С. Павлов // Лучший научный сотрудник. – Астана, 2023. – С. 62–63.
5. Хонтураев, С.И. Применение дронов в современной геопространственной картографии / С.И. Хонтураев // Techscience.uz – Topical Issues of Technical Sciences. – 2025. – Т. 3. – № 4. – С. 29–32. – EDN: FQKRZJ.
6. Шеина, С.Г. Нормативное регулирование и опыт внедрения BIM на различных этапах жизненного цикла объекта строительства в России / С.Г. Шеина, С.Л. Шуйков // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2023. – № 1. – С. 4–11.
7. Лаборов, В.А. Робототехника и BIM-технологии в строительстве / В.А. Лаборов, О.С. Гамаюнова // Инженерные исследования. – 2021. – № 5(5). – С. 15–22.
8. Адамцевич, Л.А. Перспективные в условиях цифровой трансформации строительной отрасли технологии Индустрии 4.0 / Л.А. Адамцевич, И.В. Сорокин, А.В. Настычук // Строительство и архитектура. – 2022. – Т. 10. – № 4. – С. 101–105.
9. Иванова, Н.А. Сущность инновационной деятельности в строительной сфере / Н.А. Иванова // Вектор экономики. – 2018. – № 10. – С. 64.
10. Адамцевич, Л.А. Применение систем искусственного интеллекта при реставрации объектов культурного наследия / Л.А. Адамцевич, А.И. Пиляй // Строительное производство. – 2022. – № 3. – С. 54–58.

References

1. Aniskin, N.A. Stroitelstvo, konstruksii i innovatsii plotin iz malotsementnogo betona / N.A. Aniskin, A.M. SHajtanov // Vestnik MGSU. – 2020. – № 7. – S. 1018–1029.

2. Babich, ZH. TSifrovaya fotogrammetriya v Bosnii i Gertsegovine. Opyt raboty s programmnyy produktom PHOTOMOD / ZH. Babich // Konferentsiya polzovatelej sistemy PHOTOMOD. – SPb., 2002. – S. 10–19.
3. Eliseeva, E.YU. Primenenie stroitelnoj informatsionnoj modeli dlya optimizatsii protsessov upravleniya proektami v stroitelstve / E.YU. Eliseeva, T.I. Chechenov, V.V. Medvedko // Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra. – 2025. – T. 15. – № 4-1. – S. 126–141. – EDN: RTUZIN.
4. Pavlov, A.S. Problemy vnedreniya BIM v podryadnykh organizatsiyakh / A.S. Pavlov // Luchshij nauchnij sotrudnik. – Astana, 2023. – S. 62–63.
5. KHonturaev, S.I. Primenenie dronov v sovremennoj geoprostranstvennoj kartografii / S.I. KHonturaev // Techscience.uz – Topical Issues of Technical Sciences. – 2025. – T. 3. – № 4. – S. 29–32. – EDN: FQKRZJ.
6. SHeina, S.G. Normativnoe regulirovanie i opyt vnedreniya BIM na razlichnykh etapakh zhiznennogo tsikla obekta stroitelstva v Rossii / S.G. SHeina, S.L. SHujkov // Sovremennye tendentsii v stroitelstve, gradostroitelstve i planirovke territorij. – 2023. – № 1. – S. 4–11.
7. Laborov, V.A. Robototekhnika i BIM-tehnologii v stroitelstve / V.A. Laborov, O.S. Gamayunova // Inzhenernye issledovaniya. – 2021. – № 5(5). – S. 15–22.
8. Adamtsevich, L.A. Perspektivnye v usloviyakh tsifrovoj transformatsii stroitelnoj otrasli tekhnologii Industrii 4.0 / L.A. Adamtsevich, I.V. Sorokin, A.V. Nastychuk // Stroitelstvo i arkhitektura. – 2022. – T. 10. – № 4. – S. 101–105.
9. Ivanova, N.A. Sushchnost innovatsionnoj deyatel'nosti v stroitelnoj sfere / N.A. Ivanova // Vektor ekonomiki. – 2018. – № 10. – S. 64.
10. Adamtsevich, L.A. Primenenie sistem iskusstvennogo intellekta pri restavratsii obektov kul'nurnogo naslediya / L.A. Adamtsevich, A.I. Pilyaj // Stroitelnoe proizvodstvo. – 2022. – № 3. – S. 54–58.

Integration of Geospatial Control Technologies (BIM, Laser Scanning, Photogrammetry) into the Methodology for Verifying the Compliance of Construction Works

T.E. Khaev, N.P. Egorova

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: automation; geospatial control; building information modeling (BIM); laser scanning; construction control; photogrammetry; digital twin.

Abstract. The aim of the study is to develop and experimentally verify an integrated methodology for automated verification of construction work compliance with design documentation based on BIM, laser scanning, and photogrammetry.

The objectives include analyzing the strengths and limitations of each technology, creating an algorithm for synchronizing and comparing design and actual data, identifying integration points during construction stages, and assessing the accuracy, completeness, and time efficiency of the methodology.

The hypothesis is that integrating the three technologies into a single geospatial framework, through automation and formalization of criteria, overcomes the subjectivity and low productivity of traditional inspection methods.

The study utilized virtual modeling, laser scanning simulation (point density of

2–20 points/cm²), and photogrammetric 3D reconstruction, followed by comparison with a reference BIM model.

Achieved results: the completeness of critical deviation detection (> 20 mm) was 99,3 %, and for deviations of 3–10 mm, it was 87,2 %. The root-mean-square measurement error is 1,8 mm for laser scanning and 3,4 mm for photogrammetry; the overall inspection cycle is reduced by 2,1–2,7 times, and the estimated reduction in quality control costs reaches 28–35 %.

© Т.Э. Хаев, Н.П. Егорова, 2026

УДК 69.057

Factors Influencing the Efficiency of High-Rise Buildings Construction from Monolithic Reinforced Concrete

T.E. Khaev, S.S. Chochiev

Moscow State Uiveristy of Civil Engineering, Moscow (Russia)

Keywords and phrases: concrete work; high-rise construction; organizational and technological solutions; decision-making system; BIM technologies; concrete pumps; formwork systems; winter concreting.

Abstract. This article examines the key factors determining the efficiency of high-rise construction using monolithic reinforced concrete. The relevance of this topic is driven by the growing volume of high-rise construction in dense urban areas and the need to minimize time and cost while maintaining the required quality. The objective of the study is to systematize and analyze organizational, technological, structural, logistical, climatic, and management factors affecting labor productivity, construction duration, and the economic efficiency of projects. Three groups of factors are identified in the paper: technical (type of formwork systems, concrete delivery methods, concrete grade, reinforcement), organizational (flow, scheduling, delivery logistics, personnel qualifications), and external (climatic conditions, site constraints, urban planning restrictions). A classification of factors based on their influence on the integral efficiency indicator is proposed. An analysis of the relationship between concreting speed, floor cycle, and overall construction duration is provided. Using a 40-story building as an example, it is demonstrated that optimizing a set of factors can reduce construction time by 20–25 % with a mechanization cost increase of no more than 10 %. A factor ranking table and a diagram illustrating the impact of key parameters on construction duration are presented. The results can be used in developing construction plans and selecting optimal technological solutions.

The construction of high-rise buildings (over 75 m) using monolithic reinforced concrete is a dominant trend in modern urban planning in large cities. A monolithic frame ensures spatial rigidity, seismic resistance, and flexibility in planning solutions, which is especially important in densely populated areas. However, high-rise construction is associated with a number of specific challenges: the need for vertical transport of materials to great heights, high demands on concreting rates, limited storage space, and dependence on weather conditions [1; 3].

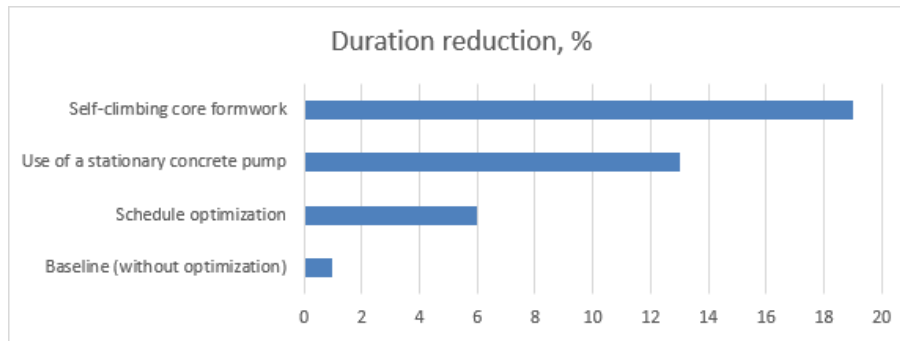


Fig. 1. Impact of key factors on the construction time of a high-rise building (baseline – 100 %)

Under these conditions, the task of improving construction efficiency is of paramount importance. Efficiency is understood as a comprehensive indicator that includes reduced timeframes, reduced costs, improved quality of work, and risk minimization. Achieving these goals is possible only through systematic consideration of the many factors influencing the production process.

The objective of this study is to identify, classify, and analyze the factors that have the most significant impact on the efficiency of high-rise monolithic building construction, as well as to establish quantitative and qualitative relationships between these factors and the final project indicators.

The study is based on a comprehensive analysis of the design and technical documentation for 12 high-rise construction projects (25–55 stories) constructed in Moscow between 2018 and 2024. The following source materials were used: work execution plans (WEs) and process charts for the installation of monolithic structures; timing data for floor concreting cycles (more than 150 observations); reporting documentation on actual construction times and costs; Regulatory sources (SP 70.13330, SP 48.13330, departmental standards).

The methodological framework includes:

- systems analysis and classification of performance factors;
- statistical processing of timekeeping data (calculation of average values, variances, correlation analysis);
- expert assessment (questionnaire of 15 specialists with at least 10 years of high-rise construction experience) to rank factors by influence;
- simulation modeling in Microsoft Project and Spider Project to assess the impact of changes in individual factors on the overall construction duration;
- multicriteria analysis using the Analytical Hierarchy Process (AHP) to select optimal combinations of technological solutions.

To assess the reliability of the results, a comparison of calculated indicators with actual data from completed projects was used (Pearson correlation coefficient of at least 0,85).

The analysis of scientific and technical literature and practical experience in high-rise construction [2; 4] has identified three main groups of factors influencing construction efficiency.

Technical and technological factors are parameters directly related to the materials used, design solutions, and construction technology.

The most important factor is the choice of formwork system type. For high-rise buildings, formwork turnover rate is critical. Traditional panel formwork is effective at relatively slow construction rates. The use of self-climbing formwork systems for stiffening cores and tunnel formwork for slabs allows for a reduction in the floor construction cycle from 6–7 to 3–4 days [4].

Table 1. Ranking factors of high-rise construction efficiency

Factor Group	Factor	Degree of Influence (Points)	Nature of Influence
Technical	Formwork system type	9	Direct influence on cycle speed
	Concrete delivery method	8	Determines work intensity
	Concrete grade and reinforcement	6	Affects material consumption
Organizational	Flow and workbench division	9	Reduces downtime and combines processes
	Scheduling	7	Minimizes the risk of disruption
	Personnel qualifications	8	Affects quality and pace
External	Climatic conditions	7	Seasonal restrictions
	Cost increases	6	Site confinement logistical constraints

The method of concrete mix delivery is equally important. The use of stationary concrete pumps A high-pressure pump with distribution booms ensures uninterrupted concreting and eliminates downtime associated with crane operation. Pump capacity (up to 60–80 m³/h) determines work intensity [6].

Concrete grade and reinforcement also influence efficiency. The use of high-strength concrete (B50–B60) allows for smaller column and wall cross-sections, reducing material consumption and foundation loads. However, this requires more careful control of curing conditions and can increase the cost of the mixture [7].

Organizational and management factors – efficiency largely depends on work organization. A flow-based method with dividing the building into sections allows for the scheduling of various processes (reinforcement, concreting, curing) and a reduction in overall duration [3].

Scheduling and supply logistics play a critical role. High-rise construction is characterized by a high concentration of resources on a limited site. Disruptions in the supply of reinforcement or concrete can lead to downtime for the entire work chain. The use of calendar-network planning systems (Microsoft Project, Spider Project) allows for optimized schedules and reduced risks [5].

Personnel qualifications and the availability of specialized teams experienced in high-altitude work directly impact productivity and quality. Working at height places increased safety requirements, which also impacts the pace [8].

External and environmental factors, such as climatic conditions, significantly impact the feasibility of work. Winter concreting requires additional costs for heating the concrete (PNSV cables, thermoactive formwork) and increases the cycle time due to delayed strength gain. Wind loads at height limit the use of cranes for bucket loading.

The confined space of a site in dense urban areas limits the ability to store materials and maneuver equipment. This requires careful consideration of logistics plans and the use of tower cranes with appropriate parameters. Urban planning restrictions (protected zones, insolation requirements for adjacent buildings) may dictate special conditions for construction, including restrictions on noisy work and the use of certain types of machinery.

To quantitatively assess the impact of key factors, a diagram was constructed showing the

dependence of the construction time of a 40-story building on changes in key parameters (Fig. 1).

Analysis of the diagram shows that the use of self-climbing formwork systems yields the greatest effect (reduction of up to 18–20 % of the total duration due to acceleration of the stiffening core cycle). The use of stationary concrete pumps reduces construction time by 12–15 % due to increased mix delivery. Optimization of the schedule and logistics provides an additional 5–7 %. Based on expert assessments and analysis of project data [9; 11], factors were ranked according to their influence on the integrated performance indicator (Table 1). The assessment was performed on a 10-point scale, where 10 represents the greatest influence.

The type of formwork system and the organization of flow production have the greatest influence (9 points), which is confirmed by practice: these factors determine the possibility of achieving rhythmic construction with a minimum floor cycle time. Concrete delivery method and personnel qualifications are also among the priorities (8 points), as they are directly related to productivity. Increased efficiency cannot be achieved through any single factor. A systematic approach that considers their interrelationships is required. For example, the use of high-strength concrete (a technical factor) requires more precise adherence to curing schedules, which places increased demands on personnel qualifications (an organizational factor) and can be complicated by winter conditions (an external factor) [15].

BIM technologies are a modern tool that allows for the integration of all groups of factors. Building information modeling enables:

- automatically calculate work volumes and material requirements, taking into account design features;
- simulate schedules in conjunction with a 3D model (4D) and cost (5D);
- identify conflicts between technological processes;
- consider logistical constraints and warehouse space [5; 18].

Using a BIM model at the organizational and technological design stage allows for the selection of the optimal combination of factors and the justification of decision-making using multi-criteria analysis.

The developed classification and quantitative dependencies were tested during the organizational and technological design of the 40-story residential complex «Vysota» in the Northern Administrative District of Moscow. During the selection stage of the optimal construction option, two alternatives were considered:

- traditional panel formwork + concrete delivery by crane in buckets;
- self-climbing core formwork + stationary concrete pump with a distribution boom.

Using the proposed methodology, the duration of floor cycles and the overall construction duration were calculated. Modeling results showed that Option 2 reduced the overall construction time for the above-ground portion from 22 to 17 months (a savings of 22,7 %), while increasing formwork costs by 9 %. The integrated efficiency indicator (taking into account cost, timeframe, and quality) was 18 % higher for Option 2. The actual project implementation confirmed the calculated figures: the typical floor cycle was 4,5 days (versus the planned 5), with a total duration of 16,5 months. The economic benefit from the reduced construction time (reduced overhead costs and early commissioning) exceeded 12 million rubles.

The analysis allowed us to systematize the factors influencing the efficiency of high-rise monolithic building construction and divide them into three main groups: technical, organizational, and external. The most significant factors determining the speed and cost of construction are the type of formwork system, the concrete mix delivery method, the organization of the production line, and the qualifications of the personnel. It has been established that comprehensive consideration and optimization of these factors can reduce overall construction time by 20–25 % with a relatively

small (up to 10 %) increase in costs for mechanization and specialized equipment. The use of BIM technologies, which enable end-to-end modeling and analysis of design solutions, plays a key role in integrating these factors.

Further research should focus on developing mathematical models that describe quantitative relationships between factors and final performance indicators, as well as creating knowledge bases that accumulate optimal solutions for various height ranges and urban planning conditions.

References

1. Теличенко, В.И. Технология возведения высотных зданий : учебник / В.И. Теличенко, А.А. Липидус, А.А. Морозенко. – М. : ДИА, 2020. – 480 с.
2. Афанасьев, А.А. Технология строительных процессов : учебник / А.А. Афанасьев, Н.Н. Данилов, В.Д. Копылов. – М. : Высшая школа, 2018. – 464 с.
3. Олейник, П.П. Организация строительного производства : учебник / П.П. Олейник. – М. : МГСУ, 2019. – 280 с.
4. Гагарина, Е.В. Технология возведения высотных зданий из монолитного железобетона : учебник / Е.В. Гагарина. – М. : МГСУ, 2017. – 120 с.
5. Талапов, В.В. Технология BIM: сущность и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В.В. Талапов. – М. : ДМК Пресс, 2020. – 410 с.
6. Савин, И.М. Некоторые особенности эффективности использования искусственного интеллекта в строительстве (на примере оптимизации календарных графиков)/ И.М. Савин // Открытая наука. – 2022. – Т. 4. – № 1. – С. 75–82.
7. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М. : АСВ, 2018. – 528 с.
8. Ушеров-Маршак, А.В. Бетонovedение: лексикон / А.В. Ушеров-Маршак. – М. : РИФ «Стройматериалы», 2018. – 416 с.
9. Коровяков, В.Ф. Зимнее бетонирование: технологии и организация / В.Ф. Коровяков. – М. : Стройиздат, 2019. – 288 с.
10. Leonhardt, F. Vorlesungen über Massivbau. Vorlesungen zum Stahlbetonbau / F. Leonhardt, E. Mönnig. – Berlin : Springer, 2020. – 612 p.
11. Гусев, Б.В. Математическое моделирование процессов твердения бетона / Б.В. Гусев, В.С. Федоров. – М. : Наука, 2017. – 312 с.
12. Соколов, Б.С. Технология возведения высотных зданий из монолитного железобетона / Б.С. Соколов. – М. : АСВ, 2021. – 352 с.
13. Руководство по бетонным работам при строительстве высотных зданий / ЦНИИОМТП. – М. : Стройиздат, 2020. – 196 с.
14. Савин, И.М. Оптимизация экономически выгодной стратегии в современных условиях строительной отрасли / И.М. Савин, М.В. Савин, А.А. Мариничев // Openscience. – 2022. – Т. 4. – № 3. – С. 24–32.
15. Савин, И.М. Разработка календарного плана в условиях ограниченных ресурсов / И.М. Савин, Е.М. Михайлова // Наука и культура: поиски и открытия : Материалы XIV Международной научно-практической конференции. – Балашиха, 2021. – С. 153–159.

References

1. Telichenko, V.I. Tekhnologiya vozvedeniya vysotnykh zdaniy : uchebnik / V.I. Telichenko, A.A. Lapidus, A.A. Morozenko. – М. : DIA, 2020. – 480 s.
2. Afanasev, A.A. Tekhnologiya stroitelnykh protsessov : uchebnik / A.A. Afanasev, N.N. Danilov,

V.D. Kopylov. – M. : Vysshaya shkola, 2018. – 464 s.

3. Olejnik, P.P. Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva : uchebnik / P.P. Olejnik. – M. : MGSU, 2019. – 280 s.

4. Gagarina, E.V. Tekhnologiya vozvedeniya vysotnykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona : uchebnik / E.V. Gagarina. – M. : MGSU, 2017. – 120 s.

5. Talapov, V.V. Tekhnologiya BIM: sushchnost i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy / V.V. Talapov. – M. : DMK Press, 2020. – 410 s.

6. Savin, I.M. Nekotorye osobennosti effektivnosti ispolzovaniya iskusstvennogo intellekta v stroitel'stve (na primere optimizatsii kalendarnykh grafikov) / I.M. Savin // Otkrytaya nauka. – 2022. – T. 4. – № 1. – S. 75–82.

7. Bazhenov, YU.M. Tekhnologiya betona / YU.M. Bazhenov. – M. : ASV, 2018. – 528 s.

8. Usherov-Marshak, A.V. Betonovedenie: leksikon / A.V. Usherov-Marshak. – M. : RIF «Strojmaterialy», 2018. – 416 s.

9. Korovyakov, V.F. Zimnee betonirovanie: tekhnologii i organizatsiya / V.F. Korovyakov. – M. : Strojizdat, 2019. – 288 s.

11. Gusev, B.V. Matematicheskoe modelirovanie protsessov tverdeniya betona / B.V. Gusev, V.S. Fedorov. – M. : Nauka, 2017. – 312 s.

12. Sokolov, B.S. Tekhnologiya vozvedeniya vysotnykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona / B.S. Sokolov. – M. : ASV, 2021. – 352 s.

13. Rukovodstvo po betonnyim rabotam pri stroitel'stve vysotnykh zdaniy / TSNIOMTP. – M. : Strojizdat, 2020. – 196 s.

14. Savin, I.M. Optimizatsiya ekonomicheskoi vygodnoy strategii v sovremennykh usloviyakh stroitel'noy otrasli / I.M. Savin, M.V. Savin, A.A. Marinichev // Openscience. – 2022. – T. 4. – № 3. – S. 24–32.

15. Savin, I.M. Razrabotka kalendarnogo plana v usloviyakh ogranichennykh resursov / I.M. Savin, E.M. Mikhajlova // Nauka i kultura: poiski i otkrytiya : Materialy XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Balashikha, 2021. – S. 153–159.

Факторы, влияющие на повышение эффективности строительства высотных зданий из монолитного железобетона

Т.Э. Хаев, С.С. Чочиев

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)

Ключевые слова и фразы: бетонирование; высотное строительство; логистика; монолитный железобетон; опалубочные системы; организационно-технологические факторы; эффективность строительства; BIM-технологии.

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые факторы, определяющие эффективность строительства высотных зданий из монолитного железобетона. Актуальность темы обусловлена ростом объемов высотного строительства в условиях плотной городской застройки и необходимостью минимизации сроков и стоимости при обеспечении требуемого качества. Цель исследования – систематизация и анализ организационно-технологических, конструктивных, логистических, климатических и управленческих факторов, влияющих на

производительность труда, продолжительность возведения и экономическую эффективность проектов. В качестве гипотезы выдвинуто предположение о том, что комплексная оптимизация технологических и организационных решений позволяет существенно сократить сроки строительства при незначительном увеличении затрат на механизацию. Для достижения поставленной цели были решены задачи классификации факторов эффективности, оценки степени их влияния на интегральные показатели проекта, а также анализа взаимосвязи между скоростью бетонирования, циклом этажа и общей продолжительностью строительства. В работе выделены три группы факторов: технические (тип опалубочных систем, методы подачи бетона, класс бетона, армирование), организационные (поточность, календарное планирование, логистика поставок, квалификация персонала) и внешние (климатические условия, стесненность площадки, градостроительные ограничения). Предложена классификация факторов по степени влияния на интегральный показатель эффективности. Выполнен анализ взаимосвязи между скоростью бетонирования, циклом этажа и общей продолжительностью строительства. На примере 40-этажного здания показано, что оптимизация комплекса факторов позволяет сократить сроки строительства на 20–25 % при росте затрат на механизацию не более 10 %. Представлена таблица ранжирования факторов и диаграмма влияния ключевых параметров на продолжительность возведения. Результаты могут быть использованы при разработке проектов производства работ и выборе оптимальных технологических решений.

© T.E. Khaev, S.S. Chochiev, 2026

УДК 69.05

Обзор методов предобработки данных, алгоритмических решений и перспектив применения искусственного интеллекта в рамках автоматизированной контроля земляного полотна

А.О. Хубаев, А.М. Джафаргулуев

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: земляное полотно; искусственный интеллект; итеративный алгоритм ближайших точек; облако точек; сегментация облака точек; структурные линии; цифровая модель местности.

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к высокоточному сопоставлению облаков точек лазерного сканирования с проектной цифровой моделью рельефа земляного полотна в условиях сложного рельефа и неоднородной плотности сканирования.

Цель исследования – систематизация и анализ методов предобработки данных и алгоритмических решений, а также обоснование перспективных направлений их развития в контексте повышения эффективности земляных работ и внедрения технологий информационного моделирования.

Для достижения поставленной цели сформирован ряд задач: провести обзор подходов к формированию эталонной цифровой модели местности (**ЦММ**) с аналитическим выделением структурных линий; проанализировать методики извлечения линий перелома и геометрической сегментации облака точек до процедуры регистрации; исследовать алгоритм *Feature-Constrained Weighted ICP*; оценить перспективы гибридизации геометрических алгоритмов с методами машинного обучения.

Гипотеза исследования состоит в предположении, что точность и надежность совмещения могут быть принципиально повышены за счет комплексной предобработки данных в сочетании с модифицированной целевой функцией итеративного алгоритма ближайших точек (*ICP*), а дальнейшее развитие связано с интеграцией обучаемых моделей, способных автоматически калибровать параметры и прогнозировать деформации.

Методология исследования базируется на системати-

ческом обзоре рецензируемых источников, сравнительном анализе алгоритмических решений и обобщении экспериментальных данных.

Результаты исследования: выявлены ключевые ограничения классического *ICP* на структурно-насыщенном рельефе, обоснована эффективность комбинированных методик предобработки, обеспечивающих полноту выделения структурных линий до 97–99 %; показано, что алгоритм *Feature-Constrained Weighted ICP* обеспечивает устойчивое совмещение вблизи бровок и переломов; определены перспективные направления гибридизации с методами машинного обучения: от адаптивной настройки порогов и весовых функций до предиктивной аналитики деформаций по временным рядам и семантической фильтрации чужеродных объектов; предложенные решения закладывают основу для перехода от дискретного строительного контроля к непрерывному адаптивному мониторингу и полноценному цифровому двойнику земляного полотна.

Введение

Современный этап развития строительной отрасли характеризуется масштабным переходом от дискретных, локальных методов контроля качества к непрерывным цифровым практикам, основанным на концепции информационного моделирования зданий и сооружений (ТИМ). Земляное полотно, как фундаментальный элемент любого строительного объекта, требует повышенного внимания, поскольку именно на этапе устройства земляных сооружений закладываются геометрические параметры, определяющие безопасность, эксплуатационную надежность и экономическую эффективность всего проекта.

По данным Федеральной службы государственной статистики, совокупный объем строительных работ в Российской Федерации за 2025 год достиг 18,82 трлн рублей, что на 2,5 % превышает показатель 2024 года в сопоставимых ценах [1]. Устойчивый рост объемов строительства, особенно в сегменте инфраструктурных и промышленных объектов, делает проблему повышения точности и производительности земляных работ одной из наиболее актуальных научно-технических задач отрасли.

Традиционный контроль качества планировки земляного полотна, базирующийся на тахеометрической съемке, нивелировании и ручном измерении поперечников, обладает двумя фундаментальными ограничениями:

- субъективность интерпретации;
- дискретность измерений.

С развитием технологий дистанционного зондирования появилась возможность получать облака точек высокой плотности, охватывающие всю поверхность земляного полотна. Внедрение таких данных в процессы строительного контроля активно поддерживается российским профессиональным сообществом. В среде общих данных *Pilot-BIM* уже реализована функция совмещения облаков точек с ЦИМ-моделью здания, что позволяет формировать точную цифровую модель местности непосредственно в проектной среде [2]. Аналогичные решения разрабатываются и для дорожного строительства. Программный комплекс *NovoBIM* обеспечивает загрузку, обработку и хранение ортофотопланов и облаков точек, полученных

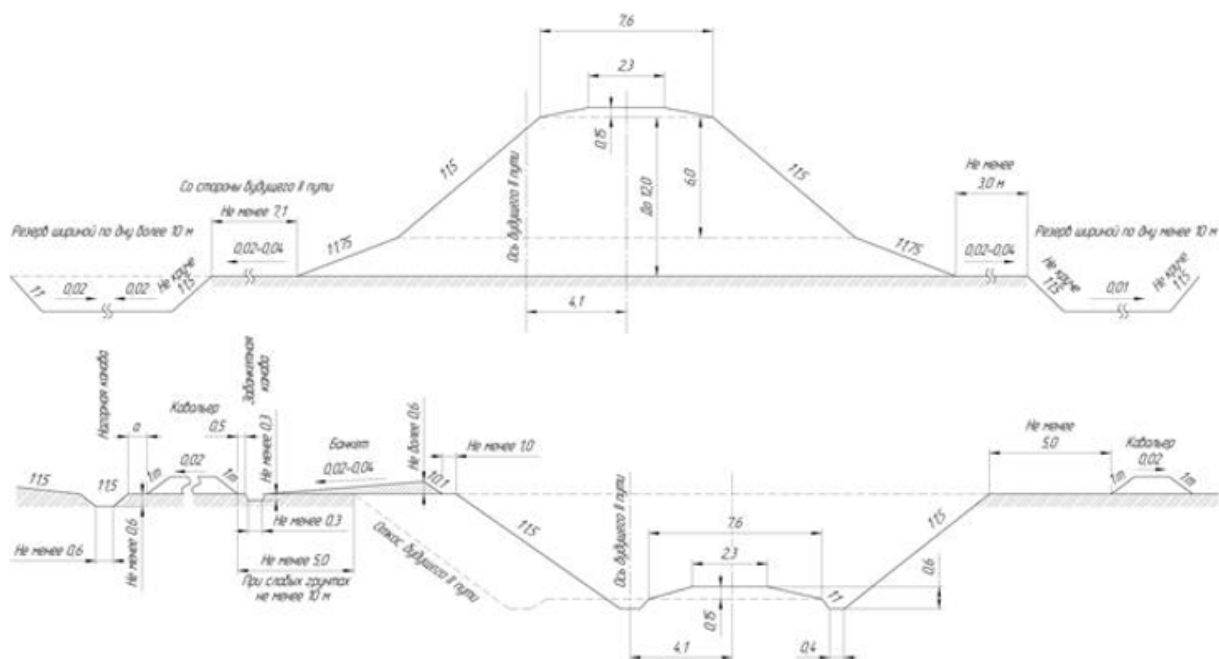


Рис. 1. Схема типового нормального поперечного профиля: верхний рисунок – насыпи; нижний рисунок – выемки

с БПЛА и лидаров, упрощая контроль строительного проекта и обеспечивая руководителям доступ информации [3].

Однако переход к технологии информационного моделирования остается проблемной областью. Облака точек, полученные с различных носителей, обладают принципиально неоднородной пространственной структурой: плотность сканирования неравномерна, уровень зашумленности варьируется; на бровках земляного полотна, переломах профиля и границах конструктивных элементов наблюдаются систематические артефакты: ложные точки, двойные контуры, разрывы поверхности.

При сопоставлении такого облака с проектной цифровой моделью рельефа стандартные алгоритмы демонстрируют склонность к ложным корреляциям. Это приводит к упрощению геометрических особенностей через усреднение расстояний между точками, и не способности корректно обрабатывать резкие перепады кривизны, характерные для линейно-протяженных объектов транспортной инфраструктуры. В результате численная оценка объемов выемки и насыпи, а также картограммы отклонений от проектной поверхности становятся недостоверными, что влечет за собой ошибки в определении баланса земляных масс, перерасход материалов и в конечном счете удорожание строительства.

Фундаментальная работа *Rusinkiewicz* заложила основы систематизации вариаций *ICP*-алгоритма, представив его как конвейер из шести стадий, на каждой из которых могут применяться различные стратегии [4]. Подобный подход позволил оценивать эффективность десятков тысяч вариантов алгоритма применительно к конкретным условиям съемки. В частности, экспериментально доказали, что геометрическая неупорядоченность в облаках точек является наиболее значимым фактором, определяющим качество работы *ICP* при построении карт рельефа.

Тематика автоматизированного контроля за производством земляных работ активно развивается и в прикладном направлении. В Сибирском федеральном университете разработано интеллектуальное программное обеспечение, которое на основе периодических

Таблица 1. Сравнение растрового (*GRID*) и триангуляционного (*TIN*) представлений проектного рельефа земляного полотна

Критерий	Растровая модель (<i>GRID</i>)	Триангуляционная модель (<i>TIN</i>)
Точность передачи резких переломов профиля	Низкая – переломы сглаживаются, для детализации требуется шаг сетки 10–20 см, что резко увеличивает объем данных	Высокая – вершины размещаются в точках проектных переломов, ребра могут фиксировать бровки и подошвы как принудительные
Объем данных при равной точности	Большой – из-за регулярной структуры и необходимости мелкого шага на всей площади	Меньший – адаптивная плотность: сгущение только в зонах сложной геометрии
Вычислительная сложность обработки	Низкая для растровых операций, но высокая для извлечения структурных линий (требуются конечно-разностные оценки)	Умеренная – прямой доступ к граням и нормалям, естественная поддержка векторных операций
Совместимость с <i>BIM</i> -средами	Ограниченная – чаще используется как промежуточный формат	Высокая – непосредственная интеграция с поверхностями <i>IFC</i> , <i>Civil 3D</i> и др.
Типичное применение в дорожном строительстве	Визуализация общих объемов, предварительный анализ	Детальный контроль геометрии, автоматическое выделение структурных линий

трехмерных сканов строительной площадки, полученных с БПЛА методами *LiDAR* и фотограмметрии, и исходной ЦИМ-модели, автоматически выявляет геометрические и объемные отклонения, прогнозирует динамику выполнения работ и возможные риски конструктивных и земляных операций с помощью нейросетевых моделей [5].

Несмотря на значительный прогресс в области регистрации облаков точек, существующие исследования не решают задачу учета резких переломов профиля в процессе итеративного сближения облака точек с проектной поверхностью.

Математическая модель и предобработка данных

Переход к количественной оценке геометрических отклонений земляного полотна на основе сопоставления облака точек с проектной цифровой моделью рельефа требует тщательной подготовки исходных данных. В научной литературе последних лет утвердилось понимание, что успех регистрации облаков и достоверность последующей оценки объемов земляных работ определяются не столько сложностью математического аппарата, сколько качеством исходной информации, закладываемой в модель. Особенностью земляных сооружений является наличие выраженных структурных элементов: бровок, переломов откосов, ребер кюветов и подошв насыпей (рис. 1).

Их геометрия жестко регламентирована проектом и практически не подвержена стохастическим вариациям, что создает принципиальные трудности для стандартных алгоритмов совмещения, склонных к сглаживанию резких перепадов высот и накоплению систематических ошибок.

Формирование эталонной поверхности, относительно которой оцениваются отклонения фактического рельефа, является первой критически важной задачей.

Цифровая модель рельефа земляного полотна формируется на основе продольных и поперечных профилей, трехмерных полилиний, точек перелома и заложения откосов. Для

Таблица 2. Показатели качества автоматического выделения структурных линий земляного полотна

Показатель	Значение	Условия получения
Полнота выявления переломов (относительно ручной оцифровки)	97–99 %	Участки II–III категории, длина 0,5–2 км
Среднее плановое отклонение линии от эталона	$\leq 0,03$ м	Плотность проектных точек ~ 1 тчк/м ²
Доля ложных срабатываний (ложноположительные ребра)	2–5 %	Без постфильтрации; после объединения полилиний < 1 %
Время обработки участка 1 км	15–40 с	На CPU среднего класса

Таблица 3. Сравнительный анализ методов извлечения структурных линий

Метод	Принцип	Достоинства	Ограничения
Геометрический (на основе <i>TIN</i>)	Вычисление двугранного угла между смежными гранями; ребро – структурное, если угол $>$ порога ($8\text{--}10^\circ$)	Простота реализации, высокая скорость, прямая работа с триангуляцией	Чувствительность к топологии сетки, возможны пропуски при вырожденных треугольниках
Аналитический (по поперечникам)	Построение сглаживающего сплайна по поперечному профилю; пики второй производной – точки перелома	Независимость от триангуляции, возможность задания порога кривизны из проекта ($0,5\text{--}2,0\text{ м}^{-1}$)	Дискретизация по продольной оси, повышенные погрешности на криволинейных участках
Гибридный	Последовательное применение: <i>TIN</i> ребра-кандидаты, затем контроль по поперечникам, объединение в полилинии	Высокая полнота (97–99 %) и низкое число ложных срабатываний, воспроизводимость	Несколько большая вычислительная сложность, требует настройки двух наборов порогов

совмещения с данными сканирования применяют алгоритмы *ICP*, итеративно минимизирующие расстояние между облаками путем уточнения пространственного преобразования. Классический *ICP*, приписывая всем точкам равные веса, склонен к сглаживанию резких переломов, зашумленных бровок и разреженных зон. Модификация *Weighted ICP* лишена этого недостатка: каждой паре соответствий назначается весовой коэффициент, отражающий достоверность измерения, что после грубой регистрации существенно повышает точность на откосах и в кюветах. Критическими аспектами реализации остаются обоснованная стратегия раздельного взвешивания исходного и целевого облаков, а также метод синтеза итоговых совместных весов для конкретных пар [7].

Наибольшее распространение получили два типа представления: регулярная сеть высот (*GRID*) и нерегулярная триангуляционная сеть (*TIN*), сравнение характеристик которых применительно к земляному полотну приведено в табл. 1.

Значительная часть работ концентрируется на автоматическом выделении структурных линий, ребер, на которых происходит разрыв первых производных поверхности. Общепринятый подход, реализованный во многих геоинформационных системах, состоит в вычислении двугранных углов между смежными треугольниками *TIN*.

Однако использование исключительно триангуляционного представления рельефа имеет ряд недостатков. В зонах с неравномерной плотностью проектных точек и вблизи узких

Таблица 4. Геометрические признаки для сегментации облака точек земляного полотна

Зона	Ожидаемый угол нормали к вертикали	Локальная кривизна	Дополнительные признаки
Основная площадка	0–10°	Низкая ($\leq 0,02$)	Малая дисперсия высот в окне
Откос насыпи/выемки	30–60° (определяется заложением)	Низкая ($\leq 0,03$)	Постоянство угла вдоль линии ската
Кювет, водоотводный канал	50–75°	Повышенная (0,05–0,15)	V-образный профиль, чередование знака кривизны
Бровка, ребро перелома	Неустойчивое значение	Высокая ($> 0,08$)	Граница между зонами, большой градиент нормали

элементов возможны пропуски и ложные срабатывания. Для повышения надежности предлагаются гибридные методы, комбинирующие анализ *TIN* с контролем на основе аналитически вычисляемых профилей. Достигаемые при этом результаты, обобщенные по данным ряда экспериментальных исследований, сведены в табл. 2.

Детальное рассмотрение методик извлечения структурных линий представляет отдельный интерес, поскольку именно эти линии служат жестким геометрическим каркасом, предотвращающим ложные корреляции при совмещении облака точек с эталонной поверхностью. В научной литературе прослеживаются две основные группы алгоритмов, характеристики которых систематизированы в табл. 3.

Комбинированные методики извлечения структурных линий, доминирующие на практике, последовательно сочетают выделение ребер с высокой угловой метрикой на *TIN*, аналитический контроль по поперечникам для обнаружения пропущенных переломов и объединение результатов в связные полилинии, атрибутированные типом элемента и снабженные оценкой согласованности методов. Другим ключевым компонентом предобработки выступает априорная сегментация облака точек на конструктивные зоны (основная площадка, откос, кювет), которая сужает пространство поиска соответствий и обеспечивает дифференцированное взвешивание, принципиально повышая устойчивость алгоритма вблизи структурных линий.

Методы сегментации по геометрическим признакам делятся на две группы: анализ локальной геометрии (нормалей и кривизны) и методы машинного обучения. Применительно к земляному полотну наиболее распространены подходы первой группы, поскольку опираются на физически интерпретируемые критерии и не требуют больших размеченных выборок. Характерные геометрические признаки конструктивных зон, используемые в качестве классификационных критериев, представлены в табл. 4.

Классические методы анализа формы поверхности, опирающиеся на разложение матрицы окрестности точки для оценки ориентации и кривизны, ограничены жесткими порогами и слабо адаптируются к реальным условиям. Методы машинного обучения (*Random Forest*, *SVM*, *PointNet*), достигая высокой точности, сдерживаются ресурсоемкостью и требованиями к обучающим данным. Их ключевой потенциал реализуется в гибридизации с геометрическими алгоритмами: обучаемые модели автоматически калибруют пороги и весовые функции *ICP* под фактическую геометрию, выявляют неформализуемые закономерности и адаптируют систему к осадкам и неровностям. Это обеспечивает адаптивность к меняющимся условиям, предиктивный анализ деформаций по временным рядам, повышение достоверности баланса земляных масс благодаря сохранению структурных линий, интеграцию с

ТИМ-средой для цифрового двойника с автоматическими рекомендациями и семантическую фильтрацию помех. Контроль планировки переводится в непрерывный самообучающийся процесс, повышающий качество управления строительным производством.

Заключение

Рассмотренный комплекс решений в области предобработки данных и модифицированного алгоритма *ICP* закладывает фундамент для создания нового поколения систем автоматизированного контроля геометрии земляного полотна. Такие системы, опираясь на детальную цифровую модель проектного рельефа и актуальные данные дистанционного зондирования, способны в оперативном режиме формировать объективную картину соответствия выполненных работ проектной документации, выявлять участки сверхнормативных отклонений и формировать обоснованные рекомендации по их устранению.

Литература

1. Строительство в российских регионах: итоги 2025 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sherpagroup.ru/analytics/3p7pdnr>.
2. Облако точек в среде общих данных *Pilot-BIM* – точная модель местности, совмещенная с *BIM*-моделью здания [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pilotems.com/ru/company/news/items/?news=3462>.
3. *NovoBIM* – веб-платформа для удаленного мониторинга строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://tenchat.ru/media/617763-novobim--vebplatforma-dlya-udalennogo-monitoringa-stroitelstva>.
4. Rusinkiewicz, S. Efficient Variants of the ICP Algorithm / S. Rusinkiewicz, M. Levoy // Proceedings Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling. – Quebec, 2011. – P. 145–152.
5. Ученые СФУ научат ИИ контролировать качество строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ancb.ru/news/read/19364>.
6. Xie, F. Robust Lifelong Indoor LiDAR Localization using the Area Graph / F. Xie, S. Schwertfeger // IEEE Robotics and Automation Letters. – 2024. – Vol. 9. – Iss. 1. – P. 531–538. – DOI: 10.1109/LRA.2023.3334158.

References

1. Stroitelstvo v rossijskikh regionakh: itogi 2025 goda [Electronic resource]. – Access mode : <https://sherpagroup.ru/analytics/3p7pdnr>.
2. Oblako tochek v srede obshchikh dannyykh Pilot-BIM — tochnaya model mestnosti, sovmeshchennaya s BIM-modelyu zdaniya [Electronic resource]. – Access mode : <https://pilotems.com/ru/company/news/items/?news=3462>.
3. NovoBIM - Veb-platforma dlya udalennogo monitoringa stroitelstva [Electronic resource]. – Access mode : <https://tenchat.ru/media/617763-novobim--vebplatforma-dlya-udalennogo-monitoringa-stroitelstva>.
5. Uchenye SFU nauchat II kontrolirovat kachestvo stroitelstva [Electronic resource]. – Access mode : <https://ancb.ru/news/read/19364>.

A Review of Data Preprocessing Methods, Algorithmic Solutions, and Prospects for the Application of Artificial Intelligence in Automated Subgrade Control

A.O. Khubaev, A.M. Dzhaifarguluev

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: point cloud; digital terrain model; subgrade; iterative closest point; structural lines; point cloud segmentation; artificial intelligence.

Abstract. This article discusses modern approaches to high-precision alignment of laser scanning point clouds with the design digital terrain model of a subgrade under conditions of complex relief and non-uniform scanning density.

The aim of the study is to systematize and analyze data preprocessing methods and algorithmic solutions, as well as to substantiate promising directions for their development in the context of improving the efficiency of earthworks and implementing information modeling technologies.

To achieve this aim, the following objectives were set: to review approaches to forming a reference digital terrain model with analytical extraction of structural lines; to analyze techniques for extracting breaklines and geometric segmentation of the point cloud prior to the registration procedure; to investigate the Feature-Constrained Weighted iterative closest point (**ICP**) algorithm; and to assess the prospects for hybridizing geometric algorithms with machine learning methods.

The research hypothesis is that alignment accuracy and robustness can be fundamentally enhanced through comprehensive data preprocessing combined with a modified ICP objective function, and further development is associated with the integration of learnable models capable of automatically calibrating parameters and predicting deformations.

The research methodology is based on a systematic review of peer-reviewed sources, comparative analysis of algorithmic solutions, and generalization of experimental data.

The results of the study identified key limitations of classical ICP on structurally rich terrain, substantiated the effectiveness of combined preprocessing techniques that ensure 97–99 % completeness in extracting structural lines, demonstrated that the Feature-Constrained Weighted ICP algorithm provides robust alignment near edges and breaklines, and defined promising directions for hybridization with machine learning – ranging from adaptive tuning of thresholds and weight functions to predictive deformation analytics over time series and semantic filtering of foreign objects. The proposed solutions lay the foundation for transitioning from discrete construction control to continuous adaptive monitoring and a full-fledged digital twin of the subgrade.

© А.О. Хубаев, А.М. Джафаргулуев, 2026

УДК 69.05

**Современные подходы
к динамической калибровке
производственно-технологических
параметров земляных работ
с использованием искусственного
интеллекта**

А.О. Хубаев, А.М. Джафаргулуев

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: динамическая калибровка; земляные работы; искусственный интеллект; мониторинг; нормативная база; производственно-технологические параметры.

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к динамической калибровке производственно-технологических параметров земляных работ с использованием методов искусственного интеллекта.

Цель исследования – систематизация существующих научных и прикладных решений в данной области, выявление ключевых тенденций и нерешенных проблем, а также обоснование перспективной архитектуры, обеспечивающей интеграцию процедур калибровки с действующей сметно-нормативной базой (ФСНБ-2022) без изменения ее расчетного ядра.

Для достижения поставленной цели сформирован ряд задач: провести аналитический обзор эволюции инструментов корректировки от статических поправочных коэффициентов к оперативному мониторингу, цифровым двойникам и прогностическим нейросетевым моделям; сопоставить существующие подходы с точки зрения их совместимости с отраслевым нормированием; выявить методические разрывы в формализации связи «отклонение параметра – управленческое решение» и в оценке экономического эффекта; определить перспективные направления, в том числе концепцию «надстройки» над ФСНБ-2022 с проактивным контуром калибровки.

Гипотеза исследования состоит в том, что динамическая калибровка параметров, основанная на методах искусственного интеллекта и замкнутая на неизменное расчетное ядро нормативной базы, способна обеспечить

измеримый экономический эффект и повысить достоверность плановых показателей без нарушения действующей системы ценообразования.

Методология исследования базируется на систематическом обзоре рецензируемых источников, сравнительном анализе технических и организационных характеристик рассмотренных решений, а также на обобщении отраслевого опыта внедрения средств мониторинга и ИИ-прогнозирования.

Результаты исследования: установлено, что основная линия развития проходит от статических поправочных коэффициентов через средства пассивного мониторинга к интеллектуальным системам, совмещающим прогноз и автоматическую калибровку; выявлено, что наиболее перспективными являются решения, сохраняющие расчетный каркас ФСНБ-2022 и изменяющие только входные параметры и состав технологических звеньев; сформулированы требования к формализации карты корректирующих решений и к разделению методической ошибки планирования и собственно управленческого эффекта; показано, что построение замкнутого контура «мониторинг – ИИ-прогноз – калибровка – решение» остается приоритетной задачей, в решение которой вносит вклад данное исследование, развивающее методику динамической калибровки с формализованной оценкой экономического эффекта.

Введение

Производство земляных работ остается одним из наиболее ресурсоемких этапов строительства. Точность планирования на данном этапе прямо зависит от соответствия производственно-технологических параметров реальным условиям площадки. Традиционный подход основан на статических отраслевых нормативах, которые отражают усредненные условия и не способны оперативно адаптироваться к меняющимся условиям. В результате возникает систематическая дельта «норматив–факт», порождающая как прямое удорожание работ, так и ошибочные управленческие решения.

Параллельно с этим в строительную отрасль активно интегрируется инструментарий на основе искусственного интеллекта. Нейросетевые модели на практике уже доказали способность с высокой точностью прогнозировать производительность экскаваторов, время цикла транспортировки и оптимальное число самосвалов в звене. Однако большинство существующих решений носят информационный характер: они выдают прогноз лицу, принимающему решения, но не предлагают формализованной процедуры перехода от прогноза к конкретному управленческому воздействию, согласованному с действующей системой ценообразования.

Современное развитие средств мониторинга и методов искусственного интеллекта (ИИ) создает предпосылки для перехода от статического нормирования к динамической калибровке параметров непосредственно в ходе выполнения работ.

Таблица 1. Сравнительный анализ подходов к калибровке параметров земляных работ

Подход	Источник данных	Частота обновления	Интеграция с ФСНБ-2022	Упреждающий потенциал	Основное ограничение
Статические поправочные коэффициенты	Нормативные таблицы	Единожды на объект	Полная (изначально встроены)	Отсутствует	Не учитывают изменение условий площадки
Оперативный мониторинг (FMS)	Бортовые контроллеры, GPS/ГЛОНАСС	Ежесменно и реже	Частичная (данные вне сметного контура)	Реактивный (фиксация отклонения)	Отсутствие формализованной связи «отклонение → решение»
Цифровые двойники и имитационные модели	Смешанные (датчики + ручной ввод)	По запросу	Не предусмотрена (собственные модели)	Условный (для сценарного анализа)	Высокая трудоемкость актуализации под оперативные задачи

Традиционные статические методы корректировки нормативных параметров

Наиболее распространенный способ корректировки выявляемых отклонений заключается в использовании системы поправочных коэффициентов, заложенной в отраслевые нормы. Нормативы, содержащиеся в сборниках ГЭСН и ФСНБ-2022, сопровождаются таблицами коэффициентов, учитывающих группу грунта, стесненность, глубину выемки, износ машин и т.д. [1]. Инженер-сметчик или производитель работ выбирает надлежащий коэффициент один раз на старте и в дальнейшем, как правило, не пересчитывает его в ходе реализации проекта.

Подобный метод полностью интегрирован в официальный сметно-стоимостной контур и не требует дополнительных организационных преобразований. Однако его принципиальным недостатком является статичность: коэффициенты остаются неизменными на весь период производства работ, тогда как реальные условия могут меняться ежесменно. Кроме того, сами коэффициенты являются осредненными на большом массиве отраслевой статистики и не отражают индивидуальных особенностей конкретной строительной площадки. Подобная статическая корректировка способна снизить среднюю величину ошибки, но не устраняет изменения параметров, возникающего из-за неучитываемых факторов.

Ряд исследований предполагают частичную динамизацию за счет оперативного перерасчета коэффициентов при наступлении заранее оговоренных событий [2], однако такие инициативы не вышли за рамки организационных экспериментов и не были формализованы в виде алгоритмов, совместимых с действующей нормативной базой.

Мониторинг и оперативная калибровка на основе фактических данных

Повсеместное использование датчиков, систем GPS/ГЛОНАСС-трекинга и бортовых контроллеров строительной техники создало предпосылки для перехода от статических коэффициентов к оперативной калибровке по фактическим данным. Наиболее зрелые разработки в этой области представлены технологическими платформами мониторинга строительных процессов (*Fleet Management Systems*), которые фиксируют продолжительности циклов экскаваторов и самосвалов, время пробега, простои и массу перевезенного грунта.

Получаемые данные позволяют ежесменно вычислять фактические значения ключевых

Таблица 2. Ключевые методические проблемы и направления решений при встраивании динамической калибровки в нормативный контур

Проблема	Существующие подходы	Перспективное направление
Искажение плановой сметной стоимости из-за устаревших параметров	Пересчет коэффициентов вручную, экспертная оценка	Автоматическая калибровка входных параметров по факту/прогнозу без изменения расчетного ядра ФСНБ
Отсутствие формализованной связи «отклонение – действие»	Опыт диспетчера, дорожные карты без метрик	Карта корректирующих управленческих решений с привязкой к конкретному Δ -параметру
Методологическая ошибка в расчете экономического эффекта	Отождествление всей Δ «норматив – факт» с потенциалом экономии	Разделение искажения оценки и управленческого эффекта
Сопротивление из-за несовместимости с отраслевым ценообразованием	Замена нормативов собственными моделями (конфликт)	Концепция «надстройки»: формулы ФСНБ-2022 остаются базой, изменяются только входные данные и состав звена
Сложность прогноза в быстро меняющихся условиях	Статические регрессии, редко обновляемые <i>ML</i> -модели	Нейросетевые предикторы с дообучением, обучение с подкреплением для динамического изменения состава звена

параметров: коэффициента использования рабочего времени, времени транспортного цикла, средней производительности машин. Сопоставление этих величин с принятыми в сметной модели определяет количественную меру дельты «норматив – факт», однако сама по себе дельта не образует предпосылок для формирования управленческого решения. В большинстве известных решений оператору предлагается вручную скорректировать сценарий производства работ, опираясь на опыт.

Цифровые двойники строительных процессов позволяют в имитационной среде проигрывать несколько сценариев с актуализированными параметрами и выбирать наилучший по критерию себестоимости или продолжительности. Однако трудоемкость построения и актуализации детализированных имитационных моделей ограничивает их использование оперативным контуром; чаще цифровые двойники служат инструментом стратегического, а не оперативного планирования [3]. Сравнительный анализ подходов к калибровке параметров земляных работ представлен в табл. 1.

Таким образом, на уровне оперативного управления сохраняется потребность в формализованном мосте между поступающими данными мониторинга и выбором корректирующего решения, который был бы согласован с нормативной базой и не требовал от персонала экспертного подбора коэффициентов.

Применение искусственного интеллекта для прогнозирования и калибровки

Последние несколько лет характеризуются активным внедрением методов машинного обучения и искусственного интеллекта в задачи планирования и управления земляными работами. Основные усилия сосредоточены в двух направлениях: прогнозирование производительности машин и формирование адаптивных управленческих мероприятий.

Прогностические модели на основе дерева решений, градиентного бустинга и нейронных сетей обучаются на основе данных библиотеки реализованных проектов и внешних факторов (погода, квалификация оператора, свойства грунта) для оценки ожидаемой выра-

ботки экскаватора, длительности цикла транспортировки и расхода топлива. Такие модели способны выявлять нелинейные зависимости и быстро адаптироваться к новым условиям путем последующего обучения.

Более целостный подход предполагает замыкание прогноза на контур калибровки. В исследовательской работе *E. Mahamedi* и соавторов [4] предлагается архитектура, в которой выход нейросетевой модели напрямую задает значения коэффициентов, подставляемых в нормативный расчет производительности и состава звена. При этом целостность сметно-нормативной формулы не нарушается, а сама калибровка становится проактивной: изменение прогнозных параметров позволяет скорректировать плановые показатели на предстоящую смену до возникновения потерь.

Отдельным перспективным направлением является использование обучения с подкреплением для выбора состава звена техники в динамически меняющихся условиях. Система, действуя в виртуальной или реальной среде, учится назначать число самосвалов, скорости движения и порядок отработки забоя, максимизируя совокупную производительность при соблюдении ограничений по ресурсам.

Проблемы интеграции с нормативной базой и оценка экономического эффекта

Проведенный анализ показывает, что главная методическая трудность при создании систем динамической калибровки заключается в корректном соотношении с отраслевым сметно-нормативным каркасом. ФСНБ-2022 предписывает строго определенные формулы расчета производительности, состава звена и прямых затрат и любое отклонение от них требует специального обоснования и ведет к спорам между участниками строительного процесса.

Существует два принципиально разных подхода к преодолению этого барьера. Первый – разработка альтернативных нормативных моделей, которые изначально ориентированы на потоковый ввод фактических параметров. Такие модели предлагаются, в частности, в рамках концепции «цифрового нормирования» [5], однако на сегодняшний день они не имеют официального статуса и не могут заменить государственные сметные нормативы. Второй подход, набирающий популярность, состоит в сохранении расчетного ядра ФСНБ-2022 и модификации только входных значений параметров и, при необходимости, состава технологического звена. При этом важно формализовать, на каком основании и по какому правилу происходит замена. Ключевые методические проблемы и способы их решений представлены в табл. 2.

Заключение и перспективные направления

Классические статические поправочные коэффициенты все более уступают место подходам, основанным на фактических данных мониторинга, что стало возможным благодаря развитию сенсорной и коммуникационной инфраструктуры на строительных площадках. Методы искусственного интеллекта обеспечивают принципиально новый уровень адаптивности: от реактивного анализа отклонений к упреждающей калибровке параметров на основе прогноза. Критическим требованием к любым инновациям в этой области является безусловное сохранение расчетного ядра действующей сметно-нормативной базы, что гарантирует прозрачность и легитимность сметной стоимости.

Перспективным направлением в данной области является построение замкнутого контура «датчик – ИИ – калибровочный алгоритм – управленческое решение» с автоматической фиксацией эффекта. Дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение

номенклатуры учитываемых факторов, создание отраслевой базы обученных нейросетевых предикторов и апробацию методики на широком спектре грунтовых и организационно-технологических условий. Это позволит перевести динамическую калибровку из разряда научных прототипов в инструмент управления себестоимостью земляных работ.

Литература

1. Федеральная сметная нормативная база ФСНБ-2022 : приказ Минстроя России № 1046 от 30 декабря 2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/tsenoobrazovanie/federalnaya-smetnaya-normativnaya-baza-fsnb-2022-utverzhdennaya-prikazom-minstroya-rossii-ot-30-dekabrya-2021-g-1046-pr/>.
2. Lee, S. Intelligent Fleet Monitoring System for Productivity Management of Earthwork Equipment / S. Lee, A. Sharafat, S.-H. Yoo, J. Seo // Applied Sciences. – 2026. – Vol. 16. – No. 2. – DOI: 10.3390/app16021115.
3. Крюков, К.М. Использование технологии цифровых двойников в строительстве / К.М. Крюков, А.В. Шаповалов // Журнал Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 5. – С. 47–56.
4. Mahamedi, E. Automating excavator productivity measurement using deep learning / E. Mahamedi, K. Rogage, O. Doukari, M. Kassem // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Smart Infrastructure and Construction. – 2022. – Vol. 174. – No. 2. – P. 1–13. – DOI:10.1680/jsmic.21.00031.
5. Тебекин, А.В. Технологии преодоления барьеров на пути улучшений в управлении проектами / А.В. Тебекин // Журнал исследований по управлению. – 2018. – № 4(1).

References

1. Federalnaya smetnaya normativnaya baza FSNB-2022 : prikaz Minstroya Rossii № 1046 ot 30 dekabrya 2021 g. [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/tsenoobrazovanie/federalnaya-smetnaya-normativnaya-baza-fsnb-2022-utverzhdennaya-prikazom-minstroya-rossii-ot-30-dekabrya-2021-g-1046-pr/>.
3. Kryukov, K.M. Ispolzovanie tekhnologii tsifrovyykh dvoynikov v stroitelstve / K.M. Kryukov, A.V. SHapovalov // ZHurnal Inzhenernyj vestnik Dona. – 2022. – № 5. – S. 47–56.
5. Tebekin, A.V. Tekhnologii preodoleniya barerov na puti uluchshenij v upravlenii proektami / A.V. Tebekin // ZHurnal issledovaniy po upravleniyu. – 2018. – № 4(1).

Modern Approaches to Dynamic Calibration of Production and Technological Parameters of Earthworks Using Artificial Intelligence

A.O. Khubaev, A.M. Dzhaifarguluev

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: earthworks; dynamic calibration; production and technological parameters; artificial intelligence; regulatory framework; dynamic calibration; monitoring.

Abstract. This article examines modern approaches to the dynamic calibration of production and technological parameters of earthworks using artificial intelligence methods.

The aim of the study is to systematize existing scientific and applied solutions in this field, identify key trends and unresolved problems, and substantiate a prospective architecture that integrates calibration procedures with the current cost-estimating regulatory framework (FSNB-2022) without modifying its calculation core.

To achieve this goal, a set of objectives has been formulated: to conduct an analytical review of the evolution of correction tools from static adjustment factors to operational monitoring, digital twins, and predictive neural network models; to compare existing approaches in terms of their compatibility with industry standardization; to identify methodological gaps in formalizing the “parameter deviation – management decision” relationship and in assessing economic impact; and to determine promising directions, including the concept of a “superstructure” over FSNB-2022 with a proactive calibration loop.

The research hypothesis is that dynamic calibration of parameters based on artificial intelligence methods, closed on the unchanged calculation core of the regulatory framework, can deliver a measurable economic effect and improve the reliability of planned indicators without disrupting the existing pricing system.

The research methodology is based on a systematic review of peer-reviewed sources, comparative analysis of the technical and organizational characteristics of the considered solutions, and generalization of industry experience in deploying monitoring and AI-forecasting tools.

The results of the study established that the main development trajectory proceeds from static correction factors through passive monitoring instruments toward intelligent systems that combine forecasting and automatic calibration. The most promising solutions are those that preserve the calculation framework of FSNB-2022 and alter only input parameters and the composition of technological elements. Requirements were formulated for formalizing a corrective decision map and for separating the methodological planning error from the actual management effect. It is demonstrated that building a closed loop of “monitoring – AI-forecast – calibration – decision” remains a priority task, to which the ongoing dissertation research contributes by developing a methodology for dynamic calibration with a formalized assessment of economic effect.

© А.О. Хубаев, А.М. Джафаргулуев, 2026

УДК 69.058.7

**Методика применения автоматизированной
системы термомониторинга
для оперативного управления
температурным режимом
при зимнем бетонировании**

М.П. Ярошевич, А.О. Хубаев

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: автоматизированная система термомониторинга; зимнее бетонирование; зрелость бетона; критическая прочность; строительный контроль; температурный режим бетона; термомониторинг; ТМО; управление качеством; электропрогрев бетона.

Аннотация. В статье рассматривается проблема управления температурным режимом бетона при производстве монолитных работ в зимних условиях. Показано, что традиционные методы температурного контроля, основанные на периодических ручных замерах и ведении журналов, не обеспечивают непрерывности наблюдения и оперативного реагирования на отклонения. Ранее было обосновано применение автоматизированных систем термомониторинга как средства повышения достоверности контроля, однако для практического внедрения таких систем требуется разработка методики, связывающей получаемые температурные данные с конкретными технологическими решениями. Целью настоящей работы является разработка методики применения автоматизированной системы термомониторинга для оперативного управления температурным режимом бетона при зимнем бетонировании. В статье предложена система контролируемых параметров, включающая температуру бетона, скорость изменения температуры, показатель зрелости бетона и температурные градиенты. Сформулированы критические температурные отклонения и предложен алгоритм принятия решений при их выявлении. Показана возможность интеграции автоматизированного термомониторинга в процесс электротермического прогрева бетона. Разработанная методика позволяет перейти от фиксации температурных параметров к управлению процессом твердения бетона на основе фактических данных, что способствует

снижению риска дефектов, повышению надежности строительного контроля и сохранению ритмичности производства работ.

Введение

Производство бетонных работ в зимних условиях является одной из наиболее ответственных технологических операций при возведении монолитных железобетонных конструкций. При пониженных и отрицательных температурах процессы гидратации цемента замедляются, а при замерзании свободной воды в порах бетонной смеси возможно нарушение структуры формирующегося цементного камня. Это приводит к снижению прочностных характеристик бетона, образованию трещин, дефектов поверхности и, в отдельных случаях, к необходимости демонтажа выполненных конструкций.

Для обеспечения требуемых условий твердения бетона в зимний период применяются специальные технологические мероприятия: метод «термоса», противоморозные добавки, тепловое укрытие, электротермический прогрев, а также комбинированные решения. Наиболее распространенным способом при строительстве монолитных железобетонных зданий является электротермический прогрев бетона с использованием греющих проводов, позволяющий обеспечить подвод тепла к конструкции в период набора критической прочности.

Вместе с тем наличие разработанной технологической схемы зимнего бетонирования не является достаточной гарантией качества конструкции. Фактические условия строительной площадки могут существенно отличаться от расчетных: изменяется температура наружного воздуха, усиливается ветер, нарушается целостность укрытия, несвоевременно включается прогрев, отсутствует ответственный контроль в ночное время. В таких условиях ключевым фактором становится не только сам способ прогрева, но и возможность оперативного контроля фактического температурного режима бетона.

В ранее выполненной работе была рассмотрена автоматизированная система термомониторинга как средство повышения качества строительного контроля при зимнем бетонировании. Было показано, что автоматизация контроля позволяет снизить влияние человеческого фактора, повысить частоту и достоверность измерений, обеспечить цифровое документирование и оперативное получение информации о температуре бетона. Однако для практического применения одной только фиксации температурных данных недостаточно. Необходимо определить, какие параметры должны контролироваться, какие отклонения являются критическими и какие технологические действия должны выполняться при их выявлении.

Целью настоящей статьи является разработка методики применения автоматизированной системы термомониторинга для оперативного управления температурным режимом бетона при зимнем бетонировании.

Проблема перехода от контроля к управлению температурным режимом

Традиционная система контроля температурного режима бетона при зимнем бетонировании основана на выполнении периодических измерений температуры, фиксации результатов в журналах и последующем анализе полученных данных инженерно-техническим персоналом. Такой подход формально позволяет выполнять требования контроля, однако в условиях реальной строительной площадки имеет ряд существенных ограничений.

Во-первых, ручной контроль является дискретным. Измерения выполняются через опре-

деленные интервалы времени, поэтому резкие изменения температуры между замерами могут остаться незамеченными. Во-вторых, точность и полнота данных зависят от человеческого фактора: своевременности обходов, корректности измерений, дисциплины ведения журналов. В-третьих, результаты контроля часто становятся доступными с запаздыванием, когда отклонение уже привело к ухудшению условий твердения бетона.

Автоматизированная система термомониторинга устраняет значительную часть указанных недостатков за счет непрерывного сбора данных, дистанционной передачи информации, автоматического построения температурных графиков и формирования оповещений при выходе параметров за установленные пределы. Однако сама по себе автоматизация измерений еще не является полноценной системой управления.

Для перехода от контроля к управлению необходимо, чтобы данные термомониторинга были связаны с технологическими решениями. Иначе система остается только цифровым журналом температуры. Практическая эффективность автоматизированного термомониторинга раскрывается только в том случае, если для каждого критического отклонения заранее определен порядок реагирования: усиление прогрева, восстановление теплового контура, продление выдерживания, запрет на распалубливание или корректировка графика работ.

Следовательно, автоматизированная система термомониторинга должна рассматриваться не как самостоятельный приборный комплекс, а как элемент организационно-технологической системы управления зимним бетонированием.

Контролируемые параметры температурного режима бетона

Для оперативного управления процессом твердения бетона необходимо определить систему параметров, характеризующих его тепловое состояние. В рамках предлагаемой методики к основным контролируемым параметрам относятся:

- текущая температура бетона;
- скорость изменения температуры во времени;
- показатель зрелости бетона;
- температурный градиент между различными зонами конструкции;
- продолжительность выдерживания в заданном температурном режиме.

Текущая температура бетона является базовым параметром контроля и может быть представлена в виде функции времени:

$$T = T(t), \quad (1)$$

где T – температура бетона, °C; t – время твердения, ч.

Однако для оценки состояния конструкции недостаточно знать не только температуру в отдельный момент времени. Важное значение имеет характер ее изменения. Скорость изменения температуры может быть выражена как:

$$dT/dt, \quad (2)$$

где dT/dt – скорость нагрева или охлаждения бетона, °C/ч.

Данный параметр позволяет выявлять резкое охлаждение или чрезмерный нагрев конструкции, которые могут приводить к температурным напряжениям и трещинообразованию.

Для оценки степени твердения бетона может применяться показатель зрелости, учиты-

Таблица 1. Основные критерии оценки

Контролируемый параметр	Предупреждающее состояние	Критическое состояние	Технологическое решение
Температура бетона $T(t)$	T приближается к $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	Усилить или немедленно включить прогрев, восстановить укрытие
Скорость охлаждения dT/dt	Наблюдается ускоренное охлаждение	$dT/dt < -k$	Снизить скорость охлаждения, усилить теплоизоляцию
Зрелость бетона $M(t)$	$M(t)$ ниже расчетной кривой	$M(t) < M_{\text{кр}}$ перед отключением прогрева	Продлить выдерживание, запретить распалубливание
Температурный градиент ΔT	ΔT приближается к предельному значению	$\Delta T > \Delta T_{\text{доп}}$	Выровнять температурное поле, изменить режим прогрева
Время выдерживания $t_{\text{в}}$	Недостаточный период выдерживания	$t_{\text{в}} < t_{\text{min}}$	Продлить выдерживание до достижения заданных критериев

вающий температурную историю конструкции. В общем виде показатель зрелости можно представить выражением:

$$M = \int (T(t) - T_0) dt, \quad (3)$$

где M – показатель зрелости бетона; $T(t)$ – температура бетона в момент времени t ; T_0 – базовая температура; t – время твердения.

Показатель зрелости позволяет перейти от простого контроля температуры к оценке фактического набора прочности бетона. При этом прочность бетона может быть представлена как функция зрелости:

$$R = f(M), \quad (4)$$

где R – прочность бетона.

Температурный градиент характеризует неравномерность температурного поля в конструкции:

$$\Delta T = T_1 - T_2, \quad (5)$$

где T_1 и T_2 – температуры в различных контрольных точках конструкции.

Контроль температурных градиентов особенно важен для массивных и протяженных конструкций, а также для элементов, имеющих открытые грани и зоны интенсивного охлаждения. Превышение допустимого температурного перепада может привести к возникновению растягивающих напряжений и образованию температурных трещин.

Таким образом, состояние бетона в процессе зимнего бетонирования может быть описано совокупностью параметров:

$$S = \{T(t), dT/dt, M(t), \Delta T, t_{\text{в}}\}, \quad (6)$$

где S – состояние системы; t_b – время выдерживания бетона в заданном температурном режиме.

Критические температурные отклонения

Для практического применения данных термомониторинга необходимо определить допустимые и критические области значений контролируемых параметров. В предлагаемой методике критическим температурным отклонением считается такое состояние, при котором один или несколько параметров выходят за пределы безопасного режима твердения бетона. Основные критерии оценки приведены в табл. 1.

Алгоритм оперативного управления температурным режимом

На основании выделенных параметров и критериев предлагается алгоритм оперативного управления температурным режимом бетона при зимнем бетонировании.

Алгоритм включает следующие этапы.

Этап 1. Подготовка к бетонированию.

На данном этапе определяются контрольные зоны конструкции, выбирается схема размещения датчиков, назначаются допустимые значения температуры, скорости охлаждения, температурных градиентов и зрелости бетона. Датчики устанавливаются в характерных зонах: в ядре сечения, у поверхности, в угловых участках и зонах вероятного интенсивного охлаждения.

Этап 2. Запуск мониторинга.

После укладки бетонной смеси система начинает непрерывную регистрацию температурных данных. На основании поступающих значений рассчитываются производные параметры: скорость изменения температуры, показатель зрелости, температурные перепады между контрольными точками.

Этап 3. Сравнение с критериями.

Полученные параметры сравниваются с допустимыми и критическими значениями. При нормальном состоянии система продолжает наблюдение. При приближении параметров к предельным значениям формируется предупреждение. При выходе за критические пределы формируется сигнал о необходимости корректирующего действия.

Этап 4. Принятие технологического решения.

Инженерно-технический персонал принимает решение на основании данных системы. Возможные действия включают усиление мощности прогрева, восстановление укрытия, продление времени выдерживания, изменение режима охлаждения, запрет распалубливания или корректировку графика производства работ.

Этап 5. Повторный контроль.

После выполнения корректирующих мероприятий система продолжает мониторинг и позволяет оценить эффективность принятых мер.

Этап 6. Документирование.

По завершении выдерживания формируется цифровой отчет, включающий температурные графики, сведения о достижении заданной зрелости бетона, события выхода параметров за пределы и принятые корректирующие действия.

Интеграция методики в процесс электротермического прогрева бетона

Наиболее рациональным направлением применения предложенной методики является ее интеграция в процесс электротермического прогрева бетона. При использовании ТМО температурный режим конструкции зависит от правильности укладки греющих проводов, своевременности включения прогрева, мощности теплового воздействия, качества укрытия и продолжительности выдерживания.

Система термомониторинга может быть внедрена в процесс ТМО без принципиального изменения существующей технологии. Установка датчиков выполняется на этапе подготовки к бетонированию совместно с монтажом греющих проводов. После укладки бетонной смеси и запуска прогрева система обеспечивает непрерывный контроль фактического температурного режима.

Важно отметить, что автоматизированный термомониторинг не отменяет необходимость ведения исполнительной документации. Напротив, он повышает достоверность данных, которые используются при оформлении журналов температурного контроля. Поэтому методику целесообразно рассматривать как фактическую замену ручного операционного контроля с сохранением формальных требований документирования.

Такой подход позволяет сохранить соответствие требованиям строительного контроля и одновременно повысить объективность наблюдения за процессом твердения бетона.

Практическая значимость методики

Практическая значимость предложенной методики заключается в снижении риска позднего выявления дефектов при зимнем бетонировании. В традиционной схеме дефекты могут быть обнаружены после распубликования конструкции либо по результатам лабораторных испытаний контрольных образцов через 28 суток. К этому моменту устранение нарушений может потребовать демонтажа, повторного бетонирования, переноса сроков и остановки смежных работ.

При применении автоматизированного термомониторинга отклонения выявляются в процессе твердения бетона, то есть до момента возникновения необратимых последствий. Например, снижение температуры в краевых зонах конструкции может быть обнаружено в первые часы после укладки смеси. Это позволяет своевременно усилить прогрев, восстановить укрытие или продлить выдерживание.

Особенно важен данный подход при строительстве многоэтажных жилых зданий, где монолитные работы связаны с графиками поставки и монтажа наружных ограждающих конструкций, работой смежных бригад и поточным методом организации строительства. Нарушение сроков на одном участке способно вызвать каскадное смещение последующих процессов.

Следовательно, эффект от применения методики заключается не только в повышении качества бетона, но и в сохранении управляемости строительного производства.

Заключение

В результате исследования разработана методика применения автоматизированной системы термомониторинга для оперативного управления температурным режимом бетона при зимнем бетонировании.

В отличие от подхода, при котором система термомониторинга рассматривается только

как средство фиксации температуры, предложенная методика связывает данные мониторинга с конкретными технологическими решениями. Это позволяет перейти от пассивного контроля к активному управлению процессом твердения бетона.

Была сформирована система контролируемых параметров температурного режима бетона, предложены критерии предупреждающих и критических температурных отклонений, разработан алгоритм принятия технологических решений на основе данных термомониторинга, обоснована возможность интеграции методики в процесс электротермического прогрева бетона, показана практическая значимость методики для снижения риска дефектов, сохранения сроков строительства и повышения достоверности строительного контроля.

Разработанная методика может быть использована при подготовке технологических карт и проектов производства работ на зимнее бетонирование монолитных железобетонных конструкций. Ее применение позволяет повысить надежность температурного контроля, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить более устойчивую организацию строительного процесса.

Литература

1. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87. – М. : Минрегион России, 2012. – 279 с.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М. : Минстрой России, 2018. – 168 с.
3. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01–99*. – М. : Минстрой России, 2020. – 119 с.
4. ГОСТ 18105–2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – М. : Стандартинформ, 2019. – 34 с.
5. Баженов, Ю.М. Технология бетона : учебник / Ю.М. Баженов. – М. : АСВ, 2011. – 528 с.
6. Ярошевич, М.П. Использование автоматизированной системы термомониторинга при зимнем бетонировании / М.П. Ярошевич, А.О. Хубаев, В.С. Голицын // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 10(112).
7. ASTM C1074-19e1. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. – West Conshohocken : ASTM International, 2019.
8. ACI PRC-306-16. Guide to Cold Weather Concreting / American Concrete Institute. – Farmington Hills : American Concrete Institute, 2016. – 26 p.
9. ACI PRC-308-16. Guide to External Curing of Concrete / American Concrete Institute. – Farmington Hills: American Concrete Institute, 2016. – 36 p.
10. Giatec Scientific Inc. SmartRock: Concrete Temperature and Strength Monitoring System [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.giatecscientific.com>.

References

1. SP 70.13330.2012. Nesushchie i ograzhdayushchie konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.03.01–87. – M. : Minregion Rossii, 2012. – 279 s.
2. SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozheniya. – M. : Minstroj Rossii, 2018. – 168 s.
3. SP 131.13330.2020. Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-01–99*. – M. : Minstroj Rossii, 2020. – 119 s.
4. GOST 18105–2018. Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti. – M. : Standartinform,

2019. – 34 s.

5. Bazhenov, YU.M. Tekhnologiya betona : uchebnik / YU.M. Bazhenov. – M. : ASV, 2011. – 528 s.

6. YArOshevich, M.P. Ispolzovanie avtomatizirovannoj sistemy termomonitoringa pri zimnem betonirovanii / M.P. YArOshevich, A.O. KHubaev, V.S. Golitsyn // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 10(112).

Methodology for the Application of an Automated Thermal Monitoring System for Real-Time Temperature Control during Winter Concrete Placement

M.P. Yaroshevich, A.O. Khubaev

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: winter concrete placement; temperature monitoring; automated temperature monitoring system; electric concrete heating; TMO; concrete temperature conditions; concrete curing; critical strength; construction supervision; quality control.

Abstract. This article examines the issue of controlling concrete temperature during monolithic construction in winter conditions. It demonstrates that traditional temperature monitoring methods, based on periodic manual measurements and logbook entries, do not ensure continuous monitoring or prompt response to deviations. The use of automated thermal monitoring systems as a means of improving the reliability of monitoring has previously been justified; however, the practical implementation of such systems requires the development of a methodology that links the obtained temperature data to specific technological solutions. The objective of this work is to develop a methodology for applying an automated thermal monitoring system for real-time control of concrete temperature during winter concrete placement. The article proposes a system of monitored parameters, including concrete temperature, rate of temperature change, concrete maturity index, and temperature gradients. Critical temperature deviations are defined, and a decision-making algorithm is proposed for their detection. The possibility of integrating automated thermal monitoring into the process of electrothermal concrete heating is demonstrated. The developed methodology allows for a transition from merely recording temperature parameters to controlling the concrete hardening process based on actual data, which helps reduce the risk of defects, improve the reliability of construction monitoring, and maintain the rhythm of work.

© М.П. Ярошевич, А.О. Хубаев, 2026

УДК 72.01

Branding of the City's Architectural Code

E.S. Ponomarev, L.M. Nasibullina, A.A. Valiullin

Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan (Russia)

Keywords and phrases: architectural code; city appearance; city identity; sustainable urban environment; urban images.

Abstract. The relevance of the topic is due to the need to preserve the unique appearance of cities in the context of global urbanization. The identification, development and creation of an individual architectural code will preserve the historical, cultural and architectural heritage, as well as create an environmental harmony of space. In the context of globalization and large-scale development, it is important to develop strategies that combine modern architecture with historical style, creating a sustainable and attractive urban environment. The study aims to develop a method for forming the architectural code of a city while preserving historical and cultural heritage and creating a sustainable urban environment. The research objectives are to analyze theoretical approaches, identify the factors of its formation and conduct a comparative analysis of 11 objects using the matrix method. The hypothesis of the study is identity, which is formed through historical, cultural and spatial characteristics using matrix analysis. For the research method, a scale of 8 parameters was used, where different ways of identifying identity were considered. As a result of the research, 5 principles of the architectural code were identified that will help create a harmonious architectural environment.

Against the background of globalization and rapid urbanization, the issue of preserving and understanding the identity of cities is becoming more acute. Identity itself is a significant factor in the long-term development and competitiveness of cities. When referring to the architectural level, the architectural identity of a city is not just a collection of buildings and structures, but an expressive visual and cultural code that reflects the historical development, values and uniqueness of the urban environment; it is appropriate to talk about the branding of the architectural code of the city.

The formation of an architectural code is influenced by a combination of circumstances, the natural and geographical environment, socio-cultural, political and economic processes. Two multidirectional requirements are relevant for urban practice today. On the one hand, it requires inclusion in the international architectural agenda, where the economic and prestigious value is often emphasized by the presence of high-rise buildings. On the other hand, it is necessary to carefully preserve the unique historical features related to the cultural heritage of the city.

Table 1. Analysis of the formation of architectural identity in cities

No.	Name of the studied object	Category	Landscaping	Historical preservation	Composition / form	Facade solution	Sections	Plans	Interior solution	Total score
1	Kindergarten "Ozornik"	*	*	*	*	*	*	*	*	70
2	Faculty of Radio and Television, Siligsky University	*	*	*	*	*	*	*	*	51
3	Les Barres Le Fouquet's	*	*	*	*	*	*	*	*	52
4	Residential building "Wellington House"	*	*	*	*	*	*	*	*	31
5	Guest house center in the Klyukina Gora park	*	*	*	*	*	*	*	*	68
6	Oxford metro	*	*	*	*	*	*	*	*	48
7	Complex of chapels, churches, and burial vaults	*	*	*	*	*	*	*	*	60
8	Valletta – econstruction of the historic center	*	*	*	*	*	*	*	*	73
9	Closed city	*	*	*	*	*	*	*	*	61
10	Red Cities of Morocco, Marrakech	*	*	*	*	*	*	*	*	68
11	Dubrovnik, Croatia	*	*	*	*	*	*	*	*	56

The purpose of this work is a detailed examination of the set of tools that create the external architectural appearance of the city.

The purpose of the study is to establish the conditions and methods of influence that form a special spatial language of urban development, and identify effective measures to preserve and further develop the distinctive architectural appearance of cities in the context of accelerated urban growth and strengthening international integration processes.

The research objectives are to analyze theoretical approaches to the concept of architectural code and its role in the development of the urban environment; to identify the historical, cultural, social and economic factors that determine the architectural code of the city.

The methodological basis of the research is the matrix scheme; in architectural studies it serves as a universal tool that allows you to organize and evaluate many properties of the objects under study. When considering the principles of folding the architectural code, referring to the matrix scheme made it possible to build a structured system for comparing various architectural solutions,

Table 2. Results of the analysis of the formation of architectural identity in cities

No.	Name of the studied object	Category	Landscaping	Historical preservation	Composition / form	Facade solution	Sections	Plans	Interior solution	Total score	Results
1	Kindergarten "Ozornik"	*	*	*	*	*	*	*	*	70	▲
2	Faculty of Radio and Television, Siligsky University	*	*	*	*	*	*	*	*	51	■
3	Les Barres Le Fouquet's	*	*	*	*	*	*	*	*	52	■
4	Residential building "Wellington House"	*	*	*	*	*	*	*	*	31	▼
5	Guest house center in the Klyukina Gora park	*	*	*	*	*	*	*	*	68	▲
6	Oxford metro	*	*	*	*	*	*	*	*	48	▼
7	Complex of chapels, churches, and burial vaults	*	*	*	*	*	*	*	*	60	▲
8	Valletta — reconstruction of the historic center	*	*	*	*	*	*	*	*	73	▲
9	Closed city	*	*	*	*	*	*	*	*	61	▲
10	Red Cities of Morocco, Marrakech	*	*	*	*	*	*	*	*	68	■
11	Dubrovnik, Croatia	*	*	*	*	*	*	*	*	56	▲

and the main guideline was the visual and aesthetic features of architectural solutions.

An array of 11 heterogeneous objects was formed as the basis for the study, including public places, residential modules and individual urban settlements. The selection was based on relevance, functional significance, novelty of the approach and accessibility of open information.

For comparative assessment of the object, a set of eight parameters was formed: category, landscaping, historical preservation, composition and form, plan, facade solutions, sections, interior design (Table 1). Each parameter was marked in the range from 1 to 10, and the basis was a professional analysis and comparison of visual, textual and graphic materials, including plans, sections, visualizations and author's descriptions.

When comparing the characteristics and features of objects, a matrix tool with a numerical range from 0 to 10 was used. The value "10" in this system means full compliance with the established criterion, while "0" indicates non-fulfillment or an unacceptable result.

The results of the comparison are displayed using a color notation system, a green triangle is placed at the maximum degree of coincidence, a yellow rectangle – if there is an incomplete match, and a red triangle – if there is a critical discrepancy (Table 2).

To make visual perception more vivid, the matrix elements are made in a smooth range, from



Fig. 1. The Hospitality Center. Kudykina Gora Park, Russia. Megabudka. 2019–2020/2020–2021

pale beige to deep brown. Brown indicates the positions between the extremes, while the lightest shade corresponds to the minimum, and dark brown corresponds to the maximum.

According to the final table, an average integral indicator was calculated for each object, and then the final rating was formed. The six projects that received the highest level of evaluation showed a comprehensive agreement in all basic areas. They served as a starting point for identifying architectural models and design approaches; further details are disclosed in the article.

The use of a matrix analytical approach in the course of the study made it possible to translate features that were previously perceived as subjective into a numerical form suitable for measurement. On this basis, it was possible to arrange the projects in a comparable row without relying on personal assessment, then to identify the samples that most strongly define the visual and spatial image of the city.

The assessment was based on the following parameters.

1. Category – a public building with a social and cultural function.
2. Landscaping, pre-designed spaces for the safe movement of pedestrians, landscaping and creating an environment designed for everyday convenience.
3. The preservation of historical heritage requires consideration of the historical situation and the preservation of elements of high value.
4. The compositional structure has a verified internal organization, and the three-dimensional appearance is endowed with pronounced architectural plasticity.
5. The plan provides for a reasonable allocation of functional areas, a clear spatial orientation system and compliance with applicable regulatory requirements.
6. When designing the exterior surfaces of the building, materials of the latest technological level and an architectural solution are used that organically correspond to the nearest building.
7. The sections make it possible to trace the structural structure of the building and the vertical placement of functional levels.
8. The interior design of the space is built as a system of practical, useful and visually expressive solutions, consistent with the intended role of the room.

Based on the results of the review of the collected data, the leaders included projects that fully



Fig. 2. Dubrovnik, Croatia

satisfied the totality of the identified requirements. These objects were characterized by a well-established relationship between respect for historical continuity and a course towards architectural renewal.

The results of the study made it possible to identify the main grounds for the formation of architectural identity. When creating new architectural projects, the starting point should be to correlate design solutions with the historically, culturally determined and spatially defined characteristics of a particular territory and environment. When placing a new structure in the existing urban fabric, it is necessary to ensure its organic interface with the environment so that the appearance and operation remain consistent. In architectural practice, it is appropriate to convey the signs of the current era, while respecting the historical heritage. In the design solution, it is necessary to coordinate practical suitability with rational use of space, and visual expressiveness with operational comfort and social value.

The research project ended with the compilation of a table of architectural prototypes; fragments of the urban environment were added to it, selected according to the expressiveness of the architectural appearance and the features defining the identity of the place. Then each prototype was considered through its connection with the historical heritage, reliance on local resources and methods of construction, scale, imaginative saturation and the degree of interface with the urban fabric. This set of landmarks allowed us to determine which architectural solutions and elements are most involved in creating a recognizable urban landscape.

A comparison of the objects from the table shows that the unique architectural appearance of the city is formed by the combined action of several factors, the preservation of historical and cultural monuments, and the use of traditional architectural models, taking into account current demands and socio-cultural, natural and climatic specifics of the region. The surrounding context – spatial and cultural – plays a significant role, when architecture is firmly correlated with a place, it is perceived as a natural part of the whole, and residents of the city have a sense of personal involvement.

Here, the use of regional raw materials and time-tested methods of building construction is crucial. When built-up forms grow out of a local object environment – from stone, wood, brick or clay – the connection with the natural features of the territory and the artisanal past turns out to be



Fig. 3. Valletta – reconstruction of the historical center, Malta, Valletta. Renzo Piano.
2009/2011–2015

strong, and recognition is simplified, and the image is preserved in the public consciousness.

The artistic and plastic expressiveness of the architectural appearance and its imaginative power play a special role here. When a structure's outline is clearly legible, its shape is atypically organized, and its composition contains noticeable accents, it begins to work as a recognizable marker in an urban environment. Such objects act as a kind of identification marks, according to which the city is easily correlated with a specific place.

Architectural identity does not arise in isolation from external circumstances, its nature is revealed through the connection of the building with the place, time of appearance and cultural memory of the environment. Therefore, buildings with a distinct individual character are more often organically integrated into the geographical, historical and social environment, rather than coming into conflict with it. Local features determine not only the selection of building materials and the accepted design scheme, but also how the appearance of the structure itself is perceived, including its silhouette, scale and arrangement of the exterior walls.

The question of time is not secondary here, a building that preserves its own face often grows out of a thoughtful dialogue between the past and the present. It does not literally repeat historical forms; on the contrary, the content of forms is reinterpreted through the demands of the day and today's ideas about beauty. With this approach, it is necessary to maintain a delicate balance between the identity of the project – its originality and individual character – and the degree of recognition based on typological or cultural associations that are understandable to local residents.

It follows from the above that a systematic study of architectural patterns plays an important role in creating a project. When creating an approach to branding in the architectural field, it is necessary to take into account:

1. Consideration of the system of planning and architectural characteristics:

- 1.1. The extent and spatial parameters of the urban planning grid are considered, since it defines the integral composition and the ratio of elements.

- 1.2. A comparison of the past and present architectural appearance of the area makes it possible to recognize its unique properties and cultural identity.

2. Preparation of basic stylistic design:

- 2.1. Identification of architectural trends specific to a particular locality or regional entity.

2.2. Unified design techniques, outlines, ratios and decorative content form a recognizable image of the urban environment.

3. Accounting of finishing materials and facade solutions:

3.1. Comprehensive assessment of materials used in historical buildings, taking into account the color scheme, surface texture and technological specifics.

3.2. Creation of normative guidelines and practical guidelines for the selection and use of materials that help the facility to keep in touch with its history and unique appearance.

4. Creating architectural code:

4.1. A summary of regulatory requirements and guidelines that aligns the previously mentioned parameters – dimensions, artistic appearance, materials used and architectural solutions of facades.

4.2. When creating new urban facilities, it is necessary to rely on common guidelines so that the coherence and integrity of the urban environment are preserved.

4.3. The Code should retain the ability to change in order to meet the current demands of the present, without losing its unique appearance and connection with the historically established environment.

5. Visualization and testing:

5.1. The creation of visual samples, design mockups and recommendations reflects the already established architecture code.

5.2. Experts conduct a substantive exchange of views and link positions with the participants whose interests are affected.

The matrix of architectural analogues made it possible to evaluate architectural identity not by chance, but by a set of landmarks, the main evaluation parameters were ordered and recurring features were identified, on the basis of which it is possible to purposefully build architectural identity in the current conditions.

The results of comparing objects that have already been created in different cities indicate that the identity of the environment arises as a result of the interaction of historically determined, culturally determined, materially and spatially organized characteristics, and urban planning measures preserve this set of features and make it more pronounced.

Against the background of globalization, due to which urban centers are increasingly losing recognition, the conscious preservation of architectural identity is of particular value, it is one of the main guidelines for long-term design and public benefit. When an architectural brand is formed for a particular locality, this practice helps to preserve the cultural value of the territory. The research study of the recognition of a place and its local identity allows us to build norms that determine the development and ordering of the urban environment.

References

1. Аванесов, С.С. Город: в поисках идентичности / С.С. Аванесов, Н.Г. Федотова. – СПб. : Алетей, 2022. – 424 с. : ил.
2. Линч, К. Образ города / К. Линч. – М. : Стройиздат, 1982. – 328 с.
3. Гутнов, А.Э. Будущее города / А.Э. Гутнов, И.Г. Лежава. – М. : Стройиздат, 1977. – 126 с.
4. Глазычев, В.Л. Город без границ / В.Л. Глазычев. – М. : Территория будущего, 2011. – 400 с.
5. Перов, Ф.В. Влияние морфологии архитектуры исторического города на проблемы идентификации городской среды / Ф.В. Перов // Архитектура, градостроительство и дизайн. – 2015. – № 6. – С. 10–18.
6. Novostroycity.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://novostroycity.ru/>

journals/arhitektura-i-dizajn/pervyj-v-mire-domnapechatannyj-na-3d-printere.

7. Totalarch.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://totalarch.com/aleksandra-sytnikova-chto-takoe-dizayn-kodgorodov-na-samom-dele>.

8. Archi.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://archi.ru/russia/95374/arkticheskii-kod>.

9. Куприянов, В.Н. Потенциал проектной деятельности при изучении архитектурной идентичности / В.Н. Куприянов, И.Т. Мирсаяпов, И.Ф. Сайфулин, А.Т. Хайрулина // Известия КГАСУ. – 2023. – № 1(63). – С. 84–93. – DOI : 10.52409/20731523_2023_1_84. – EDN: LDMFUJ.

10. Archi.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://archi.ru/projects/world/6151/valletta-rekonstrukciya-istoricheskogo-centra>.

11. Archi.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://archi.ru/projects/russia/17367/centr-gostepriimstva-v-parke-kudykina-gora>.

12. Lot.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.lot.com/pl/en/explore/inspirations/blog/dubrovnik-surroundings>.

13. Гришина, М.П. Методика выявления эталонных архитектурно-пространственных решений вузов с использованием графической матрицы / М.П. Гришина, А.Е. Михайлова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2024. – Т. 14. – № 3(50). – С. 617–628. – DOI: 10.21285/2227-2917-2024-3-617-628. – EDN: ZWKPBVR.

14. Пономарев, Е.С. Проектная стратегия территориального брендинга / Е.С. Пономарев, К.С. Ившин // Известия КГАСУ. – 2019. – № 4(50). – С. 100–107.

References

1. Avanesov, S.S. Gorod: v poiskakh identichnosti / S.S. Avanesov, N.G. Fedotova. – SPb. : Aletejya, 2022. – 424 s. : il.

2. Lynch, K. Obraz goroda / K. Lynch. – M. : Strojizdat, 1982. – 328 s.

3. Gutnov, A.E. Budushchee Goroda / A.E. Gutnov, I.G. Lezhava. – M. : Strojizdat, 1977. – 126 s.

4. Glazychev, V.L. Gorod bez granits / V.L. Glazychev. – M. : Territoriya budushchego, 2011. – 400 s.

5. Perov, F.V. Vliyanie morfologii arkhitektury istoricheskogo goroda na problemy identifikatsii gorodskoj sredy / F.V. Perov // Arkhitektura, gradostroitelstvo i dizajn. – 2015. – № 6. – С. 10–18.

6. Novostroycity.ru [Electronic resource]. – Access mode : <https://novostroycity.ru/journals/arhitektura-i-dizajn/pervyj-v-mire-domnapechatannyj-na-3d-printere>.

7. Totalarch.com [Electronic resource]. – Access mode : <https://totalarch.com/aleksandra-sytnikova-chto-takoe-dizayn-kodgorodov-na-samom-dele>.

8. Archi.ru [Electronic resource]. – Access mode : <https://archi.ru/russia/95374/arkticheskii-kod>.

9. Kupriyanov, V.N. Potentsial proektnoj deyatel'nosti pri izuchenii arkhitekturnoj identichnosti / V.N. Kupriyanov, I.T. Mirsayapov, I.F. Sajfulin, A.T. KHajrulina // Izvestiya KGASU. – 2023. – № 1(63). – С. 84–93. – DOI : 10.52409/20731523_2023_1_84. – EDN: LDMFUJ.

10. Archi.ru [Electronic resource]. – Access mode : <https://archi.ru/projects/world/6151/valletta-rekonstrukciya-istoricheskogo-centra>.

11. Archi.ru [Electronic resource]. – Access mode : <https://archi.ru/projects/russia/17367/centr-gostepriimstva-v-parke-kudykina-gora>.

12. Lot.com [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.lot.com/pl/en/explore/inspirations/blog/dubrovnik-surroundings>.

13. Grishina, M.P. Metodika vyyavleniya etalonnykh arkhitekturno-prostranstvennykh reshenij vuzov s ispolzovaniem graficheskoy matritsy / M.P. Grishina, A.E. Mikhajlova // Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost. – 2024. – T. 14. – № 3(50). – S. 617–628. – DOI: 10.21285/2227-2917-2024-3-617-628. – EDN: ZWKPBR.

14. Ponomarev, E.S. Proektnaya strategiya territorialnogo brendinga / E.S. Ponomarev, K.S. Ivshin // Izvestiya KGASU. – 2019. – № 4(50). – S. 100–107.

Брендинг архитектурного кода города

Е.С. Пономарев, Л.М. Насибуллина, А.А. Валиуллин

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Казань (Россия)*

Ключевые слова и фразы: архитектурный код; городские образы; идентичность города; облик города.

Аннотация. Актуальность темы обусловлена необходимостью сохранения уникального облика городов в условиях глобальной урбанизации. Выявление, разработка и создание индивидуального архитектурного кода сохранит историческое, культурное и архитектурное наследие, а также создаст средовую гармонию пространства. В условиях глобализации и масштабной застройки важно разрабатывать стратегии, сочетающие современную архитектуру с историческим стилем, формируя устойчивую и привлекательную городскую среду. Целью исследования было разработать метод формирования архитектурного кода города с сохранением историко-культурного наследия и создать устойчивую городскую среду. Задача данного исследования – анализ теоретических подходов, выявление факторов его формирования и проведение сравнительного анализа по 11 объектам с помощью матричного метода. Гипотезой исследования является, идентичность, которая формируется через историко-культурные и пространственные характеристики с помощью матричного анализа. Для метода исследования использовалась шкала из 8 параметров, где рассматривались разные способы выявления идентичности. В результате исследования были выявлены 5 принципов архитектурного кода, которые будут помогать в создании гармоничной архитектурной среды.

© E.S. Ponomarev, L.M. Nasibullina, A.A. Valiullin, 2026

УДК 796

Влияние реконструкции олимпийских сооружений на развитие массового спорта в России

М.Х. Якубов, Н.Н. Фролова, К.С. Шадрина

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: здоровье; зимние Олимпийские игры 2014; постолимпийские пространства; реконструкция объектов; спорт.

Аннотация. В статье исследуется опыт адаптации реконструируемых олимпийских объектов, построенных к Олимпийским играм 2014 года в Сочи, для использования в массовом спорте. Анализируется стратегия преобразования объектов, предназначенных для профессионального уровня, в многофункциональные спортивные центры, доступные для большинства слоев населения. Описываются механизмы интеграции ключевых сооружений Олимпийских игр в спортивную жизнь страны, а также их влияние на популярность зимних видов спорта и укрепление здоровья населения.

Актуальность темы обоснована проблемой рационального использования объектов крупных спортивных событий. По завершении Олимпиад страны часто сталкиваются с проблемой эксплуатации дорогостоящих объектов, имеющих узкую специализацию. Опыт России по использованию объектов Олимпиады в Сочи является примером успешного внедрения инфраструктуры мирового уровня в развитие общедоступного спорта.

Цели: определить успешные практики трансформации специализированных спортивных объектов; доказать, что их реконструкция и управление подобными объектами позволяют сохранить функциональность и создать условия для вовлечения граждан в занятие спортом.

Задачи: изучить внедрение объектов зимних Олимпийских игр 2014 года в Сочи в многофункциональные спортивные центры для общедоступного использования; проанализировать действия для интеграции профессиональных объектов в площадки для большинства слоев населения; выявить социальные и экономические влияния реконструкции объектов на развитие спорта; предложить

меры для оптимизации использования объектов олимпийского наследия.

Гипотеза исследования: предполагается, что комплексная реконструкция и эффективное управление олимпийскими объектами способствуют не только сохранению их функциональности, но и значительному росту вовлеченности населения в массовый спорт.

Методы исследования: теоретический анализ – изучение научной литературы, нормативных документов, государственных программ развития спорта; сравнение – сопоставление начального предназначения объектов и существующих функций; систематизация – анализ объектов как системы с учетом экономических и социальных аспектов.

Результаты исследования: выявлены ключевые механизмы успешной трансформации олимпийских объектов в Сочи, подтверждена их роль в развитии массового спорта, предложены рекомендации по дальнейшему совершенствованию управления и популяризации зимних видов спорта среди различных групп населения.

Концепция внедрения объектов Олимпийских игр

Благодаря зимним Олимпийским играм 2014 года в Сочи Россия получила шанс продемонстрировать свои способности в организации мероприятия мирового масштаба, а также создать инфраструктуру, способную стать основой для развития региона. Эффективность внедрения профессиональных спортивных сооружений в систему массового использования стала ключевой задачей постолимпийского периода. Этот подход позволил избежать появления так называемых «белых слонов» – крупных проектов, которые невозможно окупить [5–7; 12].

Анализ конкретных объектов позволяет оценить успешность стратегии.

Ледовый дворец «Большой» сегодня – это не только арена для хоккейных соревнований, но и многофункциональный комплекс, где проводятся матчи, концерты и шоу. Главное – здесь организованы регулярные массовые катания, а также обучение хоккеем и фигурному катанию, что способствует подготовке спортивного резерва и поддержанию физической активности населения [8; 11].

Олимпийский стадион «Фишт» – архитектурный символ Игр, который успешно выполняет функцию концертной и спортивной площадки, крупнейшей на юге России. Стадион принимал матчи чемпионата мира по футболу 2018 года и продолжает функционировать как площадка для музыкальных фестивалей и крупных событий, а также как общественное пространство.

Адаптация профессиональных объектов в места для любителей и начинающих спортсменов

Одна из важнейших задач после проведения Олимпиады – адаптация профессиональных объектов для массового использования. От того, насколько успешно будет проведена эта

трансформация, зависит станут ли эти площадки местами для оздоровления населения.

Примером грамотного зонирования является горнолыжный комплекс «Роза Хутор». Для тренировок сборных команд сохранены сложнейшие олимпийские трассы, такие как «Кобра». Для любителей и начинающих спортсменов созданы трассы различной сложности. Благодаря развитой системе проката и работе инструкторов курорт превратился в центр активного отдыха, доступный для людей с разным уровнем подготовки.

Для активного вовлечения населения были разработаны специальные программы. На базе объектов открыты секции для разных уровней подготовки, что позволяет новичкам безопасно осваивать спорт, а опытным – совершенствоваться. Также введены услуги проката качественного инвентаря и консультации инструкторов. Эти меры помогли снизить барьеры для занятий такими сложными видами спорта, как лыжи и сноубординг. Для полного погружения в спортивную среду проводятся соревнования, фестивали, марафоны и забеги.

Влияние реконструкции на социальные и экономические показатели

Реализация проекта строительства и реконструкции объектов в Сочи оказала значительное влияние на социальную и экономическую сферы региона. Это отражается как в качественных, так и в количественных показателях.

Организация Олимпиады была сопряжена с экономическими рисками. Одной из проблем стала высокая стоимость содержания масштабных узкоспециализированных объектов. Реальные расходы на подготовку Олимпиады, как правило, более чем в два раза превышали ожидаемые, что создавало нагрузку на финансовую составляющую и требовало поиска путей окупаемости в условиях, когда спрос мог оказаться ниже предложения.

Благодаря программе реконструкции объектов олимпийского наследия в Сочи активно начал развиваться туризм. Туристический поток увеличился в 10 раз, что положительно сказалось на экономике региона. Развитие экономики позволило обновить практически все ее сферы: транспорт, энергетику, инженерную инфраструктуру, ЖКХ, социальную сферу. Инвестиции в проект составили около 1,6 трлн рублей, из которых 80 % были направлены на развитие инфраструктуры региона. Были благоустроены городские пространства, такие как набережная «Ривьера», набережная «Маяк», сквер «Стерео», что повысило удовлетворенность как жителей, так и туристов.

Предложения по использованию и развитию полученного опыта

Реконструкция и использование постолимпийских пространств стали успешным и ценным опытом, который следует распространять на другие регионы России. В дальнейшем необходимо углублять разработку подобных программ с учетом новых знаний.

Например, на базе таких объектов возможно создавать учебные центры для подготовки и пополнения олимпийского резерва страны. Следует формализовать и расширить программы ознакомительных экскурсий в Сочи для популяризации не только спорта, но и смежных профессий, необходимых для организации крупных спортивных мероприятий, – инженеров, экологов, строителей.

Также важно поддерживать интерес и вовлеченность населения через создание любительских лиг по зимним видам спорта. Регулярные турниры будут способствовать развитию здоровой конкуренции и долгосрочному интересу к спорту.

Ключевая задача на будущее – еще на этапе проектирования крупных спортивных объектов детально прорабатывать планы их использования после завершения соревнований.

Это позволит создавать более многофункциональные и легко адаптируемые сооружения.

Заключение

Таким образом, проведенный анализ реконструкции объектов олимпийского наследия демонстрирует успешную модель трансформации масштабного мероприятия в пространство для развития общедоступного спорта и туризма. Ключевые факторы успеха: использование многофункциональности объектов, разделение территории на профессиональную и любительскую зоны, интеграция в экономику страны через туризм.

Основными достижениями стали: развитие массового спорта за счет адаптации специализированных объектов, создание новых рабочих мест, рост туризма и популяризация зимних видов спорта. Опыт Сочи доказывает, что грамотное управление постолимпийскими объектами позволяет избежать появления «белых слонов» и создать долгосрочный ресурс для развития общедоступного спорта и укрепления здоровья граждан. Этот успешный опыт необходимо учитывать при реализации будущих аналогичных проектов.

Литература

1. Олимпийские резервы экономики [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://econs.online/articles/ekonomika/olimpiyskie-rezervy-ekonomiki/>.
2. Экономическое влияние Олимпийских игр на принимающие страны [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cbs-spb.ru/ekonomicheskoe-vliyanie-olimpijskix-igr-na-prinimayushhie-strany/>.
3. The Olympics: A Complex Catalyst for Urban Redevelopment [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.citydetect.com/blog/the-olympics-a-complex-catalyst-for-urban-redevelopment>.
4. Жизнь после Игр: во что превращаются олимпийские объекты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.forbes.ru/forbeslife-photogallery/327545-zhizn-posle-igr-vo-chto-prevrashchayutsya-olimpiiskie-obekty>.
5. Как девелоперы Сочи приняли эстафету Олимпийского строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kuban.plus.rbc.ru/news/660d67167a8aa93bb370ff28>.
6. Прыткова, Е.Г. Олимпийские объекты: проблемы финансирования и содержания / Е.Г. Прыткова, Е.А. Пак, С.С. Попова, С.В. Сурнина // Международный журнал социальных и гуманитарных наук. – 2016. – Т. 7. – № 1. – С. 219–222.
7. Проектирование и строительство олимпийских объектов Сочи-2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.icsgroup.ru/green/publications/detail.php?ID=224440>.
8. Заседание Совета по развитию физической культуры и спорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://kremlin.ru/events/president/news/46759>.
9. Мотцулев, М.Г. История Олимпийских игр как международного спортивного соревнования и их значение в развитии мирового сообщества / М.Г. Мотцулев, Е.В. Егорычева // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 6-1. – С. 170–175.
10. Проблемы и перспективы развития физической культуры и спорта в современных социально-экономических условиях : Сборник докладов XVII международной научно-практической конференции. – М., 2024.
12. Бумарсков, П.А., Социально-экономические аспекты развития физической культуры и спорта в субъектах РФ / Н.Н. Бумарскова, В.В. Бизяев // Культура физическая и здоровье. – 2024. – № 2(90). – С. 33–38.

13. Бумарсков, П.А., Развитие физической культуры и спорта в субъектах РФ с точки зрения социально-экономических аспектов / Н.Н. Бумарскова, В.В. Бизяев // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 6(156). – С. 183–187.

References

1. Olimpijskie rezervy ekonomiki [Electronic resource]. – Access mode : <https://econs.online/articles/ekonomika/olimpijskie-rezervy-ekonomiki/>.
2. Ekonomicheskoe vliyanie Olimpijskikh igr na prinimayushchie strany [Electronic resource]. – Access mode : <https://cbs-spb.ru/ekonomicheskoe-vliyanie-olimpijskix-igr-na-prinimayushhie-strany/>.
4. Zhizn posle Igr: vo chto prevrashchayutsya olimpijskie obekty [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.forbes.ru/forbeslife-photogallery/327545-zhizn-posle-igr-vo-cto-prevrashchayutsya-olimpijskie-obekty>.
5. Kak developery Sochi prinyali estafetu Olimpijskogo stroitelstva [Electronic resource]. – Access mode : <https://kuban.plus.rbc.ru/news/660d67167a8aa93bb370ff28>.
6. Prytkova, E.G. Olimpijskie obekty: problemy finansirovaniya i soderzhaniya / E.G. Prytkova, E.A. Pak, S.S. Popova, S.V. Surnina // Mezhdunarodnyy zhurnal sotsialnykh i gumanitarnykh nauk. – 2016. – T. 7. – № 1. – S. 219–222.
7. Proektirovanie i stroitelstvo Olimpijskikh obektov Sochi-2014 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.icsgroup.ru/green/publications/detail.php?ID=224440>.
8. Zasedanie Soveta po razvitiyu fizicheskoy kultury i sporta [Electronic resource]. – Access mode : <http://kremlin.ru/events/president/news/46759>.
9. Mottsulev, M.G. istoriya olimpijskikh igr kak mezhdunarodnogo sportivnogo sorevnovaniya i ikh znachenie v razvitii mirovogo soobshchestva / M.G. Mottsulev, E.V. Egorycheva // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2021. – № 6-1. – S. 170–175.
10. Problemy i perspektivy razvitiya fizicheskoy kultury i sporta v sovremennykh sotsialno-ekonomicheskikh usloviyakh : Sbornik dokladov XVII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. – M., 2024.
12. Bumarсков, P.A., Sotsialno-ekonomicheskie aspekty razvitiya fizicheskoy kultury i sporta v subektakh RF / N.N. Bumarскова, V.V. Bizyaev // Kultura fizicheskaya i zdorove. – 2024. – № 2(90). – S. 33–38.
13. Bumarсков, P.A., Razvitie fizicheskoy kultury i sporta v subektakh RF s tochki zreniya sotsialno-ekonomicheskikh aspektov / N.N. Bumarскова, V.V. Bizyaev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 6(156). – S. 183–187.

Impact of Reconstruction of Olympic Facilities on the Development of Mass Sports in Russia

M.K. Yakubov, N.N. Frolova, K.S. Shadrina

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: 2014 Winter Olympics; facility reconstruction; post-Olympic spaces; sport; health.

Abstract. The article examines the experience of adapting reconstructed Olympic facilities built for the 2014 Sochi Olympic Games for use in mass sports. The strategy of transforming facilities originally intended for professional use into multifunctional sports centers accessible to the majority of the population is analyzed. The mechanisms for integrating key Olympic structures into the country's sports life, as well as their impact on the popularity of winter sports and public health improvement, are described.

The relevance of the topic is justified by the problem of rational use of large-scale sports event facilities. After the Olympics, countries often face the challenge of operating expensive, highly specialized facilities. Russia's experience in utilizing Sochi's Olympic infrastructure serves as an example of successfully integrating world-class facilities into the development of accessible sports for all.

The objectives are to identify successful practices in transforming specialized sports facilities; to prove that their reconstruction and management help maintain functionality and create conditions for involving citizens in sports activities.

The tasks are to study the integration of facilities from the 2014 Sochi Winter Olympics into multifunctional sports centers for public use; to analyze actions for integrating professional facilities into spaces accessible to the majority of the population; to identify the social and economic impacts of facility reconstruction on sports development; to propose measures for optimizing the use of Olympic legacy facilities.

The research hypothesis assumes that comprehensive reconstruction and effective management of Olympic facilities contribute not only to maintaining their functionality but also to a significant increase in public involvement in mass sports.

Research methods: theoretical analysis – study of scientific literature, regulatory documents, and state sports development programs; comparison – juxtaposing the original purpose of facilities with their current functions; systematization – analyzing facilities as a system considering economic and social aspects.

Research results: key mechanisms for the successful transformation of Olympic facilities in Sochi have been identified; their role in the development of mass sports has been confirmed; recommendations have been proposed for further improving management and promoting winter sports among various population groups.

© М.Х. Якубов, Н.Н. Фролова, К.С. Шадрина, 2026

УДК 69.003:658

Концепция формирования организационных структур при реализации объектов жилищного строительства

А.А. Лapidус, Т.Т. Алборов

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: блок-схема; жилищное строительство; кодирование; концептуальная модель; организационная структура; факторы влияния.

Аннотация. Целью данной статьи является развитие инструментария для формирования организационных структур участников строительства жилых объектов на основе выявления ключевых факторов влияния. Задачи исследования: систематизировать внешние и внутренние факторы, определяющие выбор организационной структуры для застройщика, технического заказчика, генерального проектировщика и генерального подрядчика; разработать концептуальную модель, отражающую логику этого выбора. Гипотеза заключается в предположении, что различные факторы (масштаб портфеля проектов, сложность объекта, география строительства и др.) по-разному влияют на организационную структуру каждого участника и их системный учет позволяет обоснованно подходить к формированию структуры. Методы исследования: системный анализ, обобщение практического опыта (более 20 реализованных жилых проектов в Москве и Московской области, 2019–2024 гг.), экспертные опросы руководителей технических заказчиков и девелоперских компаний. Результаты: выявлены и сгруппированы по участникам ключевые факторы, которым присвоены коды для последующего математического моделирования. Разработана концептуальная блок-схема – укрупненная модель, иллюстрирующая логику выбора типа организационной структуры. Результаты создают базу для последующей разработки полноценного программного инструмента.

В первой статье были рассмотрены особенности формирования организационных структур при реализации жилищных проектов, выделены ключевые функции застройщика, технического заказчика, генерального проектировщика и генерального подрядчика, а также показано наличие дублирования функций в стандартных схемах взаимодействия [1; 2]. Для

Таблица 1. Факторы, влияющие на формирование организационной структуры заказчика (застройщика)

Участник	Факторы	Влияние на организационную структуру	Код фактора
Заказчик/ инвестор/ застройщик	Модель бизнеса (девелопер vs инвестор)	Девелопер (полный цикл) имеет разветвленную структуру с отделами продаж, маркетинга, управления проектами. Инвестор может ограничиться тонким проектным офисом, передав все Техзаказчику	F1
	Источники финансирования (собственные/кредитные/дольщики)	Работа по ФЗ-214 (долевое строительство) требует создания отдела работы с дольщиками, юридической службы для соблюдения закона	F2
	Портфель проектов (масштаб, разнородность)	Диверсификация (жилье, коммерция, инфраструктура) ведет к созданию дивизиональной структуры по типам проектов	F3
	Степень вертикальной интеграции (наличие собственного проектного института, строительного подразделения)	Интеграция ведет к созданию холдинговой структуры с усложнением управленческих связей	F4
	Требования к скорости вывода проекта на рынок	Акцент на скорость → создание кросс-функциональных команд быстрого запуска (<i>task force</i>) с широкими полномочиями	F5
	Необходимость взаимодействия с властями и общественностью	Крупные проекты требуют создания отдела по GR (<i>government relations</i>) и связей с общественностью	F6
	Модель бизнеса (девелопер vs инвестор)	Девелопер (полный цикл) имеет разветвленную структуру с отделами продаж, маркетинга, управления проектами. Инвестор может ограничиться тонким проектным офисом, передав все Техзаказчику	F7

устранения этого дублирования было предложено разработать инструмент, который позволит на основе анализа конкретных факторов формировать оптимальный набор функций и выбирать рациональный тип организационной структуры [3; 4]. В настоящей статье представлены результаты исследования факторов, влияющих на формирование организационных структур, а также логика выбора типа структуры на основе этих факторов.

В ходе исследования, основанного на анализе более 20 реализованных жилых проектов в Москве и Московской области (2019–2024 гг.) и экспертных опросах 15 руководителей технических заказчиков и девелоперских компаний, были выявлены и систематизированы факторы, оказывающие наибольшее влияние на формирование организационных структур [5; 6]. Факторы сгруппированы по участникам: заказчик (застройщик), технический заказчик, генеральный проектировщик и генеральный подрядчик. Для удобства последующего математического моделирования каждому фактору присвоен уникальный код. В таблицах 1–4 представлены кодированные значения факторов [7].

Систематизация факторов для заказчика показывает, что ключевыми являются бизнес-модель, структура портфеля и источники финансирования. Перейдем к факторам, влияющим на организационную структуру технического заказчика – центрального звена управления проектом.

Для технического заказчика наиболее значимыми оказались масштаб управления и сте-

Таблица 2. Факторы, влияющие на формирование организационной структуры технического заказчика

Участник	Факторы	Влияние на организационную структуру	Код фактора
Технический заказчик (управляющий проектом)	Масштаб и количество одновременно управляемых проектов	При росте числа проектов возникает необходимость в создании программного офиса (РМО), централизации закупок и контроля	F8
	Степень детализации требований Заказчика	Жесткие требования ведут к увеличению штата контролеров и специалистов по согласованиям	F9
	Уровень доверия со стороны Заказчика	Низкое доверие → усиление отчетности и многоуровневая система согласований. Высокое доверие → упрощение структуры, делегирование	F10
	Необходимость координации множества субподрядчиков и проектировщиков	Требуется введение отделов координации и интеграции, выделения менеджеров по направлениям	F11
	Требования к скорости прохождения экспертиз и согласований	Создание отдельного подразделения или выделенных специалистов по работе с госорганами и экспертизой	F12
	Наличие собственного технического надзора vs аутсорсинг	Решение о создании внутреннего отдела технадзора или найме внешних инспекторов напрямую влияет на структуру и численность	F13
	Внедрение единой цифровой платформы управления проектом	Позволяет сократить административный персонал, но требует введения IT-специалистов в штат	F14

Таблица 3. Факторы, влияющие на формирование организационной структуры генерального проектировщика

Участник	Факторы	Влияние на организационную структуру	Код фактора
Генеральный проектировщик	Сложность и инновационность архитектурно-технических решений	Требуется создание исследовательских групп или департаментов инноваций, привлечения узких внешних экспертов	F15
	Объем и срочность проектных работ	При высокой загрузке структура может перестраиваться в матричную: постоянные отделы (архитектура, конструкции) + временные проектные команды	F16
	Количество и специализация субпроектировщиков	Необходимость в усилении отдела координации и проверки смежников, введении главного инженера проекта (ГИП) как интегратора	F17
	Требования к авторскому надзору	Если требуется постоянное присутствие на объекте, создаются группы авторского надзора в региональных офисах	F18
	Работа по BIM	Создание BIM-отдела, введение ролей BIM-координатора, менеджера по информационному моделированию	F19
	Жесткие сроки и итеративность проектирования	Переход к гибким методологиям (<i>Agile</i> в проектировании) требует создания кросс-функциональных команд и сокращения иерархии	F20
	Сложность и инновационность архитектурно-технических решений	Требуется создание исследовательских групп или департаментов инноваций, привлечения узких внешних экспертов	F21

Таблица 4. Факторы, влияющие на формирование организационной структуры генерального подрядчика

Участник	Факторы	Влияние на организационную структуру	Код фактора
Генеральный подрядчик	Характер строительства (типовое/уникальное)	Уникальные объекты требуют создания отдельных проектных дирекций или усиленных Управлений строительства	F22
	Количество и география строек	Распределенные объекты ведут к созданию региональных дирекций с делегированием полномочий	F23
	Доля собственных сил vs субподряд	Высокая доля субподряда требует усиления отдела субподрядчиков, тендерного и контрольного блоков	F24
	Требования к безопасности и охране труда (ОТ и ПБ)	Ведет к созданию сильной службы ОТ и ПБ с инспекторами на каждой площадке	F25
	Необходимость оперативного снабжения и логистики	Создание единого центра снабжения и логистики вместо закупок на каждой площадке	F26
	Требования к качеству и гарантиям	Формирование внутренней службы технического контроля (ОТК), независимой от производителей	F27
	Работа по графику <i>just in time</i> и <i>lean-construction</i>	Требует перехода к плоским структурам на площадке с прямым подчинением прорабов руководителю проекта	F28

пень доверия со стороны застройщика. Рассмотрим теперь факторы, специфичные для генерального проектировщика.

У проектировщика решающую роль играют сложность решений, применение *BIM* и необходимость координации субпроектировщиков. Наконец, проанализируем факторы для генерального подрядчика.

Выявленные факторы действуют не изолированно, а в совокупности [8]. Для принятия решения о типе организационной структуры важно определить ключевые стратегические факторы для каждого участника. На основе обобщения практики и экспертных оценок разработана концептуальная модель в виде блок-схемы (рис. 1). Эта модель не является готовым инструментом, но представляет собой укрупненную логическую схему, которая позволяет последовательно, отвечая на вопросы о масштабе портфеля заказчика, сложности объекта, объеме и повторяемости работ у проектировщика, а также географии объекта у подрядчика, наметить рациональный тип структуры. Дальнейшая детализация и преобразование этой схемы в полноценный алгоритм с численными оценками факторов – задача последующих этапов исследования.

Логика, заложенная в блок-схему, следующая. Для заказчика ключевым является масштаб портфеля: если портфель состоит из одного проекта, достаточна проектная команда или куратор; если проектов несколько, требуется дивизиональная или матричная структура [3; 4]. Для технического заказчика определяющим фактором выступает сложность объекта: типовой объект может обслуживаться линейно-функциональной структурой, уникальный требует матричной или проектной структуры с сильным ядром [2]. Для генерального проектировщика важны объем и повторяемость работ: уникальные проекты ведутся проектно-

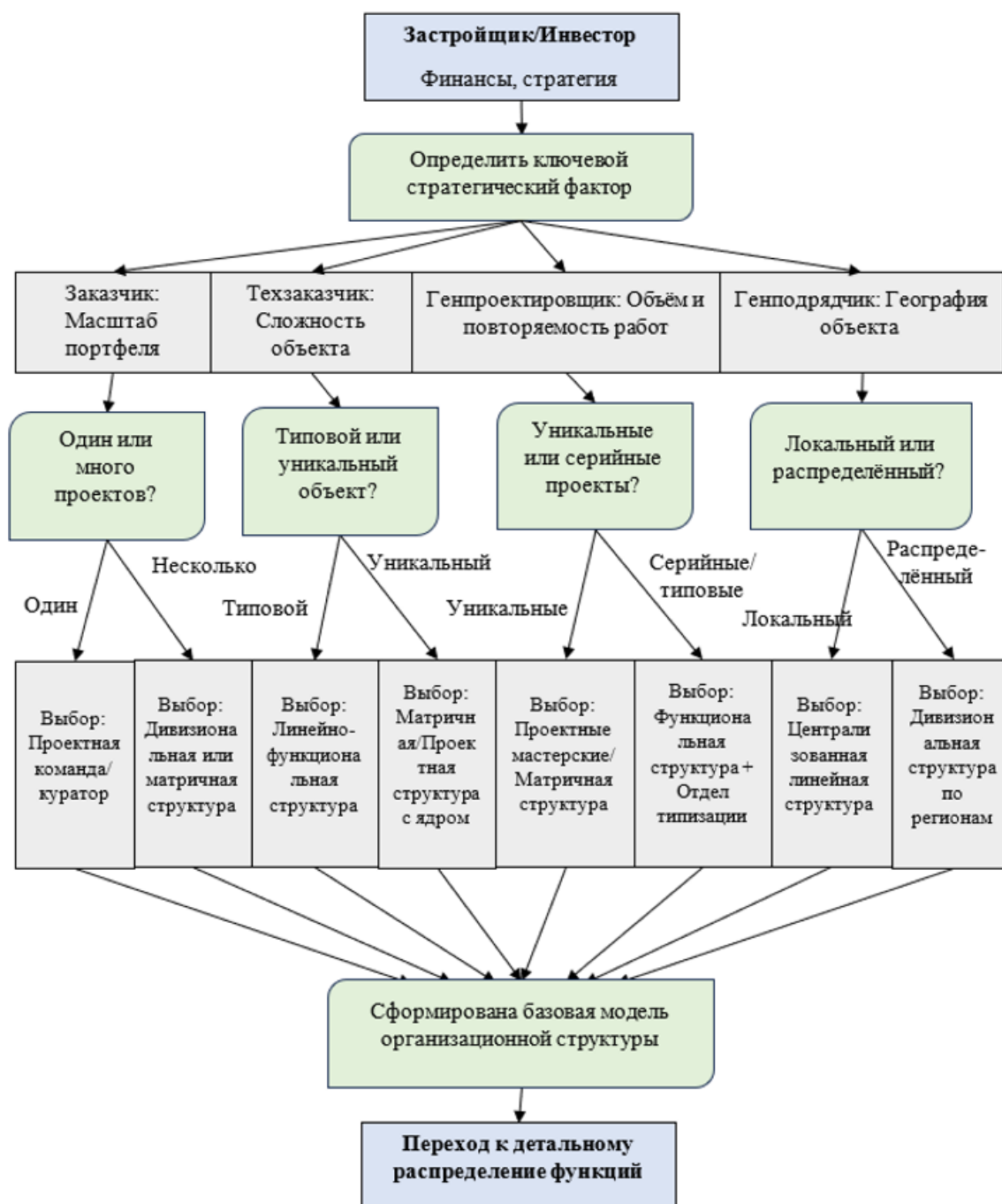


Рис. 1. Блок-схема выбора типа организационной структуры

ми мастерскими или в матричной структуре; серийные – функциональной структурой с отделом типизации [1]. Для генерального подрядчика определяющую роль играет география объекта: локальный объект – централизованная линейная структура; распределенные объекты – дивизиональная или структура по регионам [7].

Таким образом, предложенная система факторов и концептуальная блок-схема позволяют на ранних этапах планирования проекта обоснованно подойти к выбору организационной структуры и перечня функций. В первой статье были описаны сами функции, во второй – факторы, влияющие на их реализацию, и предложена укрупненная модель принятия

решений. Совместное использование этих результатов создает базу для последующей разработки полноценного инструмента, который для каждого конкретного жилого проекта будет рекомендовать оптимальную конфигурацию участников и распределение обязанностей, исключая дублирование и повышая эффективность строительства [8].

Литература

1. Топчий, Д.В. Организационно-технические решения по обеспечению качества строительно-монтажных работ на различных этапах жизненного цикла объекта строительства / Д.В. Топчий // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18. – № 2. – С. 283–292.
2. Лapidус, А.А. Принципы формирования организационно-технологической платформы научно-технического сопровождения уникальных объектов / А.А. Лapidус, И.В. Абрамов // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17. – № 4. – С. 516–524.
3. Зильберова, И.Ю. Методы моделирования параметров организационно-технологических строительных систем / И.Ю. Зильберова, С.Г. Шеина // Жилищное строительство. – 2025. – № 6. – С. 22–29.
4. Бузырев, В.В. Формирование организационных структур на основе анализа факторов рационального управления строительными предприятиями / В.В. Бузырев, А.С. Утеева // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2016. – № 1(97). – С. 71–79.
5. Цапко, К.А. Организационные структуры управления в строительстве : учебное пособие / К.А. Цапко. – Ростов-на-Дону : Донской государственный технический университет, 2020. – 72 с.
6. Астафьева, О.Е. Теоретическое обоснование необходимости оптимизации структуры управления строительными организациями / Астафьева О.Е., Метальникова А.К. // Вестник университета (Государственный университет управления). – 2025. – № 6.
7. Vukomanović, M. Project management organizational structures in construction companies / M. Vukomanović, M. Radujković, M.M. Nahod // Organization, Technology and Management in Construction. – 2016. – Vol. 8. – No. 1. – P. 1411–1428.
8. Zidane, Y.J. The role of organizational structure in project success: a systematic literature review / Y.J. Zidane, B. Andersen // International Journal of Project Organisation and Management. – 2018. – Vol. 10. – No. 4. – P. 315–341.

References

1. Topchij, D.V. Organizatsionno-tekhicheskie resheniya po obespecheniyu kachestva stroitelno-montazhnykh rabot na razlichnykh etapakh zhiznennogo tsikla obekta stroitelstva / D.V. Topchij // Vestnik MGSU. – 2023. – T. 18. – № 2. – S. 283–292.
2. Lapidus, A.A. Printsipy formirovaniya organizatsionno-tekhnologicheskoy platformy nauchno-tekhnicheskogo soprovozhdeniya unikalnykh obektov / A.A. Lapidus, I.V. Abramov // Vestnik MGSU. – 2022. – T. 17. – № 4. – S. 516–524.
3. Zilberova, I.YU. Metody modelirovaniya parametrov organizatsionno-tekhnologicheskikh stroitelnykh sistem / I.YU. Zilberova, S.G. SHeina // ZHilishchnoe stroitelstvo. – 2025. – № 6. – S. 22–29.
4. Buzyrev, V.V. Formirovanie organizatsionnykh struktur na osnove analiza faktorov ratsionalnogo upravleniya stroitelnymi predpriyatiyami / V.V. Buzyrev, A.S. Uteeva // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. – 2016. – № 1(97). –

S. 71–79.

5. TSapko, K.A. Organizatsionnye struktury upravleniya v stroitelstve : uchebnoe posobie / K.A. TSapko. – Rostov-na-Donu : Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2020. – 72 s.

6. Astafeva, O.E. Teoreticheskoe obosnovanie neobkhodimosti optimizatsii struktury upravleniya stroitelnykh organizatsij / Astafeva O.E., Metalnikova A.K. // Vestnik universiteta (Gosudarstvennyj universitet upravleniya). – 2025. – № 6.

The Concept of Forming Organizational Structures in the Implementation of Residential Construction Projects

A.A. Lapidus, T.T. Alborov

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: organizational structure; housing construction; influencing factors; coding; conceptual model; flowchart.

Abstract. The purpose of this article is to develop tools for forming organizational structures of participants in residential construction by identifying key influencing factors. The tasks of the study are to systematize external and internal factors that determine the choice of organizational structure for the developer, technical customer, general designer and general contractor; to develop a conceptual model reflecting the logic of this choice. The hypothesis is that various factors (project portfolio scale, facility complexity, construction geography, etc.) have different effects on the organizational structure of each participant, and their systematic consideration makes it possible to reasonably approach the formation of the structure. Research methods system analysis, generalization of practical experience (more than 20 implemented residential projects in Moscow and the Moscow region, 2019–2024), expert surveys of heads of technical customers and development companies. Results: key factors are identified and grouped by participants, which are assigned codes for subsequent mathematical modeling. A conceptual flowchart – an aggregated model illustrating the logic of choosing the type of organizational structure – is developed. The results create a basis for the subsequent development of a full-fledged software tool.

© А.А. Лapidус, Т.Т. Алборов, 2026

УДК 69.05

Calculation of the Components of a Probabilistic Life Cycle Model for a Construction Project Using a Numerical- Analytical Method

A.S. Spirin, L.A. Manukhina

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russian)*

Keywords and phrases: construction objects life cycle; industrialized housing construction; construction company effectiveness; construction systems engineering; probabilistic network model; numerical-analytical method.

Abstract. The aim of the research is to systematize existing methods for developing probabilistic models of production processes that form part of an enterprise's investment and construction activities, followed by the identification of their weaknesses and the development of a new method that overcomes these shortcomings. The main objectives were to develop the fundamental principles underpinning this method, describe the mathematical framework used, and demonstrate its practical implementation using publicly available software tools. The methodological framework of the research is based on the decomposition of the object and subject of study, the synthesis of research results by domestic and foreign specialists in the fields of construction systems engineering, business process management and mathematics, and the simulation modelling of real processes taking into account their uncertainty.

In general terms, the task of calculating the probability distribution of the duration of a set of processes is reduced to transforming the simulation networks using Martin's method, which has an analytical solution. This method is limited by the fact that with each new stage, the convolution operation in determining the probability density of the sequence's duration becomes more complex, eventually reaching a limit of computability. Moreover, for many distributions, because their probability density is defined by a special function, analytical calculation is not possible. Alternative numerical methods, among which the statistical testing method has become widely used, have significant drawbacks, such as a narrowing of the resulting distribution compared to that obtained analytically, and the difficulty of interpreting the results.

The research hypothesis is that it is possible to avoid the shortcomings of the above methods by using a hybrid numerical-analytical method. The objective was achieved through the step-by-step reduction of distribution functions to a piecewise-defined form, the formulation of the convolution operation in analytical form, its numerical computation in a computer algebra system, and the approximation of the results using a non-special piecewise-defined function.

Introduction

In previous studies, the authors attempted to present the performance of an industrial housing construction enterprise as a representation of its product's life cycle [1]. The performance model presented was based on the ratio of the operational performance of a construction project during its operational phase to the duration of the investment and construction project undertaken by the enterprise.

Although calculating the model's components as deterministic values is the simplest approach, it does not reflect reality, as it fails to account for the uncertainty inherent in the development of real-world processes [2–6]. Therefore, in this paper, the author attempts to develop a methodology for the probabilistic calculation of one of the components of the model he has devised – the duration of the investment and construction cycle – taking into account the work of domestic and foreign specialists in this field.

Statement of the problem

At present, network planning and management (hereinafter NPM) methods are the most widely used in the management of investment and construction projects [7]. Their graphical representation can be presented as a linear diagram (also known as a “Gantt chart”, hereinafter referred to as GC), a network diagram (hereinafter referred to as ND) or a network cycle diagram (hereinafter referred to as NCD), with the latter providing a more comprehensive representation of process development from the perspective of construction systems engineering [8]. Processes, which generally form the arcs of a directed graph (DG or SC), are taken as predefined in terms of their characteristics, in particular their duration. As planned duration values are updated to actual values, the planned duration of the process complex, as well as the planned completion date, is also updated [9].

The development of these models, with the aim of improving their accuracy in representing real-world systems, has taken the approach of accounting for the uncertainty of the time parameters of the processes they encompass – the duration of each process was defined as a random variable with a specified distribution [10]. Consequently, the total duration of the sequence of operations and the time required for its completion are treated as random variables.

In general terms, the task of calculating the probability distribution of the duration of a sequence of operations boils down to transforming the networks using Martin's method – a step-by-step reduction of the original network to a single “equivalent process” in such a way that the duration distribution of this process matches that of the original network [11].

Reducing a sequence of processes to an equivalent one means determining the duration distribution of that sequence. To do this, one must iteratively reduce the first two processes to a single one, starting with the first. Given the probability density functions $f_1(t_1)$ and $f_2(t_2)$ of the durations of the two processes, the probability density function of the duration of the equivalent

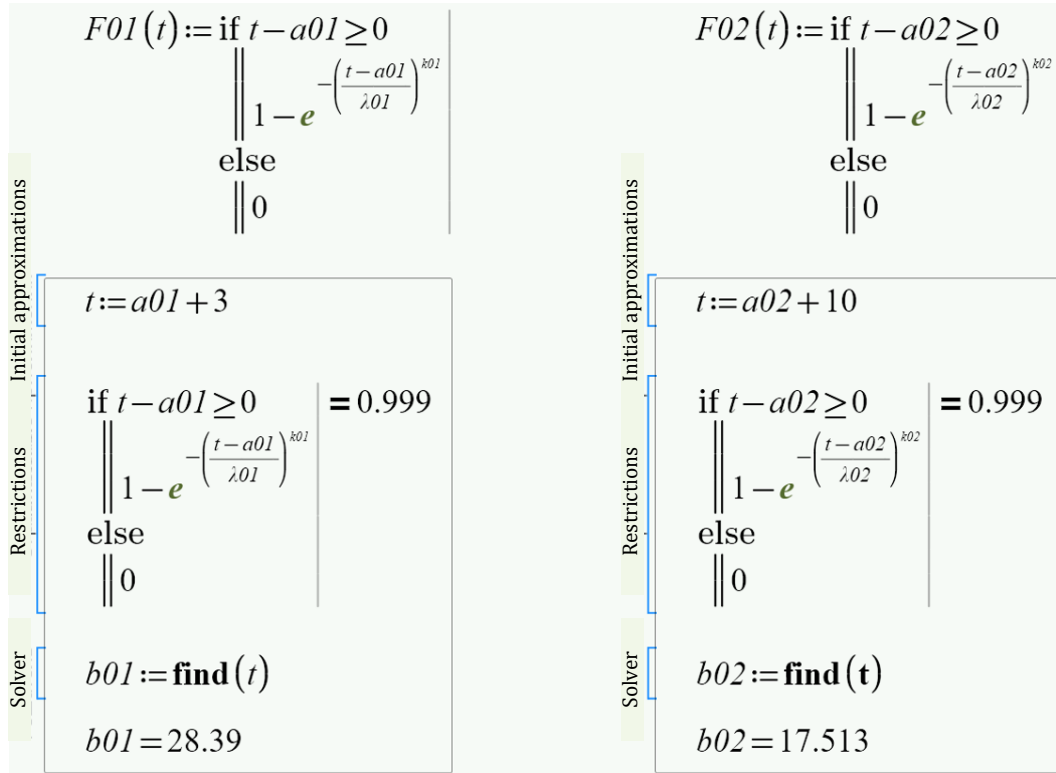


Fig. 1. Determining the right-hand boundary of the duration

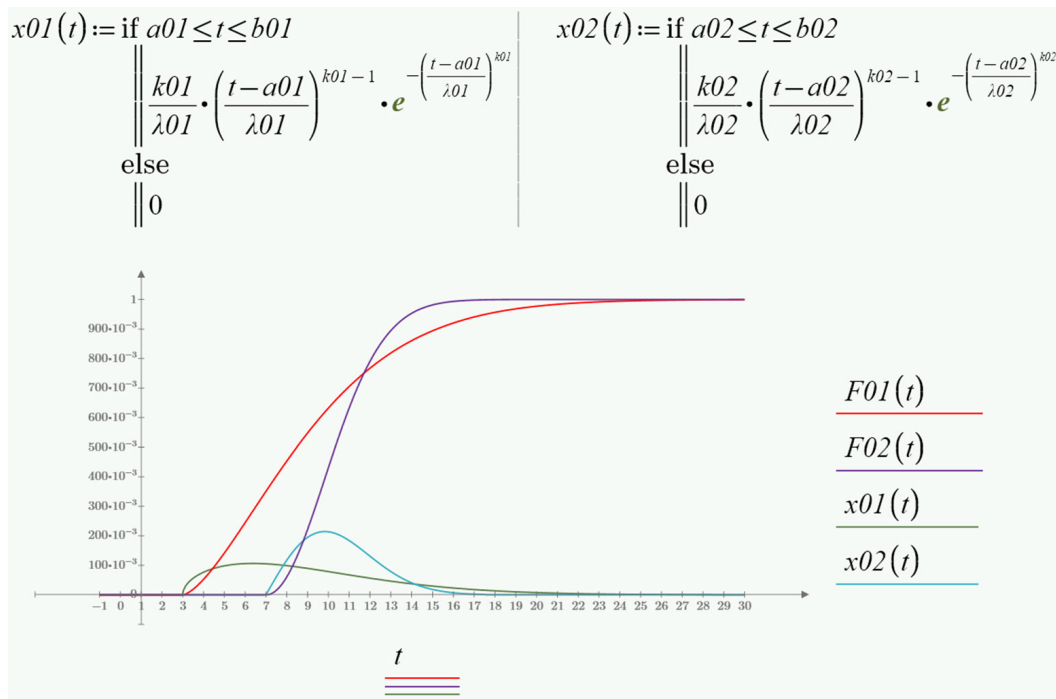


Fig. 2. Piecewise probability density function

$$\begin{aligned}
X_{0102}(t) := & \text{if } a_{02} + a_{01} \leq t < b_{02} + a_{01} \\
& \left\| \int_{a_{02}}^{-a_{01}+t} \left(\frac{k_{02}}{\lambda_{02}} \cdot \left(\frac{\tau - a_{02}}{\lambda_{02}} \right)^{k_{02}-1} \cdot e^{-\left(\frac{\tau - a_{02}}{\lambda_{02}} \right)^{k_{02}}} \right) \cdot \left(\frac{k_{01}}{\lambda_{01}} \cdot \left(\frac{t - \tau - a_{01}}{\lambda_{01}} \right)^{k_{01}-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \tau - a_{01}}{\lambda_{01}} \right)^{k_{01}}} \right) d\tau \right\| \\
& \text{else if } b_{02} + a_{01} \leq t < a_{02} + b_{01} \\
& \left\| \int_{a_{02}}^{b_{02}} \left(\frac{k_{02}}{\lambda_{02}} \cdot \left(\frac{\tau - a_{02}}{\lambda_{02}} \right)^{k_{02}-1} \cdot e^{-\left(\frac{\tau - a_{02}}{\lambda_{02}} \right)^{k_{02}}} \right) \cdot \left(\frac{k_{01}}{\lambda_{01}} \cdot \left(\frac{t - \tau - a_{01}}{\lambda_{01}} \right)^{k_{01}-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \tau - a_{01}}{\lambda_{01}} \right)^{k_{01}}} \right) d\tau \right\| \\
& \text{else if } a_{02} + b_{01} \leq t \leq b_{02} + b_{01} \\
& \left\| \int_{-b_{01}+t}^{b_{02}} \left(\frac{k_{02}}{\lambda_{02}} \cdot \left(\frac{\tau - a_{02}}{\lambda_{02}} \right)^{k_{02}-1} \cdot e^{-\left(\frac{\tau - a_{02}}{\lambda_{02}} \right)^{k_{02}}} \right) \cdot \left(\frac{k_{01}}{\lambda_{01}} \cdot \left(\frac{t - \tau - a_{01}}{\lambda_{01}} \right)^{k_{01}-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \tau - a_{01}}{\lambda_{01}} \right)^{k_{01}}} \right) d\tau \right\| \\
& \text{else} \\
& \left\| 0 \right\|
\end{aligned}$$

Fig. 3. Recording of a convolution operation

process $f_s(t_s)$ can be determined using formula [12]:

$$f_s(t_s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t_1, t_s - t_1) dt_1 = \int_{-\infty}^{\infty} f(t_2, t_s - t_2) dt_2. \quad (1)$$

Reducing a set of parallel processes to an equivalent one involves determining the distribution of the maximum value of the given sequence. If the probability density function of each task, $f_i(t_i)$, is known, the required probability density function, $f_p(t_p)$, can be determined using the formula:

$$f_p(t_p) = \sum_{j=1}^n \frac{f_j(t_p)}{F_j(t_p)} \cdot \prod_{i=1}^n F_i(t_p). \quad (2)$$

Given the known probability densities of the time parameters of the processes under consideration, this analytical method allows these parameters to be determined with the greatest accuracy for the network as a whole. However, this method has a significant limitation.

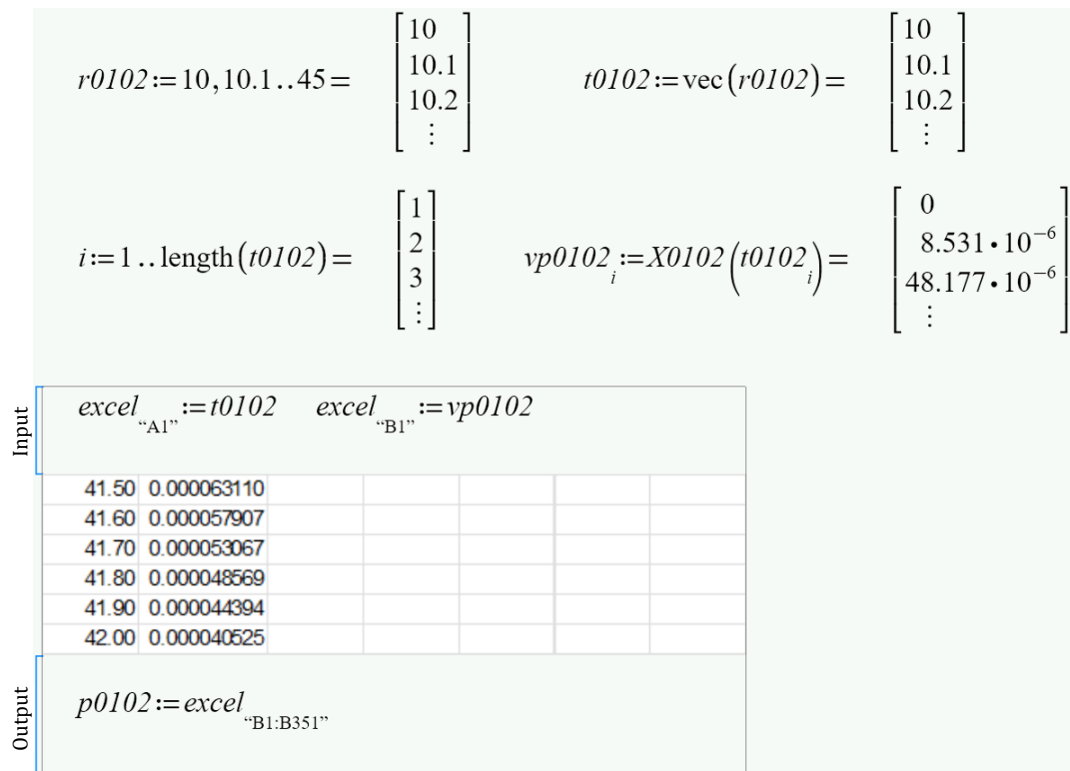


Fig. 4. Specifying the set of values of the numerically calculated probability density of the total duration of two consecutive processes

With each new stage, the convolution operation involved in determining the probability density of the sequence's duration becomes more complex, eventually reaching a limit of computability. Moreover, for many distributions, because their probability density is defined by a special function, analytical calculation is not possible. The same applies to cases where the convolution equation involves a "nonelementary integral" [13].

An alternative to analytical calculation is numerical methods, among which the method of statistical testing has become widely used [14]. The main drawbacks of this method include the narrowing of the resulting distribution compared to that obtained analytically [15] and the difficulty in interpreting the results.

To overcome the shortcomings of the methods described above, the author proposes using a hybrid numerical-analytical method, which he sets out below.

A numerical-analytical method for determining the probabilistic components of a network model of the investment and construction cycle

The task of reducing a set of parallel processes to an equivalent one, as defined by equation (2), presents no difficulties. The problem addressed by the author lies in reducing a set of sequential processes to an equivalent one. Let us now examine the method proposed by the author in more detail.

Various software tools can be used to implement the method described by the author. In this paper, the author outlines the procedure for working within the Mathcad Prime 11 computer algebra system.

$$\alpha := \text{polyfitc}(t0102, p0102, 10) = \begin{bmatrix} \text{"Term"} & \text{"Coefficient"} \\ \text{"Intercept"} & -7.746 \\ \text{"A"} & 4.597 \\ \text{"AA"} & -1.105 \\ \text{"AAA"} & 144.176 \cdot 10^{-3} \\ & \ddots \end{bmatrix}$$

$$\text{IntPoly10}(t) := \alpha_{2,2} + \alpha_{3,2} \cdot t + \alpha_{4,2} \cdot t^2 + \alpha_{5,2} \cdot t^3 + \alpha_{6,2} \cdot t^4 + \alpha_{7,2} \cdot t^5 + \alpha_{8,2} \cdot t^6 + \alpha_{9,2} \cdot t^7 + \alpha_{10,2} \cdot t^8 + \alpha_{11,2} \cdot t^9 + \alpha_{12,2} \cdot t^{10}$$

Fig. 5. Determination of coefficients for a variable and specification of the interpolation function

The primary task is to determine a suitable distribution function for the process duration. According to the works of Russian specialists in stochastic methods for SPU, analysis of statistical data collected from real-world facilities suggests that the beta distribution may be adopted as the prior distribution [10]. However, the probability density function of the beta distribution contains the beta function, which greatly complicates the implementation of the method. An analysis of papers in peer-reviewed journals has shown that the beta distribution is successfully approximated by the Weibull distribution [16]. Let us adopt the Weibull distribution as the prior distribution.

In this specific example, let us consider two processes with shape parameters $k_{01} = 1.5$ and $k_{02} = 2$, scale parameters $\lambda_{01} = 7$ and $\lambda_{02} = 4$, and shift parameters $a_{01} = 3$ and $a_{02} = 7$, respectively. For the sake of convenience in calculations, we shall reduce the initial probability densities to piecewise-defined interval-stochastic [2] quantities. To do this, we shall determine for each process the practical right-hand limit of the possible duration. We shall take this to be the value at which the distribution function reaches 0.999 (Fig. 1).

Now that we know the left and right boundaries, let us define the “working” probability density functions $x_{01}(t)$ and $x_{02}(t)$ for each process, respectively, as piecewise-defined functions (Fig. 2).

The probability density of the sum of the durations of these two processes is the convolution of the probability densities of the durations of the individual processes. Let us assume that the running component is probability density with a large support. Since $b_{01} - a_{01} > b_{02} - a_{02}$, we obtain the convolution operation shown in Fig.3.

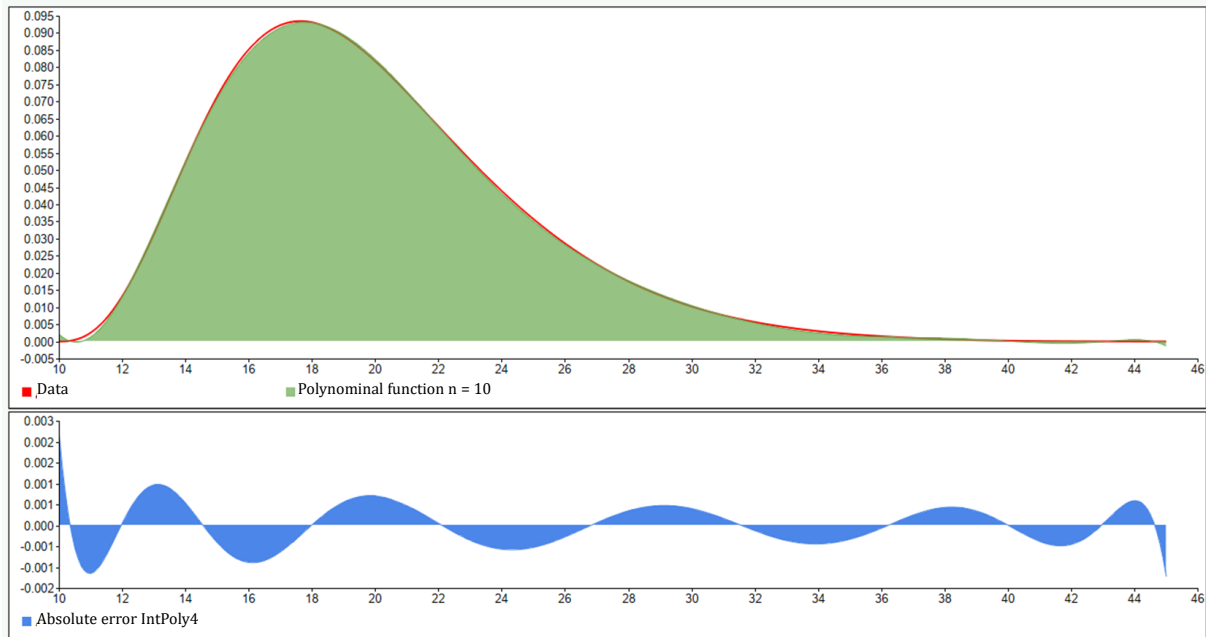
We have thus defined the probability density function $X_{0102}(t)$ for the total duration of two consecutive processes. Since its values are calculated numerically, it is necessary to obtain an analytical expression for it – albeit an approximate one – for the next iteration of the calculation (the convolution of $X_{0102}(t)$ and $x_{03}(t)$, and so on).

To this end, the authors propose approximating $X_{0102}(t)$ using a non-special function that ensures sufficient (at the researcher’s discretion) accuracy of the match.

To do this, we shall define a set of values for $X_{0102}(t)$ at regular intervals (Fig. 4).

Next, we need to choose an approximating function. The polynomial function of a certain order appears to be the most suitable for further calculations. Based on the results of several calculation iterations, the author has opted for a polynomial function of order 10. Let us consider the sequence of steps using this as an example.

Using the “polyfitc” function, we shall find the coefficients for the variable and specify an “initial” approximation function (Fig. 5).



$$\min(\text{IntPoly10}(t0102) - p0102) = -0.001212$$

$$\max(\text{IntPoly10}(t0102) - p0102) = 0.002170$$

Fig. 6. Determination of coefficients for a variable and specification of the interpolation function

$$\begin{aligned}
 x &:= 12 & a0102 &:= \text{root}(\text{IntPoly10}(x), x) = 10.642 \\
 x &:= 36 & b0102 &:= \text{root}(\text{IntPoly10}(x), x) = 40.388 \\
 k0102 &:= \frac{1}{\int_{a0102}^{b0102} \left(\begin{array}{l} \text{if } a0102 \leq t \leq b0102 \\ \left\| \alpha_{2,2} + \alpha_{3,2} \cdot t + \alpha_{4,2} \cdot t^2 + \alpha_{5,2} \cdot t^3 + \alpha_{6,2} \cdot t^4 + \alpha_{7,2} \cdot t^5 + \right. \\ \left. + \alpha_{8,2} \cdot t^6 + \alpha_{9,2} \cdot t^7 + \alpha_{10,2} \cdot t^8 + \alpha_{11,2} \cdot t^9 + \alpha_{12,2} \cdot t^{10} \right\| \\ \text{else} \\ 0 \end{array} \right) dt} = 1.002171
 \end{aligned}$$

Fig. 7. Determination of the existence interval and the correction factor

As can be seen in Fig. 6, the selected function approximates $X_{0102}(t)$ quite well.

Next, a series of transformations must be performed on the resulting function. Firstly, we shall determine and specify its practical interval of existence so that it can subsequently be defined as piecewise-defined. To do this, we shall identify the two points (left and right) where the function intersects the X-axis that are closest to the mode. Secondly, the integral of the approximating function over its interval of existence, based on its definition, must equal one. Therefore, we need to

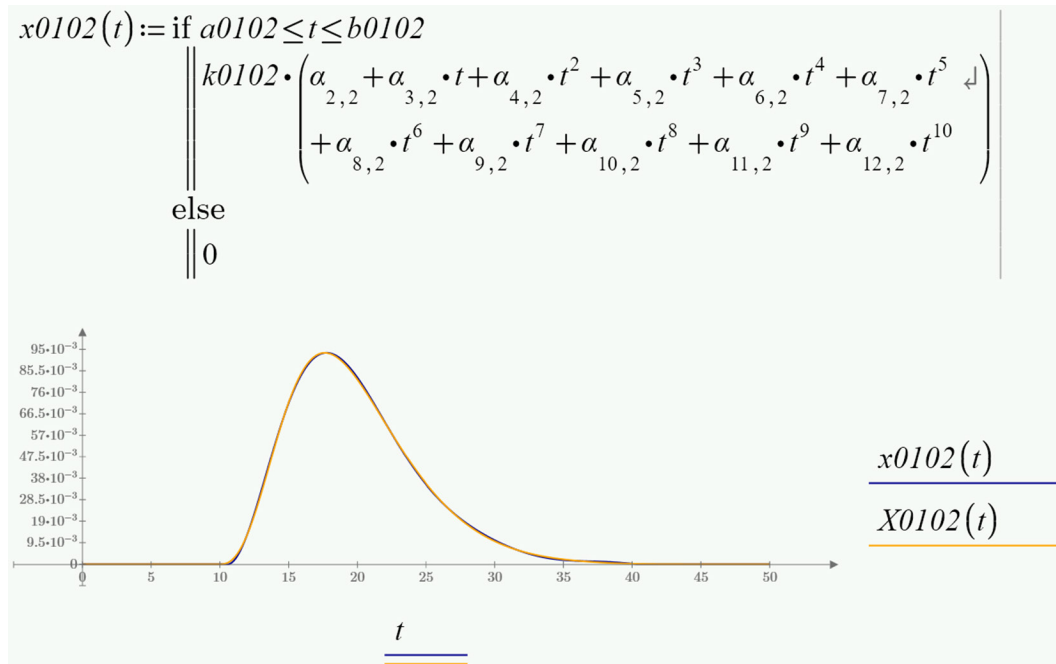


Fig. 8. The “final” approximation function

find the corresponding correction coefficient (Fig. 7).

Given the interval of existence and the correction factor, let us write down the “final” approximation function (Fig. 8).

Conclusion

The method described above has successfully solved the problem of determining the probability density of the total duration of two consecutive processes. This constitutes the main difficulty in constructing a probabilistic network model. This method demonstrates certain advantages over both purely numerical methods of statistical testing and purely analytical transformations. Firstly, it is possible to perform a convolution of Weibull distributions, which are well-suited for the probabilistic description of the duration of real-world production processes, something that is not feasible analytically. Secondly, the method is applicable for any number of terms, since in each iteration the result is reduced to a piecewise-defined polynomial, and the complexity of the calculations does not increase with each subsequent iteration as the number of terms grows. Thirdly, there are no difficulties in selecting a suitable distribution function or in assessing the correctness of the interpretation of the results obtained, as is the case with the Monte Carlo method.

References

1. Спирин, А.С. Результативность предприятий индустриального домостроения как образ жизненного цикла их продукта / А.С. Спирин // Недвижимость: экономика, управление. – 2025. – № S4.
2. Мадера, А.Г. Бизнес-процессы и процессное управление в условиях неопределенности: Количественное моделирование и оптимизация / А.Г. Мадера. – М. : Ленанд, 2023. – 160 с.
3. Казарян, Р.Р. Основы организации и экономики строительства. Курс лекций в 3 ч.

Часть 1 / Р.Р. Казарян, П.П. Олейник. – М. : АСВ, 2025. – 296 с.

4. Khodabakhshian, A. Probabilistic risk identification and assessment model for construction projects using elicitation based bayesian network / A. Khodabakhshian, F. Re Cecconi, E. Droguett // Journal of Information Technology in Construction. – 2025. – Vol. 30. – P. 185–212.
5. Noël, M. Probabilistic fatigue life modelling of FRP composites for construction / M. Noël // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 206. – P. 279–286.
6. Andolfo, C. A Probabilistic Accident Prediction Model for Construction Sites / C. Andolfo, F. Sadeghpour // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 123. – P. 15–23.
7. Олейник, П.П. Научно-технический прогресс в строительном производстве / П.П. Олейник. – М. : АСВ, 2019. – 442 с.
8. Лебедев, В.М. Системотехника и системокванты строительного производства / В.М. Лебедев. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 226 с.
9. Шори́ков, А.Ф. Прогнозирование и оптимизация результата управления инвестиционным проектированием / А.Ф. Шори́ков, Е.В. Буценко. – М. : Ленанд, 2018. – 272 с.
10. Голенко, Д.И. Статистические методы сетевого планирования и управления / Д.И. Голенко. – Наука, 1968. – 400 с.
11. Martin, J.J. Distribution of the Time through a Directed, Acyclic Network / J.J. Martin // Operations Research. – 1965. – Vol. 13. – No. 1. – P. 46–66.
12. Попова, О.А. Применение численного вероятностного анализа в задачах интерполяции / О.А. Попова // Вычислительные технологии. – 2017. – Т. 22. – № 2. – С. 99–114.
13. Лузин, Н.Н. Интегральное исчисление / Н.Н. Лузин. – М. : Ленанд, 2017. – 416 с.
14. Шамрай, Н.О. Применение метода статистических испытаний при аппроксимации эмпирических распределений смесями теоретических распределений / Н.О. Шамрай // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сборник материалов IX Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики : в 3-х томах. – Красноярск : СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева, 2023. – С. 456–458.
15. Семенов, К.К. Достоверность результатов применения метода Монте-Карло в задачах интервального анализа / К.К. Семенов // Вычислительные технологии. – 2016. – Т. 21. – № 2. – С. 42–52.
16. Qian, G. A statistical model of fatigue failure incorporating effects of specimen size and load amplitude on fatigue life / G. Qian, W. Lei // Philosophical Magazine. – 2019. – Vol. 99. – P. 1–37. – DOI: 10.1080/14786435.2019.1609707.

References

1. Spirin, A.S. Rezultativnost predpriyatij industrialnogo domostroeniya kak obraz zhiznennogo tsikla ikh produkta / A.S. Spirin // Nedvizhimost: ekonomika, upravlenie. – 2025. – № S4.
2. Madera, A.G. Biznes-protsessy i protsessnoe upravlenie v usloviyakh neopredelennosti: Kolichestvennoe modelirovanie i optimizatsiya / A.G. Madera. – М. : Lenand, 2023. – 160 s.
3. Kazaryan, R.R. Osnovy organizatsii i ekonomiki stroitelstva. Kurs lektsij v 3 ch. CHast 1 / R.R. Kazaryan, P.P. Olejnik. – М. : ASV, 2025. – 296 s.
7. Olejnik, P.P. Nauchno-tekhnicheskij progress v stroitelnom proizvodstve / P.P. Olejnik. – М. : ASV, 2019. – 442 s.
8. Lebedev, V.M. Sistemotekhnika i sistemokvanty stroitel'nogo proizvodstva / V.M. Lebedev. – М. : INFRA-M, 2019. – 226 s.
9. SHorikov, A.F. Prognozirovanie i optimizatsiya rezultata upravleniya investitsionnym proektirovaniem / A.F. SHorikov, E.V. Butsenko. – М. : Lenand, 2018. – 272 s.

10. Golenko, D.I. Statisticheskie metody setevogo planirovaniya i upravleniya / D.I. Golenko. – Nauka, 1968. – 400 s.

12. Popova, O.A. Primenenie chislennogo veroyatnostnogo analiza v zadachakh interpol'yatsii / O.A. Popova // Vychislitelnye tekhnologii. – 2017. – T. 22. – № 2. – S. 99–114.

13. Luzin, N.N. Integralnoe ischislenie / N.N. Luzin. – M.: Lenand, 2017. – 416 s.

14. SHamraj, N.O. Primenenie metoda statisticheskikh ispytaniy pri approksimatsii empiricheskikh raspredeleniy smesyami teoreticheskikh raspredeleniy / N.O. SHamraj // Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики: sbornik materialov IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj Dnyu kosmonavтики; v 3-kh tomakh. – Krasnoyarsk: SibGU imeni akademika M.F. Reshetneva, 2023. – S. 456–458.

15. Semenov, K.K. Dostovernost rezultatov primeneniya metoda Monte-Karlo v zadachakh intervalnogo analiza / K.K. Semenov // Vychislitelnye tekhnologii. – 2016. – T. 21. – № 2. – S. 42–52.

Расчет компонент вероятностной модели жизненного цикла объекта строительства численно-аналитическим методом

А.С. Спирин, Л.А. Манухина

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет», г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: вероятностная сетевая модель; жизненный цикл объектов строительства; индустриальное домостроение; результативность строительного предприятия; системотехника строительства; численно-аналитический метод.

Аннотация. Целью исследования является систематизация известных методов формирования вероятностных моделей производственных процессов, составляющих инвестиционно-строительную деятельность предприятия, с последующим выявлением их слабых сторон и разработкой не имеющего таковых нового метода. Основными задачами стояли разработка основных положений, составляющих данный метод, описание применяемого математического аппарата и демонстрация практической реализации с применением общедоступных программных средств. Методический аппарат исследования основан на декомпозиции объекта и предмета исследования, синтезе результатов исследований отечественных и зарубежных специалистов в области системотехники строительства, управления бизнес-процессами и математики, имитационном моделировании реальных процессов с учетом их неопределенности.

В общем виде задача расчета распределения вероятности продолжительности комплекса процессов сводится к преобразованию моделирующих сетей методом Мартина, имея аналитическое решение. Данный метод ограничен тем, что с каждым новым этапом операция свертки при определении плотности вероятности продолжительности последовательности становится более сложной, в итоге достигая предела выполнимости. Более того, для многих распределений в силу того, что их плотность распределения задается специальной функцией, аналитическое вычисление не представляется возможным.

Альтернативные данному численные методы, среди которых широкое распространение получил метод статистических испытаний, имеют такие существенные недостатки, как сужение получаемого распределения относительно вычисленного аналитически и сложность интерпретации полученных результатов.

Гипотеза исследования заключается в том, что возможно избежать недостатков вышеуказанных методов, используя гибридный численно-аналитический метод.

Результатом поэтапного приведения функций распределения к кусочно-заданному виду, формулирования операции конволюции в аналитическом виде, ее численного вычисления в системе компьютерной алгебры и аппроксимации результатов неспециальной кусочно-заданной функцией стало достижение поставленной цели.

© A.S. Spirin, L.A. Manukhina, 2026

УДК 796

Гепатотоксичность биологически активных добавок к пище: анализ данных и регуляторных аспектов

В.С. Гарник, Н.Н. Фролова

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: биологически активные добавки; гепатотоксичность; лекарственное поражение печени.

Аннотация. В данной работе исследуется проблема гепатотоксичности биологически активных добавок (БАД).

Цель исследования – выявить компоненты БАД, наиболее часто вызывающие лекарственные поражения печени (ЛПП), и определить основные факторы риска их развития.

Гипотеза исследования заключается в предположении, что определенные компоненты БАД обладают повышенной гепатотоксичностью, а недостаточный контроль со стороны регулятора способствует росту числа случаев ЛПП.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- провести анализ клинических случаев и научных публикаций, посвященных ЛПП, ассоциированным с приемом БАД;
- систематизировать данные о наиболее опасных для печени компонентах БАД;
- выявить основные факторы риска развития ЛПП при употреблении БАД;
- проанализировать отношение регулятора к обороту БАД и существующую систему контроля их безопасности.

Методы исследования включают анализ медицинской литературы, статистических данных и нормативных документов, а также обобщение клинического опыта по случаям ЛПП, связанным с приемом БАД.

В результате исследования установлено, что ряд компонентов БАД с высокой вероятностью вызывают ЛПП, а основными факторами риска являются неконтролируемый прием, сочетание с другими лекарственными средствами и наличие сопутствующих заболеваний печени.

Выявлены пробелы в системе контроля безопасности БАД и недостаточная информированность населения о рисках. На основании полученных данных сделан вывод о необходимости повышения осведомленности о проблеме и привлечения законодательных мер для ужесточения проверок безопасности БАД.

Анализ научно-методической литературы и опыта работы показывает быстрое развитие рынка биологически активных добавок (БАД) [3; 4]. Как и во всем мире в Российской Федерации этот рынок также показывает устойчивый рост и развитие. В обществе существует ошибочное мнение о данном виде продукта. Люди в основном спорят о влиянии этих препаратов на организм в принципе, мнение делится между «помогает» и «не помогает», но никак не с тем, что он вредит. Согласно нашим собранным данным, БАД являются значимой причиной развития токсического гепатита в общей структуре лекарственного поражения печени. Главной проблемой на данный момент является контроль государства над продукцией: в отличие от лекарственных средств, БАДы не проходят обязательных исследований на безопасность и эффективность перед выходом на рынок, что обычно регламентируется Федеральным законом №29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов» [2]. Возникает парадоксальная ситуация, когда продукты, позиционируемые как укрепляющие здоровье, могут стать причиной тяжелых патологий [3; 6–8; 10].

Актуальность проблемы в России подчеркивается недавними действиями регулятора. К 2025 году Роспотребнадзор предпринял ужесточение контроля над оборотом БАД из-за участившихся случаев отравлений и выявления небезопасных компонентов [1]. Главными проблемами российского рынка являются наличие в составе незадекларированных веществ (например, сибутрамина), несоответствие заявленного состава, а также агрессивный маркетинг, создающий у потребителя иллюзию полной безопасности и эффективности товара. Все это делает БАД значимой угрозой для здоровья человека, однако точная оценка масштабов проблемы затруднена из-за недостаточного уровня осведомленности врачей и пациентов [6].

Цель исследования: проанализировать риски развития поражений печени в связи с приемом биологически активных добавок к пище, а также разобрать российскую нормативно-правовую базу, регулирующую оборот БАД.

Задачи исследования:

- систематизировать данные научных публикаций о случаях гепатотоксичности, связанной с приемом БАД;
- проанализировать российскую нормативно-правовую базу, регулирующую оборот БАД;
- выявить наиболее проблемные с точки зрения гепатотоксичности категории БАД на основе анализа литературных данных;
- сформулировать выводы о степени изученности проблемы и возможных путях минимизации рисков.

Методы исследования:

- анализ и обобщение данных научной литературы (поиск в базах данных *RSCI*, *CyberLeninka*, *NHANES*)
- анализ нормативных правовых актов Российской Федерации (Федеральный закон № 29-ФЗ, технические регламенты Таможенного союза).

Проанализировав национальную базу данных *NHANES*, где собрана информация о здоро-

Таблица 1. Взаимосвязь компонентов с токсическим поражением печени

Растительный компонент	Цель приема	Поражения печени
Куркума (куркумин)	Здоровье суставов, противовоспалительный эффект	Случаи гепатита
Экстракт зеленого чая (1,3-диметил-ламиламин)	Повышение энергии, контроль веса	Может вызывать печеночную недостаточность
Ашваганда	Снижение стресса, наращивание мышечной массы	Гепатит, в редких случаях – трансплантация печени
Гарциния камбоджийская	Снижение массы тела	Кейс-репорты острого гепатита
Красный дрожжевой рис	Здоровье сердца, контроль холестерина	Повышение печеночных ферментов, желтуха
Черный кохош	Облегчение симптомов менопаузы	Холестатический гепатит

вье и питании жителей США, выяснилось, что 58 % взрослых жителей США употребляли как минимум одну растительную добавку в течение последнего месяца, что сопоставимо с масштабами применения рецептурных препаратов. Поражение печени из-за БАДов точно неизвестно, но по некоторым исследованиям варьируется от 20 % до 75 % всех таких случаев, связанных с приемом лекарств. Одна из главных причин, не дающая сделать точную оценку влияния БАДов на здоровье печени, – это недосказанность самих пациентов: более 60 % пациентов не сообщают о приеме БАДов [3; 6]. Пациенты не видят никакой угрозы в приеме БАДов, считая, что они либо приносят пользу их организму, либо являются плацебо.

В ходе анализа *NHANES* выяснилась взаимосвязь определенных компонентов с токсическим поражением печени, таких как в табл. 1 [3; 4; 6].

Проведенный анализ литературных данных также позволяет выделить факторы риска, которые повышают вероятность развития токсического гепатита при приеме БАД [3; 6]. Во-первых, важную роль играют физиологические особенности человека: женский пол по статистике является более уязвимым к ЛПП. Во-вторых, значимое влияние оказывает исходное состояние печени человека: хронические заболевания печени, ВИЧ-инфекция серьезно снижают ее работоспособность, делая орган более уязвимым к любым губительным воздействиям. В-третьих, важным фактором являются поведенческие аспекты: употребление алкоголя создает негативный эффект в связи с компонентами БАД. Кроме того, крайне опасной является практика одновременного приема нескольких лекарственных препаратов и биологически активных добавок, которая многократно увеличивает нагрузку на печень и риск непредсказуемых лекарственных взаимодействий [5]. Таким образом, риск развития поражения печени при приеме БАД не является равным для всех и зависит от физиологических характеристик человека.

Анализ текущей ситуации в России показывает осознание проблемы на государственном уровне. Планируемые законодательные инициативы, о которых сообщают новостные агентства, такие как *Meduza*, включают в себя возможный пересмотр подхода к регистрации БАД [1]. В особенности обсуждается введение более строгих требований к доказательствам безопасности, а также создание механизма изъятия из оборота добавок, вызвавших негативные реакции. Это является показателем реагирования на учащающиеся случаи отравлений и иного вреда, связанного с приемом БАД. Особую озабоченность вызывают добавки, в составе которых нередко обнаруживаются неучтенные вещества, например, сибутрамин

в средствах для снижения массы тела или синтетические аналоги виагры в добавках «для мужского здоровья», что прямо указывает на злоупотребление доверием потребителей и подрывает саму идею «натуральности» данной категории продукции [1; 6].

В конечном счете можно сказать, что биологически активные добавки к пище могут представлять серьезную угрозу для организма человека. Несмотря на распространенное мнение о БАД как об абсолютно безопасных и «натуральных» продуктах, данные свидетельствуют об обратном: множество даже растительных компонентов связаны с развитием тяжелых токсических реакций, особенно в сочетании с другими препаратами, вплоть до печеночной недостаточности, требующей трансплантации [3; 4; 6–9].

Главными пробелами, усугубляющими риски, являются особенности законодательного статуса БАД в Российской Федерации, которые освобождают их от обязательных доклинических и клинических испытаний [6], а также повсеместное присутствие на рынке продуктов с незадекларированными фармакологически активными веществами. Риск гепатотоксичности не является равномерным и концентрируется в группах населения с определенными характеристиками, такими как женский пол, наличие хронических заболеваний печени, полипрагмазия и употребление алкоголя.

Литература

1. В России ужесточают контроль над БАДами. А что с ними что-то не так? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : meduza.io/cards/v-rossii-uzhestochayut-kontrol-nad-badami-a-chto-s-nimi-chto-to-ne-tak.
2. О качестве и безопасности пищевых продуктов : Федеральный закон № 29-ФЗ от 02.01.2000 (ред. от 13.07.2024) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_25323/.
3. Drug-Induced Hepatitis. Johns Hopkins Medicine, The Johns Hopkins University, The Johns Hopkins Hospital, and Johns Hopkins Health System [Electronic resource]. – Access mode : www.hopkinsmedicine.org/health/conditions-and-diseases/hepatitis/druginduced-hepatitis.
4. Dietary Supplements Hepatotoxicity. Centers for Disease Control and Prevention, U.S. Department of Health & Human Services [Electronic resource]. – Access mode : search.cdc.gov/search/?all=dietary%20supplements%20hepatotoxicity&dpage=1.
5. Ginkgo Biloba Interactions with Warfarin [Electronic resource]. – Access mode : www.drugs.com/drug-interactions/ginkgo-biloba-with-warfarin-1174-10621-2311-0.html.
6. Wolters Kluwer. Hepatotoxicity due to Herbal Medications and Dietary Supplements / Wolters Kluwer // UpToDate. – 2024 [Electronic resource]. – Access mode : www.uptodate.com/contents/hepatotoxicity-due-to-herbal-mediments-and-dietary-supplements.
7. Navarro, V.J. A comprehensive update in herbal and dietary supplement-induced liver injury / V.J. Navarro, et. al. // Clin Liver Dis (Hoboken). – 2024 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11191983/>.
8. Rivero-Pino, F. Hepatotoxicity due to dietary supplements: state-of-the-art, gaps and perspectives / F. Rivero-Pino, A.G. Casanova // Crit Rev Toxicol. – 2023 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38062980/>.
9. Halegoua-DeMarzio, D. Liver Injury Associated with Turmeric-A Growing Problem: Ten Cases from the Drug-Induced Liver Injury Network [DILIN] / D. Halegoua-DeMarzio, et. al. // Am J Med. – 2023.
10. Утверждены критерии для внесения онлайн-продавцов БАД в реестр запрещенных сайтов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vademec.ru/news/2025/11/19/>

utverzhdenny-kriterii-dlya-vneseniya-onlayn-prodavtsov-bad-v-reestr-zapreshchennykh-saytov/.

11. Никишкин, В.В. Профессиограмма заболеваний студентов НИУ МГСУ / М.В. Никишкин, Н.Н. Бумарскова // Перспективы науки. – 2024. – № 10(181). – С. 95–97.

12. Бумарсков, П.А. Причины возникновения расстройств пищевого поведения и их последствия / Н.Н. Бумарскова, В.В. Бизяев // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 5(155). – С. 70–73.

References

1. V Rossii uzhestochayut kontrol nad BADami. A chto s nimi chto-to ne tak? [Electronic resource]. – Access mode : meduza.io/cards/v-rossii-uzhestochayut-kontrol-nad-badami-a-chto-s-nimi-chto-to-ne-tak.

2. O kachestve i bezopasnosti pishchevykh produktov : Federalnyj zakon № 29-FZ ot 02.01.2000 (red. ot 13.07.2024) [Electronic resource]. – Access mode : www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_25323/.

10. Utverzhdenny kriterii dlya vnesheniya onlayn-prodavtsov BAD v reestr zapreshchennykh sajtoy [Electronic resource]. – Access mode : <https://vademec.ru/news/2025/11/19/utverzhdenny-kriterii-dlya-vneseniya-onlayn-prodavtsov-bad-v-reestr-zapreshchennykh-saytov/>.

11. Nikishkin, V.V. Professioqramma zabolevanij studentov NIU MGSU / M.V. Nikishkin, N.N. Bumarskova // Perspektivy nauki. – 2024. – № 10(181). – S. 95–97.

12. Bumarskov, P.A. Prichiny vozniknoveniya rasstrojstv pishchevogo povedeniya i ikh posledstviya / N.N. Bumarskova, V.V. Bizyaev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 5(155). – S. 70–73.

Hepatotoxicity of Biologically Active Food Supplements: Analysis of Data and Regulatory Aspects

V.S. Garnik, N.N. Frolova

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: biologically active food supplements; hepatotoxicity; drug-induced liver injury.

Abstract. This paper investigates the issue of hepatotoxicity of biologically active food supplements (**BFS**). The aim of the study is to identify BFS components most frequently causing drug-induced liver injury (**DILI**) and to determine the main risk factors for their development.

The research hypothesis is that certain BFS components have increased hepatotoxicity, and insufficient regulatory control contributes to the rise in DILI cases.

To achieve the set goal, the following tasks were addressed:

- analysis of clinical cases and scientific publications related to DILI associated with BFS intake;
- systematization of data on the most liver-hazardous BFS components;
- identification of the main risk factors for DILI development when using BFS;
- analysis of the regulator’s attitude towards BFS circulation and the existing safety control system.

Research methods include analysis of medical literature, statistical data, regulatory documents, and generalization of clinical experience on DILI cases related to BFS intake.

As a result of the study, it was found that a number of BFS components are highly likely to cause DILI, and the main risk factors are uncontrolled intake, combination with other medications, and the presence of concomitant liver diseases. Gaps in the BFS safety control system and insufficient public awareness of risks were identified. Based on the obtained data, it was concluded that there is a need to raise awareness of the problem and to involve legislative measures to tighten BFS safety checks.

© В.С. Гарник, Н.Н. Фролова, 2026

УДК 528.45

Интеграция наземного лазерного сканирования с цифровой моделью объекта для контроля качества строительства

Д.В. Михайлов, А.В. Коргин

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: геометрические отклонения; исполнительная модель; контроль качества строительства; наземное лазерное сканирование; облако точек; строительный контроль; цифровая модель объекта.

Аннотация. Рассматривается применение наземного лазерного сканирования в связке с цифровой моделью объекта для контроля качества строительства. Раскрываются возможности такого подхода при сопоставлении проектной и фактической геометрии, формировании исполнительной модели, выявлении отклонений конструкций и организации последующего мониторинга. Показано, что объединение облака точек, средств цифрового моделирования и геодезического контроля позволяет повысить полноту проверки, сократить объем повторных измерений и сделать оценку качества более наглядной и технологически управляемой. Отдельное внимание уделяется обработке данных сканирования и их включению в единую цифровую среду объекта.

Контроль качества строительства при переходе к цифровой среде перестает быть набором выборочных промеров и локальных проверок. Когда наземное лазерное сканирование (НЛС) связывается с цифровой моделью объекта, проверка начинает опираться на полное облако точек, а не на ограниченное число контрольных сечений. Это меняет саму логику строительного контроля: появляется возможность одновременно оценивать геометрию конструкций, отклонения от проектного положения, фактический объем выполненных работ, полноту исполнительной документации и состояние объекта на стадиях строительства и эксплуатации. На практике такая интеграция особенно востребована на объектах со сложной конфигурацией, большим числом узлов, плотной застройкой и высокими требованиями к точности геометрии.

Практика формирования цифровой модели по данным НЛС начинается с правильной организации исходных данных. Для объектов на месторождениях имени Романа Требса и имени Анатолия Титова трехмерная модель формировалась в местной системе координат МСК-83 и в Балтийской системе высот 1977 г., а результатом полевых работ становились облако точек в формате *LAS* и панорамные фотоснимки в формате *.jpeg* [1]. Далее модель строили



Рис. 1. Процесс предварительной обработки облака точек [3]

путем вписывания геометрических примитивов и поверхностей в массив точек в *AutoCAD Civil 3D*. Для строительного контроля здесь важны не кадастровые задачи сами по себе, а отработанная схема перехода от съемки к цифровой модели, которую можно использовать для проектирования, строительства, эксплуатации и управленческих решений. Показательно и нормативное сопровождение такого перехода: для многоэтажного жилья технологии информационного моделирования (**ТИМ**) должны применяться с 1 июля 2024 г. на этапах изысканий и проектирования и с 1 января 2025 г. – на этапе строительства, а для малоэтажных объектов – с 1 января и 1 июля 2025 г. соответственно. Для контроля качества это означает переход к связке «облако точек–цифровая модель–информационная среда объекта».

На стадии монтажа каркаса цифровая модель становится инструментом проверки фактического положения элементов. Для склада сырохранилища на 2 000 т с площадью застройки 3 758,36 м², строительным объемом 47 622,18 м³, размерами в осях 29,57 × 122,00 м и высотой 13,510 м использовалось НЛС для определения плановых и высотных смещений колонн и ферм относительно проектного положения [2]. Сканирование выполняли прибором *GLS-1500* с максимальной дальностью 330 м, погрешностью измерения дальности 4 мм на 15 м, угловой погрешностью 6", скоростью 30 тыс. Гц, полем зрения 360° по горизонтали и ±35° по вертикали. Пространственная 3D-модель формировалась дважды – на момент строительно-монтажных работ и после завершения строительства, после чего по ней строились горизонтальные и вертикальные сечения по осям. Для практики это важный результат: цифровая модель в строительном контроле должна не просто хранить геометрию, а давать возможность быстро получать сечения именно в зонах расположения колонн, ферм и других несущих элементов, где и фиксируются отклонения.

Отдельное значение для строительного контроля имеет подготовка облака точек к работе в среде моделирования. Камеральная обработка разложена на последовательные операции: импорт в специализированное программное обеспечение, предварительная обработка сканов, сшивка, оптимизация совмещения, нанесение контрольных марок и координат, привязка проекта к системе координат и экспорт данных.

Количественные результаты здесь особенно показательны. Для объекта 1 число точек сократилось с 54 156 933 до 46 149 806 после обработки и до 15 584 876 после сжатия, размер данных – с 5 261 695 394 до 2 969 468 184 и затем до 1 869 038 505 байт, время экспорта – с 320 до 263 и 190 с, а импорт в систему на примере *nanoCAD* – с 186 до 120 и 95 с [3]. Для объекта 2 число точек уменьшилось с 64 715 476 до 42 726 297 и 38 523 756, размер данных – с 3 311 092 823 до 2 461 865 088 и 1 537 076 307 байт, время экспорта – с 68 до 45 и 34 с, импорт – с 38 до 29 и 18 с. При этом плотность облака оставалась на уровне 97,999 и 103,638, то есть пригодность для моделирования сохранялась. Для строительного контроля отсюда

Таблица 1. Сопоставление методов измерений по показателям [6]

Метод измерений	Точность съемки в плане, м	Точность съемки по высоте, м	Срок полевых работ на 10 га, сутки	Срок обработки, дни
Геометрическое нивелирование	0,010	0,002	15	3
Тахеометрическая съемка	0,250	0,020	7	5
Спутниковые измерения <i>GPS</i>	0,010 в статике, 0,020 в кинематике	0,010 в статике, 0,020 в кинематике	5	5
Лазерное сканирование	0,030	0,030	1	15

следует прямой вывод: интеграция скана с цифровой моделью требует не только съемки, но и алгоритмов очистки, фильтрации и сжатия, иначе сплошной контроль превращается в тяжеловесный и медленный процесс.

При сопоставлении проектной информационной модели и фактически возведенной конструкции НЛС используется как прямой инструмент геометрической верификации. На фасадной части северного вестибюля станции метро «Пятницкое шоссе» решалась именно эта задача – совместить проектную модель с отсканированным объектом и выявить наличие элементов и их отклонения от проекта [4]. Использовался сканер *Topcon GLS-2000* с диапазоном 1–350 м, среднеквадратической погрешностью по расстоянию $\pm 3,5$ мм, угловым полем 0–360° по горизонтали и $\pm 135^\circ$ по вертикали, угловой погрешностью 6", массой 11 кг и габаритами 152 × 293 × 412 мм. Из-за овальной формы объекта потребовалось 8 станций сканирования, при этом сам процесс съемки занял около 2 часов, а загрузка и сшивка сканов в единое облако – около 1,5 часа. Из 8 сканов 6 зарегистрировались автоматически, для 2 пришлось вручную задавать общие точки из-за большого числа повторяющихся деталей. Облако точек переводится в рабочую измерительную модель, в которой можно выполнять промеры, цветовую оценку по высоте, очистку от артефактов и повторную регистрацию, а затем сверять поверхность и элементы с проектом по геометрическим расхождениям.

Мониторинг деформаций также строится на сопоставлении облака точек с идеальной геометрией и цифровой моделью объекта [5]. На площадке были отсканированы резервуары вертикальные стальные (РВС) и мачты освещения, а обработка выполнялась в *Trimble Real Works*. Для мачты сравнивались два цикла наблюдений – 2023 и 2024 гг. Средний крен в обоих циклах составил 0,005 при допустимом значении 0,008 и критическом 0,015, то есть отклонение оставалось в пределах допуска. Для РВС анализ выполняли по разности поверхности относительно идеального цилиндра и по ведомости оседаний по окрайке днища. В таблице приведены высоты по маркам от цикла 0 сентября 2012 г. до цикла 12 ноября 2024 г.; например, для марки М1 отметка изменилась с 70,260 до 70,274 м, для М3 – с 70,247 до 70,256 м, для М7 – с 70,240 до 70,250 м. Такой формат контроля важен для строительной темы статьи по одной причине: интеграция НЛС с цифровой моделью позволяет оценивать не только соответствие проекту на момент сдачи, но и пространственное поведение конструкции во времени, когда контроль качества переходит в режим наблюдения за эксплуатационной надежностью.

Геодезическая составляющая показывает, что НЛС не заменяет инструментальный контроль, а дополняет его в составе общей измерительной системы. Для высотных сооружений

прямое нивелирование дает точность 0,05–0,1 мм на расстоянии 5–10 м и 0,5 мм на расстояниях в сотни метров, а цифровые уровни повышают производительность примерно на 50 % [6]. Роботизированные тахеометры обеспечивают угловую точность до 0°00'0,5", GPS – определение координат до 1 см. Это подтверждает, что цифровая модель по данным НЛС должна использоваться как часть строгого инструментального контроля.

Для сложных промышленных площадок наибольший эффект дает не изолированное применение НЛС, а его совмещение с аэрофотосъемкой с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Аэрофотосъемка дает пространственное разрешение 2–4 см, но на промышленном объекте по точности уступает лазерному сканеру сопоставимой ценовой категории: до 20 см против до 5 мм [7]. Зато БПЛА лучше фиксирует крышу и общую планировочную ситуацию, а НЛС дает более детализированное облако по фасадам и внутренним частям здания. При эксперименте полет выполнялся на высоте 50–80 м со скоростью 4–6 м/с, интервалы между кадрами не превышали 2 с, снимки для объемной модели делались под углом от 10° до 35°. Временные затраты распределились так: только БПЛА – 0,5 ч полевых работ и 12 ч обработки, только НЛС – 1,5 ч полевых работ и 16 ч обработки, комбинированная схема – 1,25 ч полевых работ и 20 ч обработки. При этом итоговая модель становилась более полной и детализированной, поскольку включала данные как о внешней, так и о внутренней части объекта. Для строительного контроля это один из самых практичных выводов: если требуется не просто точность в локальной зоне, а полнота пространственной картины по всему объекту, интеграция НЛС с БПЛА дает более устойчивый результат, чем применение любого из методов отдельно.

Интеграция НЛС с цифровой моделью объекта применяется в тех случаях, когда требуется не выборочный контроль, а полная оценка фактической геометрии. Такой подход охватывает весь цикл работ – от получения и обработки облака точек до его сопоставления с проектом и последующего мониторинга. На стадии строительства он ускоряет выявление отклонений, на стадии приемки позволяет формировать более точную исполнительную модель, при эксплуатации – отслеживать крены, осадки и деформации. Наиболее надежный результат достигается при сочетании точной наземной съемки, качественной камеральной обработки и прямого сравнения облака точек с цифровой моделью проекта.

Литература

1. Байорис, А.Р. Применение технологии наземного лазерного сканирования при моделировании объектов недвижимости для 3D-кадастра / А.Р. Байорис, А.В. Ершов // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – 2025. – № 1. – С. 50–56. – DOI: 10.33764/2687-041X-2025-1-50-56.
2. Азаров, Б.Ф. Применение наземного лазерного сканирования для разработки проектной и исполнительной информационной модели строящегося здания / Б.Ф. Азаров, И.А. Филиппченко // Ползуновский альманах. – 2021. – № 1. – С. 11–13.
3. Глумова, Е.С. Обработка результатов наземного лазерного сканирования для создания цифровых моделей / Е.С. Глумова, Н.Ю. Дудаков, А.Д. Филинских // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 12. – С. 119–124.
4. Богданов, А.Н. Строительный контроль методом наземного лазерного сканирования / А.Н. Богданов, Я.А. Листратов // Известия КазГАСУ. 2019. – № 4(50) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/stroitelnyy-kontrol-metodom-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya>.

5. Черепанов, Д.Н. Анализ метода наземного лазерного сканирования для деформации объектов капитального строительства / Д.Н. Черепанов, И.В. Носков // Ползуновский альманах. – 2025. – № 1. – С. 236–240.

6. Мурсалимова, Э.А. Геодезический контроль процесса деформации высотных сооружений с использованием технологии наземного лазерного сканирования / Э.А. Мурсалимова, Г.К. Бажирова, А.К. Сейтказы // The Scientific Heritage. – 2022. – № 101(101). – С. 28–34. – DOI: 10.5281/zenodo.7340757.

7. Гришина, А.И. Комбинирование методов наземного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для повышения эффективности контроля промышленного строительства / А.И. Гришина, Р.Р. Рамазанов, А.В. Глухов, Е.Н. Левченко // Вектор ГеоНаук. – 2020. – №3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/kombinirovanie-metodov-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya-i-aerofotosemki-s-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-dlya-povysheniya>.

References

1. Bajoris, A.R. Primenenie tekhnologii nazemnogo lazernogo skanirovaniya pri modelirovanii obektov nedvizhimosti dlya 3D-kadastra / A.R. Bajoris, A.V. Ershov // Regulirovanie zemelno-imushchestvennykh otnoshenij v Rossii: pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, otsenka nedvizhimosti, ekologiya, tekhnologicheskie resheniya. – 2025. – № 1. – С. 50–56. – DOI: 10.33764/2687-041X-2025-1-50-56.

2. Azarov, B.F. Primenenie nazemnogo lazernogo skanirovaniya dlya razrabotki proektnoj i ispolnitelnoj informatsionnoj modeli stroyashchegosya zdaniya / B.F. Azarov, I.A. Filipchenko // Polzunovskij almanakh. – 2021. – № 1. – С. 11–13.

3. Glumova, E.S. Obrabotka rezultatov nazemnogo lazernogo skanirovaniya dlya sozdaniya tsifrovyykh modelej / E.S. Glumova, N.YU. Dudakov, A.D. Filinskikh // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzhya. – 2024. – № 12. – С. 119–124.

4. Bogdanov, A.N. Stroitelnyj kontrol metodom nazemnogo lazernogo skanirovaniya / A.N. Bogdanov, YA.A. Listratov // Izvestiya KazGASU. 2019. – № 4(50) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/stroitelnyy-kontrol-metodom-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya>.

5. CHerepanov, D.N. Analiz metoda nazemnogo lazernogo skanirovaniya dlya deformatsii obektov kapitalnogo stroitelstva / D.N. CHerepanov, I.V. Noskov // Polzunovskij almanakh. – 2025. – № 1. – С. 236–240.

6. Mursalimova, E.A. Geodezicheskij kontrol protsessa deformatsii vysotnykh sooruzhenij s ispolzovaniem tekhnologii nazemnogo lazernogo skanirovaniya / E.A. Mursalimova, G.K. Bazhirova, A.K. Sejtказы // The Scientific Heritage. – 2022. – № 101(101). – С. 28–34. – DOI: 10.5281/zenodo.7340757.

7. Grishina, A.I. Kombinirovanie metodov nazemnogo lazernogo skanirovaniya i aerofotosemki s bespilotnogo letatel'nogo apparata dlya povysheniya effektivnosti kontrolya promyshlennogo stroitelstva / A.I. Grishina, R.R. Ramazanov, A.V. Glukhov, E.N. Levchenko // Vektor GeoNauk. – 2020. – №3 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/kombinirovanie-metodov-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya-i-aerofotosemki-s-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-dlya-povysheniya>.

Integration of Terrestrial Laser Scanning with a Digital Model of an Object for Construction Quality Control

D.V. Mikhaylov, A.V. Korgin

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: terrestrial laser scanning; digital object model; construction quality control; point cloud; as-built model; geometric deviations; construction control.

Abstract. The use of terrestrial laser scanning integrated with a digital object model for construction quality control is considered. The text examines the potential of this approach for comparing design and actual geometry, creating an as-built model, detecting structural deviations, and organizing further monitoring. It is shown that the combination of point cloud data, digital modeling tools, and geodetic control improves the completeness of inspection, reduces the need for repeated measurements, and makes quality assessment more transparent and technologically manageable. Special attention is given to the processing of scanning data and its integration into a unified digital environment of the facility.

© Д.В. Михайлов, А.В. Коргин, 2026

УДК 528.45

Фотограмметрический контроль хода строительства с использованием беспилотных летательных аппаратов и применимость результатов для приемки работ

Д.В. Михайлов, А.В. Коргин

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: аэрофотосъемка; беспилотные летательные аппараты; исполнительная документация; приемка работ; строительный контроль; фотограмметрический контроль; цифровая модель объекта.

Аннотация. Рассматривается фотограмметрический контроль хода строительства с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как инструмент фиксации фактического состояния строительной площадки, сопоставления выполненных работ с проектными решениями и подготовки материалов для приемки. Раскрыты возможности аэрофотосъемки, ортофотопланов, облаков точек и цифровых моделей при оценке объемов, геометрии, последовательности работ и документировании скрытых процессов. Отдельное внимание уделено условиям, при которых результаты съемки могут использоваться в составе исполнительной и приемочной документации, а также ограничениям метода в практике строительного контроля.

Фотограмметрический контроль в строительстве используется не как разовая аэрофотосъемка, а как способ регулярной фиксации фактического состояния площадки. При облетах беспилотные летательные аппараты (БПЛА) формируют геопривязанные фотопанорамы, ортофотопланы, облака точек и цифровые модели, по которым оценивают объемы земляных работ, положение конструкций, отклонения от проектных отметок, наличие дефектов и степень готовности скрытых процессов. Для строительного контроля важны не сами изображения, а возможность измерения и сопоставления фактических данных с проектом, графиком и исполнительной документацией.

БПЛА применяются на всех стадиях жизненного цикла объекта, но в строительстве чаще используются мультироторные аппараты, прежде всего квадрокоптеры, способные зависать над ограниченной площадкой и выполнять повторяемую съемку с одинаковых ракурсов [1]. Это позволяет фиксировать ход монтажа, нарушения, изменения последовательности работ и получать 3D-модели, ортофото, и BIM-модель здания. Практика цифрового контроля показывает, что более 35 % времени команды уходит на сбор данных и исправление ошибок [2].



Рис. 1. Принцип работы дрон-технологии [2]

Съемка с БПЛА сокращает этот этап до нескольких часов, дает результат менее чем за сутки, снижает затраты более чем в два раза и обеспечивает точность около 3,5 см, поэтому такие материалы могут использоваться и при приемке работ.

Строительная отрасль остается одним из основных потребителей беспилотной съемки в геодезии и картографии. На гражданском рынке около 83 % операций БПЛА в энергетике связаны с мониторингом инфраструктуры, в недвижимости и промышленном контроле примерно 67 % запусков выполняется для обследования состояния объектов, а в строительстве около 80 % применений приходится на картографические и геодезические работы [3]. Это связано с тем, что инженерно-геодезическое сопровождение требует более высокой точности, чем кадастровые задачи, при одновременном сокращении сроков и повышении безопасности работ. В нормативной классификации выделяются малые беспилотные аппараты массой менее 30 кг и легкие дистанционно пилотируемые воздушные суда массой до 150 кг. При контроле строительства выбор между мультикоптером, самолетной, вертолетной и гибридной схемой влияет на длительность полета, устойчивость, грузоподъемность и возможность зависания. Для расчета объемов земляных работ преимущества БПЛА наиболее заметны на участках площадью от 3 га и более.

При контроле линейных объектов применяется более формализованный подход. Пространственные координаты определяются минимум по двум снимкам с разных ракурсов, после чего формируется облако точек. На этой основе разработана матрица материально-финансового контроля качества, в которой учтены 28 результатов применения цифровых технологий дистанционного управления и контроля, 6 конструктивных параметров, 9 потребительских свойств дорог, 33 дополнительных критерия использования БПЛА и 8 позиций, требующих специального бортового оборудования [4]. В общей сложности выделено 48 контролируемых позиций – от геометрии проезжей части и профиля насыпей до видеонаблюдения и фиксации происшествий. Для приемки такой подход важен тем, что подтверждение выполненных работ строится не на отдельных фотографиях, а на системе проверяемых параметров, связанных с проектом натурными измерениями и сертификацией.

Для фотограмметрического контроля существенна не только камера, но и траектория

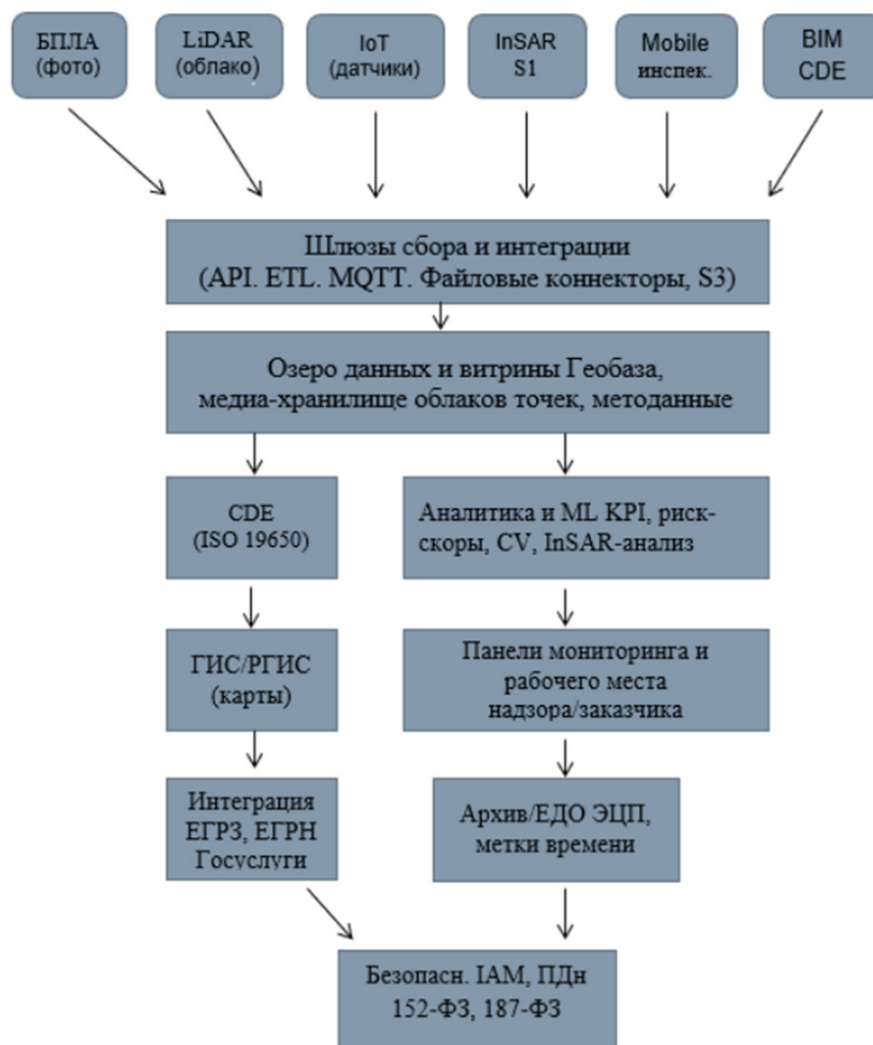


Рис. 2. Целевая архитектура региональной цифровой платформы строительного мониторинга [7]

облета. При обследовании строительных объектов с построением двумерного плана помещения предложен способ расчета очередной цели движения квадрокоптера с учетом локального и глобального окружения, а также выбора направления, расширяющего обследованную зону [5]. Метод проверен на типовой карте жилых квартир и показал работоспособность. Это важно для приемки, поскольку слепые зоны, неполный охват узлов и стыков или отсутствие фиксации конструкции до последующего закрытия снижают доказательную ценность материалов. Аналогично, фотоснимки, прилагаемые к актам освидетельствования, рассматриваются как источник диагностических данных. Для контроля скрытых работ использованы фотограмметрия, контурный, пиксельный, макро- и микротекстурный анализ изображений с сопоставлением результатов визуального обследования, вскрытия и дефектоскопии. При этом фотодокумент должен иметь разрешение не менее 2592×1944 , сохраняться в формате *JPEG*, *tiff* или *png* и иметь размер от 3 до 30 Мбайт [6]. Редактирование изображений не допускается, а съемка выполняется с привязкой к координатам объекта, оси, этажу или высотной отметке.

Наиболее зрелая модель применения БПЛА связывает их не с отдельным выездом гео-

дезиста, а с цифровой платформой мониторинга. Для площадок и линейных объектов предложен режим регулярных облетов от ежедневного до недельного в зависимости от стадии работ.

В матрице целевых метрик для прогресса строительства указаны ортофотопланы и цифровые модели поверхности *DSM – digital surface model* (цифровая модель поверхности) – на еженедельной основе, фото и видео – ежедневно, допустимая ошибка объемов земляных работ – не более 5 %, индекс выполнения графика – не ниже 0,95 [7]. Для геометрии и скрытых работ отдельно выделены мобильное и стационарное лазерное сканирование и облака точек с этапной фиксацией по вехам строительно-монтажных работ, девиацией геометрии не более 10–15 мм и покрытием не менее 95 %. Для деформаций и осадок заданы порог тревоги по тренду не ниже 3 мм в год и дрейф реперов не более 5 мм; для зимнего бетонирования – контроль достижения требуемой прочности по эквивалентному возрасту и перерасхода энергии не более 10 %; для охраны труда – снижение инцидентов не менее чем на 20 % год к году. В такой системе фотограмметрический контроль становится частью сквозной прослеживаемости: снимок, облако точек, отметка в цифровой модели, запись в электронном журнале работ и приемочный документ образуют единый пакет доказательств.

Фотограмметрический контроль с применением БПЛА полезен в оперативном, организационном и приемочном отношениях. Съемка позволяет быстро фиксировать фактическое состояние площадки, контролировать объемы, геометрию и ход работ, а также сопоставлять полученные данные с проектом, BIM-моделью и исполнительной документацией. Фото- и фотограмметрические материалы могут использоваться для подтверждения скрытых работ и фактической готовности объекта. Ограничениями остаются погодные условия, требования к квалификации оператора, правила полетов и необходимость стандартизированной обработки данных. При соблюдении этих условий БПЛА становятся полноценным инструментом строительного контроля и приемки работ.

Литература

1. Закиров, М.Ф. Применение беспилотных летательных аппаратов в строительной отрасли / М.Ф. Закиров, А.В. Салюк, Э.Э. Султанова, В.А. Вахрушев // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2025. – №7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-v-stroitelnoy-otrasli>.
2. Носков, И.В. Дрон-технологии в строительстве – современные решения и возможности / И.В. Носков, К.И. Носков, С.В. Тиненская, С.А. Ананьев // Вестник евразийской науки. – 2020. – №5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/dron-tehnologii-v-stroitelstve-sovremennye-resheniya-i-vozmozhnosti>.
3. Харитонов, Т.Б. Особенности применения беспилотных летательных аппаратов при аэрофотосъемке и ее фотограмметрической обработке в геодезических работах при строительстве / Т.Б. Харитонов, С.И. Акиншин, М.С. Клочкова // Вопросы управления недвижимостью, землеустройства и геодезии. – 2025. – № 2(8). – С. 125–130.
4. Бреус, Н.Л. Технологии беспилотного пилотирования при контроле строительства и эксплуатации линейных объектов капитального строительства / Н.Л. Бреус, А.Е. Токарев, А.А. Токарев // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14. – № 3.
5. Фомашин, И.С. Планирование траектории БПЛА при осмотре строительных объектов / И.С. Фомашин, В.И. Рубцов // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 3(165). – С. 76–82.
6. Мамонова, О.А. Контроль качества скрытых строительных работ по фотоснимкам,

прилагаемым к актам освидетельствования / О.А. Мамонова, Е.А. Жолобова // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2023. – № 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/kontrol-kachestva-skrytyh-stroitelnyh-rabot-po-fotosnimkam-prilagaemym-k-aktam-osvidetelstvovaniya>.

7. Тюрюмин, В.И. Совершенствование процессов мониторинга объектов строительства, реконструкции и капитального ремонта с использованием цифровых технологий в Иркутской области / В.И. Тюрюмин, О.В. Литвинова // Вестник науки. – 2026. – № 2(95) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-protsesov-monitoringa-obektov-stroitelstva-rekonstruktsii-i-kapitalnogo-remonta-s-ispolzovaniem-tsifrovyyh>.

References

1. Zakirov, M.F. Primenenie bespilotnykh letatelnykh apparatov v stroitelnoy otrasli / M.F. Zakirov, A.V. Salyuk, E.E. Sultanova, V.A. Vakhrushev // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. – 2025. – №7 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-v-stroitelnoy-otrasli>.

2. Noskov, I.V. Dron-tehnologii v stroitelstve – sovremennye resheniya i vozmozhnosti / I.V. Noskov, K.I. Noskov, S.V. Tinenskaya, S.A. Ananov // Vestnik evrazijskoy nauki. – 2020. – №5 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/dron-tehnologii-v-stroitelstve-sovremennye-resheniya-i-vozmozhnosti>.

3. KHaritonova, T.B. Osobennosti primeneniya bespilotnykh letatelnykh apparatov pri aerofotosemke i ee fotogrammetricheskoy obrabotke v geodezicheskikh rabotakh pri stroitelstve / T.B. KHaritonova, S.I. Akinshin, M.S. Klochko // Voprosy upravleniya nedvizhimostyu, zemleustrojstva i geodezii. – 2025. – № 2(8). – S. 125–130.

4. Breus, N.L. Tekhnologii bespilotnogo pilotirovaniya pri kontrole stroitelstva i ekspluatatsii lineynykh obektov kapitalnogo stroitelstva / N.L. Breus, A.E. Tokarev, A.A. Tokarev // Vestnik evrazijskoy nauki. – 2022. – T. 14. – № 3.

5. Fomashin, I.S. Planirovanie traektorii BPLA pri osmotre stroitelnykh obektov / I.S. Fomashin, V.I. Rubtsov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 3(165). – S. 76–82.

6. Mamonova, O.A. Kontrol kachestva skrytykh stroitelnykh rabot po fotosnimkam, prilagaemym k aktam osvidetelstvovaniya / O.A. Mamonova, E.A. ZHolobova // Sovremennye tendentsii v stroitelstve, gradostroitelstve i planirovke territorij. – 2023. – № 4 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/kontrol-kachestva-skrytyh-stroitelnyh-rabot-po-fotosnimkam-prilagaemym-k-aktam-osvidetelstvovaniya>.

7. Tyuryumin, V.I. Sovershenstvovanie protsesov monitoringa obektov stroitelstva, rekonstruktsii i kapitalnogo remonta s ispolzovaniem tsifrovyykh tekhnologij v Irkutskoy oblasti / V.I. Tyuryumin, O.V. Litvinova // Vestnik nauki. – 2026. – № 2(95) [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-protsesov-monitoringa-obektov-stroitelstva-rekonstruktsii-i-kapitalnogo-remonta-s-ispolzovaniem-tsifrovyyh>.

Photogrammetric Monitoring of Construction Progress Using Unmanned Aerial Vehicles and the Applicability of the Results for Work Acceptance

D.V. Mikhaylov, A.V. Korgin

*National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: photogrammetric monitoring; unmanned aerial vehicles; construction control; aerial survey; work acceptance; as-built documentation; digital object model.

Abstract. Photogrammetric monitoring of construction progress using unmanned aerial vehicles (UAV) is considered as a tool for recording the actual condition of a construction site, comparing completed work with design solutions, and preparing materials for acceptance procedures. The text outlines the capabilities of aerial imaging, orthophotos, point clouds, and digital models for assessing work volume, geometry, construction sequence, and documenting concealed operations. Special attention is given to the conditions under which survey results can be included in as-built and acceptance documentation, as well as to the practical limitations of this method in construction quality control.

© Д.В. Михайлов, А.В. Коргин, 2026

УДК 621.37

Схемотехническое моделирование низкочастотного усилителя

А.С. Терентьев, Е.Е. Дрокин, Т.Г. Орешенко

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки
и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»,
г. Красноярск (Россия)*

Ключевые слова и фразы: амплитудно-частотная характеристика; инструментальный усилитель; операционный усилитель; фильтрация.

Аннотация. В статье рассматривается разработка и исследование усилителя низких частот, предназначенного для усиления сигналов малой амплитуды в условиях воздействия шумов и нестабильности параметров элементов. Целью работы является создание усилительного канала, обеспечивающего высокий коэффициент усиления, устойчивость работы и контролируемые частотные характеристики при использовании доступной элементной базы. В работе учитывается влияние опорного потенциала на устойчивость усилителя, для чего применяется отдельный узел формирования опорного напряжения. Проведено схемотехническое моделирование усилителя, в ходе которого исследованы амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики, а также временные параметры выходного сигнала.

Усиление низкочастотных сигналов одна из ключевых задач аналоговой электроники при построении измерительных и преобразовательных систем. Малая амплитуда таких сигналов в сочетании со значительными помехами и собственными шумами усилительных элементов обуславливает повышенные требования к схемотехническим решениям [1].

При реализации высоких коэффициентов усиления в области низких частот определяющее влияние оказывают внутренние шумовые процессы и нестабильность опорного потенциала, что ухудшает точность передачи сигнала и сужает область применения типовых решений на доступной элементной базе [2]. Схемы на операционных усилителях общего назначения отличаются простотой реализации, однако ограничены уровнем собственных шумов и дрейфом нуля. Инструментальные усилители обеспечивают более высокое подавление синфазных помех, но с ростом коэффициента усиления шумовые составляющие также возрастают [3; 4]. Нестабильность опорного потенциала дополнительно приводит к возникновению нежелательных колебательных процессов.

В этой связи целью работы является разработка низкочастотного усилителя с каскадной структурой, обеспечивающего устойчивую работу, контролируемые частотные характеристики и снижение шумовых составляющих.

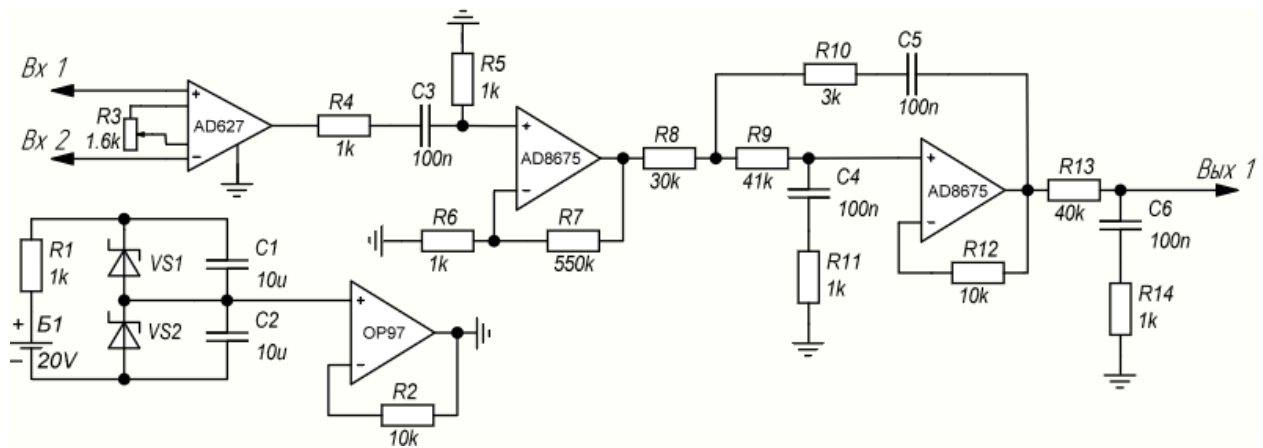


Рис. 1. Схематическая модель низкочастотного усилителя

Научная новизна работы заключается в реализации усилителя низких частот с распределенным коэффициентом усиления между каскадами различного типа и учетом влияния опорного потенциала на устойчивость системы. В отличие от типовых схем в предложенном решении особое внимание уделено формированию частотных характеристик в области низких частот и обеспечению устойчивости.

Представленная схема (рис. 1) представляет собой усилительный каскад для регистрации низкочастотных сигналов малой амплитуды и построена по каскадному принципу усиления с использованием инструментального усилителя и операционных усилителей (ОУ) общего назначения.

В схеме также используется ОУ *OP97*, выполняющий функцию формирования опорного напряжения. Данный узел обеспечивает стабилизацию потенциала общей точки и снижает влияние нестабильности источника питания на работу усилительного каскада. Использование опорного напряжения позволяет повысить устойчивость схемы.

Входной каскад выполнен на инструментальном усилителе *AD627*, обеспечивающем высокое входное сопротивление и подавление синфазного сигнала. Разделительная *RC*-цепь на выходе *AD627* осуществляет межкаскадную развязку по постоянному току, устраняет постоянную составляющую и задает нижнюю граничную частоту канала. Последующий первый каскад на ОУ *AD8675* усиливает отфильтрованный сигнал, затем второй каскад выполняет роль плато фильтра низких частот второго порядка. Выходной сигнал пригоден для цифровой обработки.

Коэффициент усиления каждого каскада определяется параметрами цепей обратной связи по стандартным выражениям для неинвертирующих усилителей; распределение усиления между ступенями снижает требования к отдельным элементам и уменьшает шумовой вклад. Глобальная обратная связь в схеме отсутствует, каждый каскад охвачен локальной цепью обратной связи, вследствие чего устойчивость системы определяется как параметрами усилительных элементов, так и организацией опорного потенциала.

В области низких частот собственные шумы усилительных элементов возрастают вследствие нестабильности параметров, искажая полезный сигнал. В рассматриваемой схеме шумовой вклад снижается каскадным распределением усиления и ограничением полосы пропускания.

Для оценки работоспособности представленной схемы и анализа основных характеристик выполним моделирование в программе *MicroCAP12*.

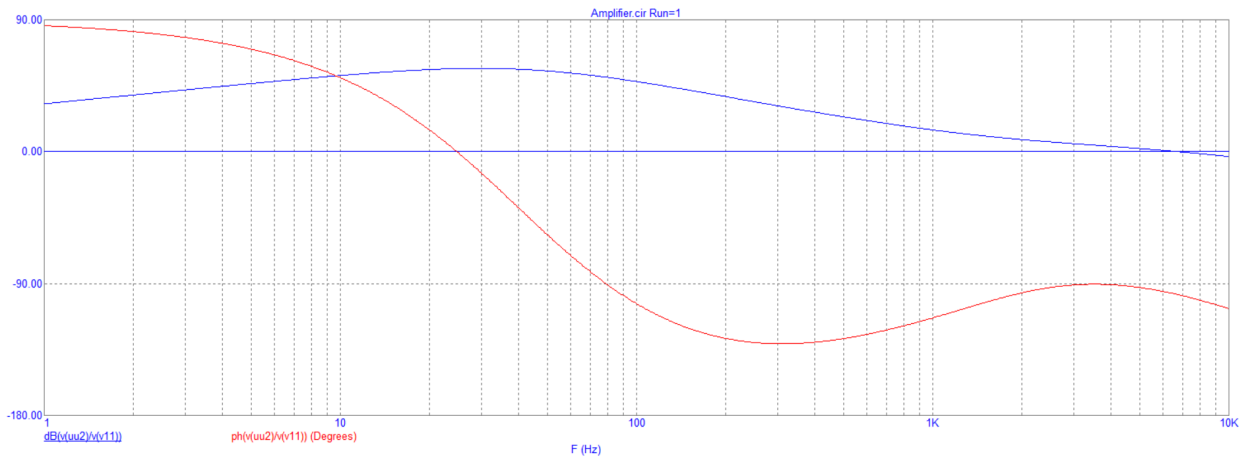


Рис. 2. ЛАХ и ФЧХ усилителя

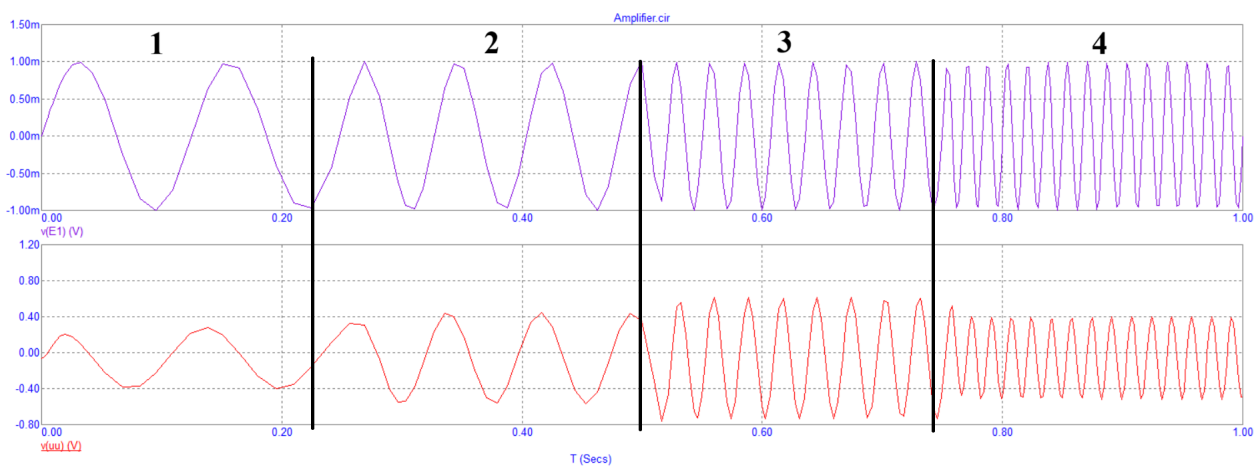


Рис. 3. Входные и выходные сигналы на разных частотах

Представленные на рис. 2 логарифмическая амплитудная характеристика (ЛАХ) и фазо-частотная характеристика (ФЧХ) усилителя демонстрирует типичное поведение полосового усилительного каскада. В области низких частот наблюдается рост коэффициента усиления с наклоном порядка 20 дБ/дек, обусловленный действием разделительных RC -цепей. Максимум усиления достигается в области порядка 29,65 Гц и составляет 56,83 дБ. Далее наблюдается спад характеристики, связанный с ограниченной полосой пропускания активных элементов.

Формирование полосы пропускания усилителя обусловлено совокупным влиянием разделительных RC -цепей и частотных свойств активных элементов. Нижняя граница определяется входными и межкаскадными цепями, тогда как верхняя граница ограничивается частотными характеристиками операционных усилителей.

ФЧХ имеет плавный характер в рабочем диапазоне частот. Поскольку усилительный каскад построен по каскадному принципу и не содержит глобальной обратной связи, анализ устойчивости применим к отдельным каскадам. По результатам моделирования установлено, что частота пересечения с уровнем 0 дБ составляет порядка $f_0 = 6,56$ кГц, при этом фазовый сдвиг равен около $-100,5^\circ$. Тогда запас по фазе составляет:

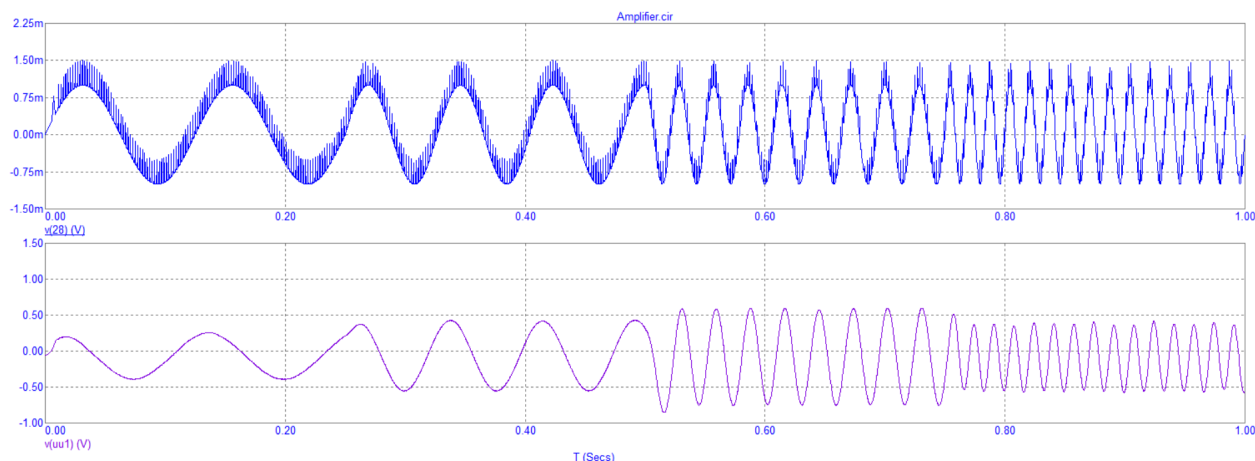


Рис. 4. Входные и выходные сигналы при наличии шума

$$\varphi_3 = 180^\circ - 100.5^\circ = 79.5^\circ. \quad (3)$$

Схемотехническое моделирование дает положительный запас по фазе и длине, что обеспечивает устойчивость усилителя при изменении элементов параметров и внешних воздействиях.

Результаты моделирования входных и выходных сигналов представлены на рис. 3 и 4.

На рис. 3 представлены временные диаграммы входного и выходного сигналов на частотах 8, 13, 35 и 60 Гц. На участке 1 (8 Гц) выходная амплитуда составляет $\sim 0,3$ В, что соответствует работе вблизи нижней граничной частоты канала. На участках 2 и 3 (13 и 35 Гц) амплитуда возрастает до $\sim 0,4$ и $\sim 0,5$ В соответственно, форма сигнала не искажена усилитель работает в области равномерной ЛАХ. На участке 4 (60 Гц) выходная амплитуда сохраняется на уровне $\sim 0,45$ В, искажения отсутствуют, что подтверждает устойчивую работу схемы в верхней части рабочего диапазона.

На рис. 4 представлены результаты моделирования при подаче входного сигнала, содержащего шум. Верхний график демонстрирует зашумленный входной сигнал с нарастающей частотой; нижний – выходной сигнал, в котором полезная составляющая отчетливо выделяется на фоне шума. По мере роста частоты соотношение сигнал/шум на выходе улучшается, что обусловлено ограничением полосы пропускания активными фильтрами схемы.

Разработанная схема усилителя обладает рядом конструктивных и функциональных особенностей, обусловленных спецификой регистрации низкочастотных сигналов, характеризующихся уровнем десятков микровольт, узким частотным диапазоном и высокой чувствительностью к синфазным и аддитивным помехам, а также к нестабильности опорного потенциала.

Входной каскад выполнен на инструментальном усилителе AD627, обеспечивающем высокий входной импеданс и эффективное подавление синфазных помех. Последующая обработка сигнала осуществляется двумя каскадами на ОУ AD8675 с низким уровнем шума и достаточной полосой пропускания. Распределение общего коэффициента усиления между ступенями снижает нагрузку на входной каскад, уменьшает вероятность нелинейных искажений и вклад шумов отдельных элементов. Используемая элементная база относится к доступному ценовому сегменту.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности создания компактной и отно-

сительно недорогой системы регистрации низкочастотных сигналов на основе доступной компонентной базы, обеспечивающей компромисс между стоимостью и характеристиками.

Разработанный усилитель может быть использован в составе измерительных систем, интерфейсов датчиков, а также в устройствах обработки аналоговых сигналов, работающих в области низких частот. Предложенные схемотехнические решения могут быть применены при построении усилительных каналов общего назначения.

Литература

1. Нейроинтерфейсы: технология преобразования биопотенциалов мозга в команды управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bioelectric.hse.ru/>.
2. Сушкова, Л.Т. Узлы и элементы медицинской техники: усилительные каскады : учеб. пособие / Л.Т. Сушкова ; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 110 с.
3. Иванов, А.А. Описание технических характеристик ЭЭГ-оборудования / А.А. Иванов // Эпилепсия. – 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://epilepsia.su/>.
4. Анисимов, В.И. Операционные усилители с непосредственной связью каскадов : монография / В.И. Анисимов, М.В. Капитонов, Н.Н. Прокопенко, Ю.М. Соколов. – Л. : Энергия, Ленинградское отделение, 1979. – 234 с.
5. AD627 Micropower, Single and Dual Supply Rail-to-Rail Instrumentation Amplifier [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.analog.com/>.
6. AD8675 Precision 36 V, 2.8 nV/√Hz Rail-to-Rail Output Op Amp [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8675.pdf>.
7. OP97 Low Power, High Precision Operational Amplifier [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/OP97.pdf>.
8. Терентьев, А.С. Разработка математической модели системы сбора низкочастотного зашумленного сигнала / А.С. Терентьев, Е.Е. Дрокин, Т.Г. Орешенко // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 12(174). – С. 47–51.

References

1. Nejrointerfejsy: tekhnologiya preobrazovaniya biopotentsialov mozga v komandy upravleniya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://bioelectric.hse.ru/>.
2. Sushkova, L.T. Uzly i elementy meditsinskoj tekhniki: usilitelnye kaskady : ucheb. posobie / L.T. Sushkova ; Vladim. gos. un-t im. A.G. i N.G. Stoletovykh. – Vladimir : Izd-vo VIGU, 2013. – 110 s.
3. Ivanov, A.A. Opisanie tekhnicheskikh kharakteristik EEG-oborudovaniya / A.A. Ivanov // Epilepsiya. – 2023 [Electronic resource]. – Access mode : <https://epilepsia.su/>.
4. Anisimov, V.I. Operatsionnye usiliteli s neposredstvennoj svyazyu kaskadov : monografiya / V.I. Anisimov, M.V. Kapitonov, N.N. Prokopenko, YU.M. Sokolov. – L. : Energiya, Leningradskoe otdelenie, 1979. – 234 s.
8. Terentev, A.S. Razrabotka matematicheskoy modeli sistemy sbora nizkochastotnogo zashumlennogo signala / A.S. Terentev, E.E. Drokin, T.G. Oreshenko // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 12(174). – S. 47–51.

Circuit Simulation of a Low-Frequency Amplifier

A.S. Terentiev, E.E. Drokin, T.G. Oreshenko

*Siberian State University of Science and Technology
named after Academician M.F. Reshetnev,
Krasnoyarsk (Russia)*

Keywords and phrases: instrumentation amplifier; operational amplifier; filtering; amplitude-frequency response.

Abstract. This article discusses the development and study of a low-frequency amplifier designed to amplify low-amplitude signals in the presence of noise and component instability. The goal of the study is to create an amplifier channel that provides high gain, operational stability, and controlled frequency response using readily available components. The study takes into account the influence of reference potential on amplifier stability, using a separate reference voltage generation unit. Circuit simulation of the amplifier was conducted, examining the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics, as well as the timing parameters of the output signal.

© А.С. Терентьев, Е.Е. Дрокин, Т.Г. Орешенко, 2026

УДК 519.86:330.47:004.738.5

Экономико-математическая модель оценки эффективности WebView-интерфейсов в цифровых платформах

И.В. Беликов, И.А. Киселева

*НОЧУ ВО «Московский финансово-промышленный университет «Синергия»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: гибридные приложения; мобильная разработка; пользовательская вовлеченность; производительность интерфейса; цифровая платформа; экономико-математическое моделирование; *WebView*.

Аннотация. В статье исследуется применение *WebView*-интерфейсов в мобильных приложениях как инструмента снижения затрат на разработку и ускорения доставки обновлений пользователям. Целью исследования является оценка влияния *WebView*-архитектуры на экономическую эффективность цифровых платформ с учетом компромисса между производительностью, пользовательским опытом и стоимостью сопровождения приложения. В качестве гипотезы предполагается, что использование *WebView* позволяет сократить совокупные издержки разработки и поддержки мобильного продукта, однако может приводить к снижению пользовательской вовлеченности вследствие ухудшения воспринимаемой производительности интерфейса. В работе применяются методы сравнительного анализа архитектурных подходов, элементы экономико-математического моделирования, а также подходы, основанные на анализе пользовательских метрик и A/B-тестировании. Проведено сравнение нативного, гибридного и *WebView*-подходов по показателям производительности, стоимости поддержки и скорости обновления приложений. В результате показано, что эффективность *WebView* зависит от баланса между экономией ресурсов и возможными потерями, связанными с ухудшением пользовательского опыта и снижением долгосрочной ценности пользователя для цифровой платформы.

Современные мобильные приложения для *iOS* и *Android* обладают широким функционалом и обеспечивают высокий уровень пользовательского опыта, однако проблемы начинаются тогда, когда такие приложения нужно поддерживать сразу у миллионов, а иногда и миллиардов людей. В классическом нативном подходе любое изменение кода проходит

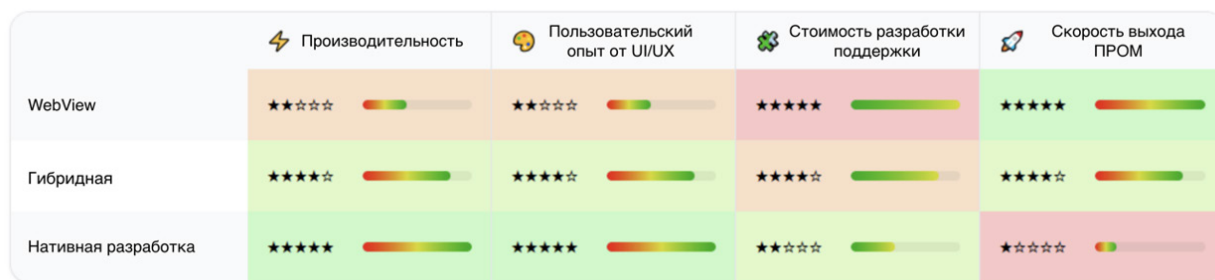


Рис. 1. Сравнение типов

через проверку в *App Store* или *Google Play* и только после этого попадает к пользователям. Даже небольшое исправление ошибки может добираться до всех неделями, что недопустимо в современных реалиях. Крупные приложения имеют множество команд разработки, что выпускают обновления иногда каждые несколько дней, и синхронизировать их очень сложно, так же и пользователи, они устанавливают их по-разному, кто-то сразу, кто-то через время, а кто-то вообще остается на старой версии месяцами или годами. Из-за этого даже простая правка бага может очень долго «доезжать» до всей аудитории.

Дополнительно процесс усложняют правила магазинов приложений. Исследования показывают, что ограничения платформ, необходимость поддерживать несколько версий кода и строгие циклы релизов часто создают не меньше проблем, чем технические сложности вроде производительности или тестирования [1]. В итоге получается, что нативный путь надежный, но не быстрый: все идет по правилам платформы, а не по желанию разработчиков или бизнеса.

Чтобы ускорить доставку обновлений, разработчики стали использовать ОТА-обновления и веб-подходы. Идея здесь простая: часть приложения может обновляться при запуске пользователем, без полного прохождения модерации в магазине. Например, интерфейс можно вынести в *WebView* – это встроенный внутри приложения мини-браузер, который отображает веб-страницы. Второй вариант – гибридные фреймворки, например *React Native*. В обоих случаях цель не только в скорости, но и в том, чтобы понять, насколько приложение остается удобным, «живым» для пользователя и насколько сложно его поддерживать разработчикам при частых изменениях.

Важную роль играет *frontend* приложения, именно он влияет на восприятие пользователя: скорость первого отображения экрана, предварительная загрузка данных, работа с пакетами кода и стабильность офлайн-режима [2]. Часто именно такие мелочи формируют ощущение, что приложение работает быстро и плавно, тут и заключается главная особенность *WebView*, ощущение от интерфейса намного более «ватное» и неотзывчивое.

WebView – это, по сути, встроенный в мобильное приложение мини-браузер. Он отображает интерфейс с помощью обычных веб-технологий *HTML*, *CSS* и *JavaScript*. Такой контент может храниться прямо на устройстве или подгружаться из интернета при необходимости. Главная особенность в том, что эта часть приложения не «зашита» в нативную сборку. Поэтому разработчики могут менять интерфейс и логику удаленно, а пользователи увидят обновления сразу после перезапуска приложения [3]. Проще говоря, это способ «упаковать сайт внутрь мобильного приложения». Минус в том, что такие решения часто ощущаются менее нативными: интерфейс может реагировать чуть медленнее, а поведение не всегда совпадает с полностью нативными приложениями. Предлагаю сравнить 3 основных подхода: на производительность, пользовательский опыт, стоимость разработки и поддержки, а так-

же скорость выхода в эксплуатацию пользователем (рис. 1).

Сравним более подробно три архитектурных подхода к мобильным приложениям – *WebView*, гибридный и нативный – по четырем ключевым параметрам: производительность, пользовательский опыт, стоимость поддержки и скорость обновлений.

Визуально зеленым отмечены сильные стороны каждого подхода, а красным – их компромиссы. Приложения на *WebView* выигрывают в скорости обновлений и простоте поддержки: изменения можно выкатывать практически сразу, а затраты на сопровождение обычно ниже. Однако такие решения нередко ощущаются менее отзывчивыми и не всегда полностью соответствуют привычному поведению нативных приложений на разных платформах.

Гибридные решения занимают промежуточное положение. Они обеспечивают производительность и опыт близкие к нативным, но при этом требуют заметных усилий для стабильной поддержки и настройки.

Нативные приложения по-прежнему лидируют по чистой производительности и качеству интерфейса. Но за это приходится платить более длительными циклами релизов и более высокими затратами на разработку.

Пользовательский опыт или так называемая «нативность», отражает то, насколько органично приложение вписывается в экосистему платформы. Поскольку интерфейсы *WebView*, по сути, представляют собой веб-страницы, жесты и прокрутка иногда ощущаются менее естественно по сравнению с нативными приложениями [4]. Поэтому разработчикам приходится дополнительно дорабатывать такие детали, чтобы интерфейс выглядел и ощущался привычнее.

Гибридные фреймворки работают иначе. Они используют реальные нативные компоненты (например, *UITextField* в *iOS* или *EditText* в *Android*), благодаря чему ввод текста и базовые взаимодействия становятся более плавными и консистентными на разных устройствах. Кроме того, такие решения дают более широкий доступ к системным возможностям – камере, датчикам движения, фоновым процессам и другим *API*. В то время как *WebView* остается частично изолированным и для расширенного доступа часто требуется дополнительная кодовая прослойка. Прогрессивные веб-приложения частично сокращают этот разрыв, но на *iOS* по-прежнему существуют ограничения на использование некоторых жестов и аппаратных функций. Это еще раз подчеркивает, что «нативность» определяется не только кодом, но и политиками платформ. На практике команды часто комбинируют подходы, к примеру, *WebView* используют для статичного или контентного интерфейса, а гибридные или нативные модули – для интерактивных и более сложных частей приложения.

С точки зрения разработки и сопровождения и *WebView*, и гибридные решения позволяют существенно снизить затраты по сравнению с полностью нативной разработкой. Общая кодовая база дает возможность переиспользовать логику и интерфейсы сразу на нескольких платформах. Развертывание *WebView*-решений также проще: обновления становятся доступны сразу после публикации на сервере. Однако за этой простотой скрывается и обратная сторона – необходимость тщательно контролировать стабильность, совместимость и корректную работу обновлений в реальных условиях.

Если оценивать эффективность *WebView*-интерфейсов в цифровых платформах, то это можно рассмотреть как результат взаимодействия трех групп факторов: экономических затрат, качества пользовательского опыта и технической производительности. В рамках предлагаемого подхода *WebView* рассматривается как компонент гибридной архитектуры, основанный на встроенном браузерном движке *WebView*, который позволяет существенно снизить затраты на разработку за счет использования единой веб-кодовой базы.

С экономической точки зрения основной эффект использования *WebView* заключается в снижении совокупных затрат на разработку и поддержку цифрового продукта, а также в сокращении времени выхода на рынок [5]. Однако данный эффект может быть частично компенсирован снижением качества пользовательского опыта, что связано с ограничениями производительности веб-слоя.

Пользовательский опыт в данной модели рассматривается через показатель воспринимаемой производительности, которая отражает субъективную оценку скорости и плавности работы интерфейса. Снижение этого показателя может приводить к уменьшению пользовательской вовлеченности и, как следствие, к снижению экономической эффективности цифровой платформы. Таким образом, эффективность *WebView* можно представить как баланс между экономией затрат и потерями, связанными с ухудшением пользовательского опыта. В упрощенном виде интегральная эффективность может быть описана следующим образом:

$$E = (\text{Экономия затрат} + \text{Доход}) - \text{Потери от ухудшения UX.} \quad (1)$$

Тут экономия затрат связана с сокращением расходов на разработку и поддержку, а потери UX проявляются через снижение конверсии и удержания пользователей (1).

Дополнительно эффективность *WebView* можно рассматривать не только с технической стороны, но и через количественные показатели, связанные с экономикой цифрового продукта. В этом случае производительность интерфейса влияет уже не просто на удобство приложения, а напрямую на поведение пользователей и финансовые результаты платформы. Для такой оценки обычно используют несколько основных метрик: удержание пользователей (*Retention Rate*), среднюю длительность сессии, количество отказов, конверсию в целевые действия и средний доход с одного пользователя. На практике даже небольшие задержки интерфейса способны заметно влиять на пользовательское поведение. Если приложение начинает работать медленнее или менее плавно, часть аудитории начинает реже пользоваться сервисом либо вовсе перестает возвращаться.

Связь между техническими параметрами приложения и экономическим результатом можно представить в виде зависимости (2):

$$R = f(P, U, C), \quad (2)$$

где R – итоговая эффективность цифрового продукта, P – производительность интерфейса, U – показатели активности пользователей, а C – расходы на разработку и сопровождение приложения. На практике подобные зависимости часто анализируют при помощи статистических методов. Например, можно сравнивать изменение времени загрузки экранов с показателями удержания аудитории или конверсии. Такой подход позволяет понять, насколько снижение производительности *WebView* действительно влияет на экономические показатели платформы, а также оправдывает ли экономия на разработке возможные потери пользовательской активности.

Отдельно стоит отметить использование A/B-тестирования. Этот метод активно применяется в мобильной разработке для проверки различных вариантов интерфейса. Пользователи случайным образом делятся на группы, после чего каждая из них работает с разными версиями приложения. Далее сравниваются показатели поведения аудитории: глубина взаимодействия, время использования, количество повторных запусков и другие метрики. Подобный подход позволяет принимать решения на основе статистики, а не только субъективного восприятия интерфейса разработчиками или менеджерами продукта.

С точки зрения экономико-математического анализа *WebView* можно рассматривать как инструмент снижения издержек за счет единой кодовой базы и ускоренного выпуска обновлений. Однако одновременно появляется риск ухудшения пользовательского опыта, особенно в сложных или нагруженных интерфейсах. По этой причине выбор архитектуры фактически становится задачей поиска баланса между стоимостью разработки, скоростью вывода продукта и качеством взаимодействия пользователя с приложением. Конечный экономический результат также может быть выражен через влияние на долгосрочную ценность пользователя, поскольку ухудшение пользовательского опыта напрямую влияет на повторное использование сервиса и уровень монетизации.

В результате *WebView*-интерфейсы демонстрируют высокую эффективность на этапе разработки и внедрения за счет снижения издержек, однако их долгосрочная экономическая эффективность зависит от того, насколько негативное влияние на пользовательский опыт компенсируется бизнес-выгодами от ускоренного вывода продукта на рынок.

Литература/References

1. Zohud, T. Cross-Platform Mobile App Development in Industry: A Multiple Case-Study / T. Zohud, S. Zein // International Journal of Computing. – 2021. – No. 20(1). – P. 46–54. – DOI: 10.47839/ijc.20.1.2091.
2. Horn, R. Native vs web apps: Comparing the energy consumption and performance of android apps and their web counterparts / R. Horn, A. Lahnaoui, E. Reinoso, S. Peng, V. Isakov, T. Islam, I. Malavolta // In 2023 IEEE/ACM 10th International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft), 2023 – P. 44–54. – DOI: 10.1109/MOBILSoft59058.2023.00013.
3. Lingolu, M.S.S. A Comprehensive Review of Progressive Web Apps: Bridging the Gap Between Web and Native Experiences / M.S.S. Lingolu, M.K. Dobbala // International Journal of Science and Research. – 2022. – No. 11(2). – P. 1326–1334. – DOI: 10.21275/SR24517172948.
4. Jagatha, V. Cross-Platform App Development: A Comparative Study of PWAs and React Native Mobile Apps / V. Jagatha, A. Khamesipour, S. Chung // Proceedings of the ISCAP Conference. – 2023. – No. 9(5944). – P. 1–10.
5. Jošt, G. State-of-the-Art Cross-Platform Mobile Application Development Frameworks: A Comparative Study of Market and Developer Trends / G. Jošt, V. Taneski // Informatics. – 2025. – No. 12(2). – P. 45. – DOI: 10.3390/informatics12020045.

Economic and Mathematical Model for Assessing the Efficiency of Webview Interfaces in Digital Platforms

I.V. Belikov, I.V. Kiseleva

*Moscow Financial and Industrial University "Synergy",
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: WebView; mobile development; digital platform; user engagement; economic and mathematical modeling; interface performance; hybrid applications.

Abstract. This article explores the use of WebView interfaces in mobile applications as a tool for reducing development costs and accelerating the delivery of updates to users. The aim of the study is to assess the impact of WebView architecture on the cost-effectiveness of digital platforms, taking

into account the trade-offs between performance, user experience, and application maintenance costs. It is hypothesized that using WebView reduces the overall costs of developing and supporting a mobile product, but may lead to decreased user engagement due to deterioration in the perceived performance of the interface. The study employs comparative analysis of architectural approaches, elements of economic and mathematical modeling, and approaches based on user metrics and A/B testing. A comparison of native, hybrid, and WebView approaches is conducted in terms of performance, support costs, and application update speed. The study demonstrates that the effectiveness of WebView depends on the balance between resource savings and potential losses associated with a deterioration in user experience and a decrease in the long-term user value for the digital platform.

© И.В. Беликов, И.А. Киселева, 2026

УДК 51.77

Алгоритм адаптивного конкурентного взаимодействия рыночных субъектов

И.В. Зайцева¹, О.Х. Казначеева², В.А. Жукова³, А.А. Зайцев⁴

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург (Россия);

² ГАОУ ВО «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт», г. Невинномысск (Россия);

³ ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», г. Ставрополь (Россия);

⁴ ФГКОУ ВО «Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации», г. Ставрополь (Россия)

Ключевые слова и фразы: конкурентное взаимодействие; математическая модель; рынок; фирма; экономика.

Аннотация. В данной работе рассматривается алгоритм решения задачи конкурентного взаимодействия фирм на торговом рынке и управляющего органа. Целью является разработка алгоритма модели компромиссного взаимодействия между интересами конкурирующих фирм и управляющего органа. Рассматривается экономико-математическая модель решения дифференциального уравнения, описывающего модель взаимодействия фирм и центра в различных вариациях. Результатом является нахождение компромисса между интересами фирмами и центром. Экономико-математическая модель конкуренции направлена на поиск равновесия, при котором рынок остается стабильным, а фирмы избегают банкротства. Для достижения компромисса используется математический аппарат теории игр.

Конкурентное взаимодействие предприятий для стабильности рынка базируется на формировании устойчивых преимуществ, что позволяет удерживать клиентов, адаптироваться к изменениям и обеспечивать баланс спроса и предложения. Динамические модели конкуренции помогают понять, при каких условиях рынок остается стабильным, а когда переходит в неустойчивое состояние. Для моделирования конкурентного взаимодействия и поиска рыночной стабильности чаще всего используется аппарат теории игр.

В настоящее время у любого товара, особенно это касается товаров массового потребления, есть товар-дублер. Товары могут отличаться по дизайну, цене и иным параметрам, поэтому, как фирма-изготовитель (или фирма-продавец) выставляет на продажу (позиционирует) товар, но основная цель приобретения товара остается неизменной. Рассмотрим три случая взаимодействия фирм-конкурентов: в простейшей первой модели две фирмы производят однородные товары и не конкурируют между собой; вторая модель является обобще-

нием первой, но в ней фирмы уже конкурируют между собой на рынке; третья модель является моделью конкурентного взаимодействия фирм на рынке и контролирующего органа, влияющего на их взаимодействия посредством сбора на доходы фирмы.

Пусть фирмы производят однородные (взаимозаменяемые) товары. Тогда скорость роста капитала фирмы будет зависеть от объема спроса на товар, производимый этой фирмой, от объема спроса на товар-дублер, производимый конкурирующей фирмой, и общего объема спроса. Исследуем решение по аналогии с моделью Лотки-Вольтерра [1]: V_1 – капитал первой фирмы, а V_2 – капитал второй фирмы; ρ_1, ρ_2 – общий объем спроса на товары, т.е. эти коэффициенты задают скорость роста капитала первой и второй фирмы соответственно; k_1, k_2 – коэффициенты, моделирующие процесс насыщения спроса, т.е. удовлетворения спроса товарами, производимыми соответственно первой и второй фирмами. Получаем уравнения, которые показывают скорости роста капиталов первой и второй фирмы соответственно:

$$V_1' = V_1(\rho_1 - k_1(k_1V_1 + k_2V_2)), \quad V_2' = V_2(\rho_2 - k_2(k_2V_2 + k_1V_1)). \quad (1)$$

Рассмотрим подробнее первое уравнение в системе (1): k_1V_1 – множитель, моделирующий насыщение спроса за счет товара, произведенного первой фирмой, а k_2V_2 – слагаемое, моделирующее насыщения спроса за счет противодействия конкурирующей фирмы. Соответственно, во втором уравнении системы (1): k_2V_2 – множитель, моделирующий насыщение спроса за счет товара, произведенного второй фирмой, а k_1V_1 – слагаемое, моделирующее насыщения спроса за счет противодействия конкурирующей фирмы, k_1, k_2 – коэффициенты, моделирующие удовлетворение спроса, при взаимозаменяемых товарах за счет конкурентов [2].

Уравнение (1), уравнения Вольтерра, описывают модель конкуренции двух фирм, производящих взаимозаменяемые товары. Данную систему можно переписать в виде:

$$\frac{dV_1}{dt} = V_1(\rho_1 - k_1F(V_1, V_2)), \quad \frac{dV_2}{dt} = V_2(\rho_2 - k_2F(V_1, V_2)). \quad (1')$$

Исследуем решение этой системы при начальных данных V_1^0, V_2^0 , положительных для $t = t_0$. Можно показать, что для всякого конечного интервала времени (t_0, T) существует единственное решение из двух непрерывных функций, заключенных между двумя положительными числами, из которых большее зависит от конца интервала T , что означает ограниченность V_1, V_2 .

Рассмотрим, что происходит при неограниченном увеличении времени. Переписывая (1') в виде:

$$\frac{d \log V_1}{dt} = \rho_1 - k_1F(V_1, V_2), \quad \frac{d \log V_2}{dt} = \rho_2 - k_2F(V_1, V_2),$$

где после преобразования получаем:

$$\frac{V_1^{k_2}}{V_2^{k_1}} = \frac{(V_1^0)^{k_2}}{(V_2^0)^{k_1}} e^{(\rho_1 k_2 - \rho_2 k_1)(t - t_0)}. \quad (2)$$

Пренебрежем практически невероятным случаем, когда $\rho_1 k_2 - \rho_2 k_1 = 0$, и предположим, что $\rho_1 k_2 - \rho_2 k_1 > 0$, тогда, согласно (2), имеем:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{V_1^{k_2}}{V_2^{k_1}} = +\infty. \quad (3)$$

Так как V_1 ограничено, то, следовательно, V_2 стремится к нулю. Таким образом, величина капитала второй фирмы, у которой ρ/k имеет меньшее значение, т.е. спрос на товар данной фирмы удовлетворен полностью, убывает и со временем вторая фирма теряет весь свой капитал, между тем как 1-я фирма продолжает существовать [3].

В действительности такой вариант, когда фирма действительно теряет весь свой капитал, встречается крайне редко. В большинстве случаев владелец фирмы быстро начинает понимать, что расходы на производство и продвижение товара превышают доходы от его продажи, и предпринимает какие-либо шаги для разрешения сложившейся ситуации [4].

Решением нашей задачи будет нахождение компромисса между конкурирующими фирмами и контролирующим органом. Дадим определение компромиссного множества и опишем алгоритм его нахождения [5].

Определение. Пусть X – компактное метрическое пространство, $H_i: X \rightarrow R_1$, $i \in I$ – суть непрерывные функции, $M_k = \max \{H_i(x) \mid x \in X\}$, $K_H = \{x \in X \mid \max_i M_i - H_i(x) \leq \max_i D_i - H_i(x'), \forall x' \in X\}$ – компромиссное множество.

Исходя из определения, составим алгоритм нахождения компромиссной точки [6].

Шаг 1: вычислим доход контролирующего органа и каждой фирмы за конечный промежуток времени.

Шаг 2: для контролирующего органа и каждой фирмы найдем максимальный доход C_i .

Шаг 3: найдем для контролирующего органа и каждой фирмы отклонение от максимума (C_i) для остальных функций дохода.

Шаг 4: из найденных отклонений для контролирующего органа и каждой фирмы выбираем максимальное.

Шаг 5: выбираем минимальное из этих максимальных отклонений, тогда процентная ставка сбора, в которой достигается этот минимум, и является компромиссом для контролирующего органа и конкурирующих фирм.

Рассмотрим расчет компромиссной точки и вычислим доход контролирующего органа и каждой фирмы за конечный промежуток времени.

Пусть доход первой фирмы за конечный промежуток времени:

$$h_1 = \int_0^T V_1 dt = \frac{-\ln(k_1^2 + e^{T(x-\rho_1)} D_1 \rho_1 - e^{T(x-\rho_1)} D_1 x) + T(x - \rho_1) + \ln(k_1^2 + D_1 \rho_1 - D_1 x)}{k_1^2};$$

доход второй фирмы за конечный промежуток времени:

$$h_2 = \int_0^T V_2 dt = \frac{-\ln(k_2^2 + e^{T(x-\rho_2)} D_2 \rho_2 - e^{T(x-\rho_2)} D_2 x) + T(x - \rho_2) + \ln(k_2^2 + D_2 \rho_2 - D_2 x)}{k_2^2};$$

доход контролирующего органа, получаемый при взимании сборов за конечный промежуток времени:

$$h_3 = \int_0^T (xV_1 + xV_2) dt;$$

суммарный доход фирм, конкурирующих между собой на рынке, за конечный промежуток времени без сбора:

$$\begin{aligned} \int_0^T (V_1 + V_2) dt &= \int_0^T \frac{D_1 \rho_1 e^{\rho_1(t-t_1)}}{1 + k_1^2 D^{\rho_1(t-t_1)}} dt + \int_0^T \frac{D_2 \rho_2 e^{\rho_2(t-t_2)}}{1 + k_2^2 D^{\rho_2(t-t_2)}} dt = \\ &= \frac{\ln(e^{t_1 \rho_1} + D_1 k_1^2 \rho_1 e^{\rho_1 T})}{k_1^2} - \frac{\ln(e^{t_1 \rho_1} + D_1 k_1^2)}{k_1^2} + \frac{\ln(e^{t_2 \rho_2} + D_2 k_2^2 \rho_2 e^{\rho_2 T})}{k_2^2} - \frac{\ln(e^{t_2 \rho_2} + D_2 k_2^2)}{k_2^2}, \end{aligned}$$

где $D_1 = \frac{V_1^0}{\rho_1 - k_1^2 V_1^0}$; $D_2 = \frac{V_2^0}{\rho_2 - k_2^2 V_2^0}$; V_1^0 – величина начального капитала первой фирмы, а V_2^0 – величина начального капитала второй фирмы.

Для контролирующего органа и каждой фирмы найдем максимальный доход C_i для всякого конечного интервала времени (t_0, T) . Фирмы получают максимальную прибыль при минимальном сборе, т.е. когда их доходы не облагаются ничем, что происходит при $x = 0$ $C_1 = \max \int_0^T V_1 dt$, $C_2 = \max \int_0^T V_2 dt$. Контролирующий орган получит максимальную прибыль при максимальном сборе, т.е. при $x = 1$ $C_3 = \max \int_0^T (xV_1 + xV_2) dt$.

Вычислим отклонение от максимума остальных функций дохода для первой фирмы, отклонение от максимума остальных функций дохода для второй фирмы, отклонение от максимума остальных функций дохода для контролирующего органа. Найдем максимальное отклонение для каждого агента:

$$\begin{aligned} \max (C_1 - h_1) &= \min (h_1 - C_1), \\ \max (C_2 - h_2) &= \min (h_2 - C_2), \\ \max (C_3 - h_3) &= \min (h_3 - C_3). \end{aligned}$$

Поскольку нашей целью является поиск компромиссной точки, значит, необходимо выбрать минимальное из этих максимальных отклонений и точка, в которой это достигается, является компромиссной для контролирующего органа и конкурирующих фирм $\min \max (C_i - h_i) = \max \min (h_i - C_i)$. Ввиду того, что точные вычисления представляются очень сложной задачей, для вычисления с заданной точностью будет написана программа.

Решением задачи будет нахождение компромисса между конкурирующими фирмами и центром. Для достижения цели необходимо осуществить поиск компромиссной точки, а значит, выбрать минимальное из максимальных отклонений и точка, в которой это достигается, является компромиссной для центра и конкурирующих фирм.

Литература

1. Зайцева, И.В. Математическое моделирование задачи многоагентного взаимодействия перемещения ресурсов / И.В. Зайцева, С.А. Теммеева, А.С. Шебукова, А.А. Филимонов // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 11. – С. 6–10.
2. Зайцева, И.В. Моделирование цикличности развития в системе экономик / И.В. Зайцева, О.А. Малафеев, А.В. Степкин, М.В. Черноусов, Е.В. Кособлик // Перспективы науки. –

2020. – № 10(133). – С. 173–176.

3. Зайцева, И.В. Управление динамикой конкурентного взаимодействия между предприятиями / И.В. Зайцева, А.И. Кирьянен, О.А. Малафеев, О.Х. Казначеева, М.Г. Казначеева // Перспективы науки. – 2021. – № 6(141). – С. 39–42.

4. Zaitseva, I.V. Mathematical model of network flow control / I.V. Zaitseva, O.A. Malafeyev, V.V. Zakharov, T.E. Smirnova, L.M. Novozhilova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 1st International Conference on Innovative Informational and Engineering Technologies. – 2020. – P. 012036.

5. Зайцева, И.В. Теоретико-игровая модель конкурентного взаимодействия в условиях множественности интересов участвующих агентов на рынке труда / И.В. Зайцева, А.В. Шапошников, С.Ю. Рожков, А.А. Шульга, С.В. Богданова // Перспективы науки. – 2019. – № 6(117). – С. 59–64.

6. Zaitseva, I.V. Optimal control of labour potencial of the region / I.V. Zaitseva, E.A. Semenchin, Ya.V. Vorokhobina, M.V. Popova // Life Science Journal. – 2014. – T. 11. – No. 11s. – P. 674–678.

References

1. Zajtseva, I.V. Matematicheskoe modelirovanie zadachi mnogoagentnogo vzaimodejstviya peremeshcheniya resursov / I.V. Zajtseva, S.A. Temmoeva, A.S. Shebukova, A.A. Filimonov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 11. – С. 6–10.

2. Zajtseva, I.V. Modelirovanie tsiklichnosti razvitiya v sisteme ekonomik / I.V. Zajtseva, O.A. Malafeev, A.V. Stepkin, M.V. Chernousov, E.V. Kosoblik // Perspektivy nauki. – 2020. – № 10(133). – С. 173–176.

3. Zajtseva, I.V. Upravlenie dinamikoj konkurentnogo vzaimodejstviya mezhdu predpriyatiyami / I.V. Zajtseva, A.I. Kiryanen, O.A. Malafeev, O.KH. Kaznacheeva, M.G. Kaznacheeva // Perspektivy nauki. – 2021. – № 6(141). – С. 39–42.

5. Zajtseva, I.V. Teoretiko-igrovaya model konkurentnogo vzaimodejstviya v usloviyakh mnozhestvennosti interesov uchastvuyushchikh agentov na rynke truda / I.V. Zajtseva, A.V. SHaposhnikov, S.YU. Rozhkov, A.A. SHulga, S.V. Bogdanova // Perspektivy nauki. – 2019. – № 6(117). – С. 59–64.

Algorithm of Adaptive Competitive Interaction of Market Entities

I.V. Zaitseva¹, O.Kh. Kaznacheeva², V.A. Zhukova³, A.A. Zaitsev⁴

¹ Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg (Russia);

² Nevinnomyssk State Humanitarian and Technical Institute,
Nevinnomyssk (Russia);

³ Stavropol State Agrarian University, Stavropol (Russia);

⁴ Krasnodar University of the Ministry of internal Affairs of the Russian Federation,
Stavropol (Russia)

Keywords and phrases: economics; mathematical model; competitive interaction; firm; market.

Abstract. This paper examines an algorithm for solving the problem of competitive interaction between firms in a trading market and a governing body. The goal is to develop an algorithm for

a model of compromise between the interests of competing firms and the governing body. An economic-mathematical model for solving a differential equation describing the interaction between firms and the governing body in various variations is considered. The result is a compromise between the interests of firms and the center. The economic-mathematical model of competition aims to find an equilibrium in which the market remains stable and firms avoid bankruptcy. The mathematical apparatus of game theory is used to achieve this compromise.

© И.В. Зайцева, О.Х. Казначеева, В.А. Жукова, А.А. Зайцев, 2026

УДК 5.2.5

Переориентация грузопотоков Российской Федерации в условиях трансформации мировой логистической системы

И.Д. Сидельников, С.А. Хатьянов, Е.А. Толстошеина

*ФГАОУ ВО «Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: Восточный полигон; грузопотоки; международные транспортные коридоры; морские порты; мультимодальные перевозки; переориентация; пункты пропуска; транспортная инфраструктура; транспортная логистика; цепи поставок.

Аннотация. Цель исследования – комплексно проанализировать процессы переориентации грузопотоков Российской Федерации в условиях трансформации мировой логистической системы. Для достижения цели решены задачи: раскрыты теоретические основы анализа грузопотоков, определены факторы переориентации, выделены основные направления изменений, оценена роль транспортной инфраструктуры и международных коридоров, выявлены ограничения и предложены сценарные контуры дальнейшего развития. Гипотеза исследования состоит в том, что устойчивость переориентации грузопотоков определяется не только изменением географии внешнеэкономических связей, но прежде всего инфраструктурной емкостью транспортной системы и согласованностью институционально-технологических условий функционирования цепей поставок. В работе использованы системный и сравнительный анализ, анализ официальной статистики и нормативно-стратегических документов, а также логистический подход к оценке инфраструктурных ограничений и транспортных узлов. Достигнутые результаты заключаются в обосновании восточного и южного векторов перераспределения грузопотоков, выявлении ключевых ограничений (узкие места сети, стыки «железная дорога – порт», пограничные процедуры, технологическая несогласованность участников перевозочного процесса) и формировании трех сценариев дальнейшего развития: инерционного, ускоренного и ограниченного.

Введение

Актуальность исследования определяется тем, что в последние годы переориентация грузопотоков Российской Федерации стала одним из ключевых проявлений адаптации транспортно-логистической системы к изменению внешнеэкономических условий и географии международной торговли. Перераспределение внешнеторговых потоков меняет конфигурацию перевозок, перераспределяет нагрузку на инфраструктурные узлы (магистраль, порты, пункты пропуска) и усиливает значение мультимодальных схем доставки. Официальные материалы фиксируют рост значимости азиатского направления во внешней торговле, что формирует макрооснову трансформации логистических маршрутов [1]. Одновременно статистические материалы отражают структурные изменения транспортного комплекса, что подтверждает необходимость анализа грузопотоков как объекта управления в логистике [2; 3].

Степень разработанности проблемы: теоретические основы логистики и управления цепями поставок, а также инструментарий транспортной логистики широко представлены в научной и учебной литературе [4; 5]. Вместе с тем современные условия требуют фокусировки на прикладных механизмах переориентации грузопотоков с учетом инфраструктурных ограничений, приоритетов транспортной политики [6], параметров развития Восточного полигона [7; 8], динамики портовой перевалки [9; 10] и изменений в погранично-таможенном администрировании [11–13].

Объект исследования – грузопотоки Российской Федерации как элемент транспортно-логистической системы. Предмет исследования – направления, факторы и инфраструктурно-институциональные условия переориентации грузопотоков, включая роль железнодорожной и портовой инфраструктуры, международных коридоров и пунктов пропуска [1; 6–15].

Цель исследования – комплексный анализ процессов переориентации грузопотоков Российской Федерации в условиях трансформации мировой логистической системы.

Задачи исследования:

- 1) раскрыть теоретические основы анализа грузопотоков;
- 2) определить факторы переориентации;
- 3) выделить основные направления изменений;
- 4) оценить роль инфраструктуры и международных коридоров;
- 5) выявить ограничения;
- 6) предложить сценарные контуры развития.

Методы: системный и сравнительный анализ, анализ официальной статистики и нормативно-стратегических документов, логистический подход к оценке инфраструктурных ограничений и транспортных узлов. Информационная база: Росстат [2; 3], ФТС России [1; 11], ОАО «РЖД» [7; 8], сведения по морским портам [9; 10], материалы по пунктам пропуска [12; 13], а также стратегические документы и национальные проекты [6; 14].

Научная новизна заключается в систематизации современных направлений переориентации (восточный и южный векторы) и в обосновании того, что устойчивость переориентации определяется не только изменением внешнеторговой географии, но и инфраструктурной емкостью транспортной системы и качеством погранично-процедурной среды [7–13] при стратегическом закреплении приоритетов коридоров и инфраструктурного развития [6; 14].

Практическая значимость: результаты применимы при обосновании приоритетов раз-

вития инфраструктуры восточного и южного направлений [7–10], при совершенствовании пограничных и таможенных процедур [11–13], а также при оценке сценариев развития международных коридоров и связанных логистических проектов [14; 15].

Теоретические основы анализа грузопотоков

В логистике грузопотоки рассматриваются как ключевой объект управления в цепях поставок, поскольку параметры потоков определяют требования к провозным мощностям, терминальной инфраструктуре, технологии обработки и уровню сервиса доставки [4; 16]. В транспортной логистике акцент делается на оптимизации процессов перемещения и стыковке операций (перевозка – перегрузка – хранение – оформление), что позволяет оценивать грузопоток не только по объему и направлению, но и по времени, надежности и совокупным издержкам [5].

Грузопотоки имеют междисциплинарный характер: они отражают территориальную организацию производства и потребления и одновременно выступают «нагрузкой» на инфраструктуру. Поэтому изменение географии внешней торговли и рынков сбыта приводит к перераспределению направлений перевозок и трансформации логистических маршрутов. В прикладном анализе это требует объединения экономической логики формирования спроса на перевозки и логистической логики инфраструктурной реализуемости перемещения [4; 5; 16].

Факторы переориентации грузопотоков Российской Федерации

Переориентация грузопотоков определяется совокупностью факторов, среди которых базовым является изменение географии внешней торговли: рост значимости азиатского направления в структуре внешнеторгового оборота формирует устойчивый спрос на восточные логистические маршруты [1].

Существенную роль играет государственная транспортная политика: стратегические документы закрепляют приоритеты развития международных коридоров и инфраструктуры, формируя институциональную основу для перераспределения потоков [6; 14].

Фактор инфраструктуры выступает одновременно ограничителем и драйвером: развитие Восточного полигона и портовой инфраструктуры расширяет возможности для перенаправления потоков [7–10].

Наконец, институционально-технологические условия (цифровизация, процедуры контроля, координация на границе) влияют на сроки и предсказуемость доставки, определяя конкурентоспособность новых маршрутов [11–13]. Таким образом, переориентация формируется в связке «внешнеторговая география – инфраструктурная емкость – институционально-процедурная среда».

Основные направления переориентации грузопотоков

Современная переориентация наиболее отчетливо проявляется в усилении восточного и южного направлений. Восточный вектор выражается в росте значимости перевозок на Дальний Восток и усилении связей «железная дорога–порт». Официальные материалы фиксируют развитие Восточного полигона и параметры наращивания его провозной способности как инфраструктурной основы восточного направления [7; 8].

Параллельно официальная статистика по морским портам демонстрирует усиление

дальневосточного бассейна и изменение структуры перевалки по видам грузов, что подтверждает закрепление восточного морского плеча [9; 10].

Южный вектор развивается в логике международных транспортных коридоров, прежде всего «Север – Юг», который рассматривается как важный маршрут диверсификации логистики и повышения устойчивости внешнеторговых перевозок [15]. Следовательно, направления переориентации следует трактовать не только как географическое смещение, но и как формирование новых устойчивых логистических контуров, опирающихся на инфраструктурные проекты и режимы функционирования коридоров.

Роль транспортной инфраструктуры и международных коридоров

Реализация переориентации грузопотоков определяется инфраструктурной емкостью транспортной системы: фактическая география перевозок формируется там, где обеспечены провозная способность, терминальные мощности и согласованные технологические процессы. В этом смысле железнодорожная инфраструктура выступает каркасом переориентации, а развитие Восточного полигона – ключевым условием устойчивости восточного направления [7; 8].

Одновременно растущая роль морских портов требует синхронизации железнодорожных подходов, портовой перевалки и терминальной обработки. Статистика по грузообороту портов отражает структурные изменения по бассейнам и видам грузов, что подчеркивает значимость терминально-портовых мощностей для устойчивости новых маршрутов [9; 10].

Для южного направления институционализация коридоров, включая «Север – Юг», формирует альтернативные маршруты и снижает зависимость от ограниченного числа направлений [15]. Стратегические документы и национальные проекты закрепляют приоритетность этих решений, что усиливает долгосрочный характер переориентации [6; 14].

Проблемы и ограничения переориентации грузопотоков

Несмотря на устойчивую тенденцию, переориентация сопровождается ограничениями, сдерживающими темпы и повышающими логистические издержки.

Во-первых, сохраняются узкие места инфраструктуры: даже при наращивании провозной способности Восточного полигона отдельные участки и стыки ограничивают рост перевозок и повышают чувствительность графиков к сбоям [7; 8].

Во-вторых, рост потоков усиливает нагрузку на пункты пропуска, а эффект от модернизации зависит от фактической пропускной способности и устойчивости технологических процессов [12; 13].

В-третьих, процедурные и технологические барьеры на границе (оформление, контроль, информационный обмен) напрямую влияют на сроки и предсказуемость доставки; цифровизация таможенных процедур выступает резервом повышения эффективности [11].

Наконец, терминально-портовые ограничения и неоднородность мощностей по видам грузов создают риски заторов на связках «железная дорога–порт» и увеличивают время оборота [9; 10].

Перспективы и сценарии развития

Перспективы переориентации определяются синхронностью развития инфраструктуры и институтов логистики. Инфраструктурный контур связан с развитием Восточного полиго-

на и портово-терминальной базы [7–10]. Пограничный контур определяется модернизацией пунктов пропуска и совершенствованием процедур, включая цифровизацию [11–13]. Институциональный контур формируется развитием международных коридоров и механизмов их функционирования, прежде всего по направлению «Север – Юг» [15], при стратегическом закреплении транспортных приоритетов [6; 14].

Сценарно целесообразно выделить:

- 1) инерционный сценарий, при котором рост ограничен узкими местами сети и постепенным снижением транзакционных издержек;
- 2) ускоренный сценарий, предполагающий синхронный ввод инфраструктурных мощностей и повышение процедурной скорости границы;
- 3) ограниченный сценарий, при котором отставание инфраструктурного ввода и сохранение высоких издержек усиливают волатильность сроков доставки.

Заключение

Переориентация грузопотоков Российской Федерации является комплексным процессом, формируемым изменением географии внешней торговли и необходимостью адаптации транспортно-логистической системы. Рост значимости азиатского направления задает базовую траекторию переориентации. Наиболее выраженные направления – восточный и южный векторы, причем устойчивость восточного направления определяется развитием Восточного полигона и усилением роли дальневосточных портов.

Ограничения связаны с инфраструктурными узкими местами, стыками «железная дорога–порт», а также с пропускной способностью и технологией работы пунктов пропуска, где важную роль играют модернизация и цифровизация процедур. Практическая значимость результатов заключается в обосновании необходимости синхронного развития магистральной, портовой и погранично-процедурной составляющих как единого логистического контура.

Литература

1. ФТС России. Материалы/сообщение о внешней торговле и росте роли азиатского направления [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://customs.gov.ru/press/aktual-no/document/597455>.
2. Росстат. Транспорт в России: статистические материалы (раздел статистических публикаций) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rosstat.gov.ru/>.
3. Росстат. Социально-экономическое положение России: периодические выпуски, 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/50801>.
4. Сергеев, В.И. Управление цепями поставок : учебник для бакалавриата и магистратуры / В.И. Сергеев. – М. : Юрайт, 2019. – 480 с.
5. Миротин, Л.Б. Транспортная логистика : учебник / Л.Б. Миротин, Ы.Э. Ташбаев. – М. : Экзамен, 2002. – 512 с.
6. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : распоряжение Правительства РФ № 3363-р от 27.11.2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda>.
7. ОАО «РЖД». Восточный полигон (БАМ и Транссиб): показатели развития и провозная способность по итогам 2024 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cargo.rzd>.

ru/ru/9787/page/103290?id=19721.

8. ОАО «РЖД». Публикации о динамике и плановых параметрах роста провозной способности Восточного полигона [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?accessible=true&id=221136>.

9. Ассоциация морских торговых портов (АСОП). Грузооборот морских портов России за 2025 год: официальная сводка [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rossii-za-2025-god>.

10. Ассоциация морских торговых портов (АСОП). Грузооборот морских портов России за январь-ноябрь 2025 года: официальная сводка [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rossii-za-yanvar-noyabr-2025-goda>.

11. ФТС России. Материалы о цифровизации таможенных процедур и ускорении прохождения грузов через границу [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://customs.gov.ru/press/aktual-no/document/671464>.

12. ФГКУ «Росгранстрой». Реконструкция пунктов пропуска на Дальнем Востоке, 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.rosgranstroy.ru/press-center/news/prodolzhaetsya-rekonstrukciya-punktov-propuska-na-dalнем-vostoke>.

13. ФГКУ «Росгранстрой». Модернизация пунктов пропуска на Дальнем Востоке, 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rosgranstroy.ru/press-center/news/gennadiy-bezlobenko-proveril-hod-rabot-po-modernizacii-punktov-propuska-na-dalнем-vostoke>.

14. Правительство Российской Федерации. Национальный проект «Эффективная транспортная система» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://government.ru/rugovclassifier/925/events/>.

15. МИД России. Международный транспортный коридор «Север – Юг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://mid.ru/ru/foreign_policy/economic_diplomacy/2068639/.

16. Григорьев, М.Н. Логистика : учебник ; 5-е изд., перераб. и доп. / М.Н. Григорьев, С.А. Уваров. – М. : Юрайт, 2024. – 746 с.

References

1. FTS Rossii. Materialy/soobshchenie o vneshnej trgovle i roste roli aziatskogo napravleniya [Electronic resource]. – Access mode : <https://customs.gov.ru/press/aktual-no/document/597455>.

2. Rosstat. Transport v Rossii: statisticheskie materialy (razdel statisticheskikh publikatsij) [Electronic resource]. – Access mode : <https://rosstat.gov.ru/>.

3. Rosstat. Sotsialno-ekonomicheskoe polozhenie Rossii: periodicheskie vypuski, 2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/50801>.

4. Sergeev, V.I. Upravlenie tsepyami postavok : uchebnik dlya bakalavriata i magistratury / V.I. Sergeev. – M. : YUrajt, 2019. – 480 s.

5. Mirotin, L.B. Transportnaya logistika : uchebnik / L.B. Mirotin, Y.E. Tashbaev. – M. : Ekzamen, 2002. – 512 s.

6. Ob utverzhdenii Transportnoj strategii Rossijskoj Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda : rasporyazhenie Pravitelstva RF № 3363-r ot 27.11.2021 [Electronic resource]. – Access mode : <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda>.

7. ОАО «РЖД». Vostochnyj poligon (BAM i Transsib): pokazateli razvitiya i provoznaya sposobnost po itogam 2024 goda [Electronic resource]. – Access mode : <https://cargo.rzd.ru/ru/9787/page/103290?id=19721>.

8. OAO «RZHD». Publikatsii o dinamike i planovykh parametrakh rosta provoznoj sposobnosti Vostochnogo poligona [Electronic resource]. – Access mode : <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?accessible=true&id=221136>.
9. Assotsiatsiya morskikh torgovykh portov (ASOP). Gruzooborot morskikh portov Rossii za 2025 god: ofitsialnaya svodka [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rossii-za-2025-god>.
10. Assotsiatsiya morskikh torgovykh portov (ASOP). Gruzooborot morskikh portov Rossii za yanvar-noyabr 2025 goda: ofitsialnaya svodka [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rossii-za-yanvar-noyabr-2025-goda>.
11. FTS Rossii. Materialy o tsifrovizatsii tamozhennykh protsedur i uskorenii prokhozheniya gruzov cherez granitsu [Electronic resource]. – Access mode : <https://customs.gov.ru/press/aktualno/document/671464>.
12. FGKU «Rosgranstroy». Rekonstruktsiya punktov propuska na Dalnem Vostoke, 2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.rosgranstroy.ru/press-center/news/prodolzhaetsya-rekonstrukciya-punktov-propuska-na-dalnem-vostoke>.
13. FGKU «Rosgranstroy». Modernizatsiya punktov propuska na Dalnem Vostoke, 2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://rosgranstroy.ru/press-center/news/gennadiy-bezlobenko-proveril-hod-rabot-po-modernizacii-punktov-propuska-na-dalnem-vostoke>.
14. Pravitelstvo Rossijskoj Federatsii. Natsionalnyj proekt «Effektivnaya transportnaya sistema» [Electronic resource]. – Access mode : <http://government.ru/rugovclassifier/925/events/>.
15. MID Rossii. Mezhdunarodnyj transportnyj koridor «Sever – YUg» [Electronic resource]. – Access mode : https://mid.ru/ru/foreign_policy/economic_diplomacy/2068639/.
16. Grigorev, M.N. Logistika : uchebnik ; 5-e izd., pererab. i dop. / M.N. Grigorev, S.A. Uvarov. – M. : YUrajt, 2024. – 746 s.

Reorientation of Cargo Flows in the Russian Federation under Conditions of Transformation of the Global Logistics System

I.D. Sidelnikov, S.A. Khatyanov, E.A. Tolstosheina

*Bauman Moscow State Technical University,
Moscow (Russia)*

Keywords and phrases: border crossing points; cargo flows; Eastern Railway Range; international transport corridors; multimodal transportation; reorientation; seaports; supply chains; transport infrastructure; transport logistics.

Abstract. The purpose of the study is to provide a comprehensive analysis of the reorientation of cargo flows in the Russian Federation under conditions of transformation of the global logistics system. To achieve this purpose, the study addresses the following tasks: it outlines the theoretical foundations for cargo flow analysis, identifies the factors of reorientation, determines the main directions of change, assesses the role of transport infrastructure and international corridors, reveals the key constraints, and proposes scenario outlines for further development. The research hypothesis is that the sustainability of cargo flow reorientation is determined not only by changes in the geography of foreign economic relations, but primarily by the infrastructure capacity of the transport system and by the consistency of the institutional and technological conditions of supply

chain operation. The study applies systems and comparative analysis, analysis of official statistics and strategic regulatory documents, and a logistics-based approach to assessing infrastructure constraints and transport nodes. The results achieved include substantiation of the eastern and southern vectors of cargo flow redistribution, identification of the main constraints (network bottlenecks, railway-port interfaces, border procedures, and technological inconsistency among participants in the transportation process), and formulation of three development scenarios: inertial, accelerated, and limited.

© И.Д. Сидельников, С.А. Хатъянов, Е.А. Толстошеина, 2026

УДК 336.14:005.21

**Эффективность привлечения
независимых экспертов
для приемки результатов
исполнения контрактов и соглашений,
заключенных в рамках реализации
отдельных мероприятий
государственных программ
в сфере образования**

Т.В. Зарайская¹, А.Р. Ганеев¹, А.В. Карпов²

¹ ФГБУ «Российская академия образования»;

² ООО «Академия СЭТ»,
г. Москва (Россия)

Ключевые слова и фразы: бюджетные средства; неустойка; экспертная оценка; экспертиза отчетной документации; эффективность использования бюджетных средств;

Аннотация. В статье представлен анализ эффективности привлечения независимых экспертов при приемке результатов исполнения контрактов и соглашений, заключенных в рамках реализации отдельных мероприятий государственных программ в сфере образования. В работе представлена система количественных показателей, оценивающих интенсивность проведения экспертиз, уровень выявленных нарушений, объем начисленных неустоек и долю расторгнутых контрактов. Проведен сравнительный анализ динамики указанных показателей, позволяющий оценить влияние независимой экспертизы на качество исполнения контрактных обязательств и эффективность приемки результатов заказчиками. Результаты исследования показывают, что привлечение независимых экспертов к экспертно-аналитическому сопровождению заказчиков, реализующих мероприятия государственных программ в сфере образования, способствует повышению качества приемки результатов исполнения контрактов и соглашений, а также повышению эффективности использования бюджетных средств. Экспертно-аналитическое сопровождение также обеспечивает повышение качества и дисциплины исполнения обязательств исполнителями и поставщиками. Сделан вывод о целесообразности использования независимой экспертизы в системе управления государственными закупками в рамках реализации отдельных мероприятий государственных программ в сфере образования.

В современных условиях развития контрактной системы в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд Российской Федерации особую актуальность приобретает повышение эффективности механизмов контроля исполнения обязательств по государственным контрактам и соглашениям. Одним из действенных инструментов такого контроля выступает привлечение независимых экспертов для проведения экспертизы для приемки результатов.

Несмотря на наличие значительного числа исследований, посвященных вопросам внешней экспертизы в сфере государственных закупок, эмпирическая оценка эффективности данного инструмента на основе фактических данных остается ограниченной. В этой связи возникает необходимость анализа практического опыта применения экспертно-аналитического сопровождения с использованием количественных показателей.

Цель исследования – оценка эффективности привлечения независимых экспертов при приемке результатов исполнения контрактов и соглашений в рамках реализации отдельных мероприятий государственных программ в сфере образования.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- сформирована система показателей оценки эффективности экспертного сопровождения;
- проведен сравнительный анализ результатов исполнения контрактов при наличии внешней экспертизы;
- выявлены особенности влияния экспертного сопровождения на качество исполнения обязательств;
- проанализированы результаты экспертизы соглашений о предоставлении субсидий.

В качестве методологической основы использованы сравнительный анализ (по периодам 2024–2025 гг.), структурно-динамический анализ показателей исполнения контрактов, расчет относительных и абсолютных показателей эффективности, кейс-анализ экспертного сопровождения.

Эмпирическую базу исследования составили данные экспертизы: 55 контрактов (2024 г.) на сумму 1 350,50 млн руб., 61 контракт (2025 г.) на сумму 900,33 млн руб. и 19 (2025 г.) соглашений о предоставлении субсидий на сумму 111,47 млн руб. Результаты исследования имеют ряд ограничений – анализ проведен на выборке двух заказчиков, все контракты и соглашения реализованы по тематике образования.

В научной и практико-ориентированной литературе отмечается, что привлечение независимых экспертов при проведении экспертизы результатов исполнения контрактов и отчетной документации рассматривается как более эффективный инструмент контроля по сравнению с внутренней экспертизой, осуществляемой силами заказчика [1–4]. Вместе с тем степень обоснованности данного положения на основе эмпирических данных остается недостаточно раскрытой, что обуславливает необходимость его дополнительной проверки на основе анализа практики экспертно-аналитического сопровождения.

В рамках выполнения контрактов по экспертно-аналитическому сопровождению закупочной деятельности организаций, реализующих мероприятия государственных программ, авторами в 2024–2025 гг. проводилась экспертиза комплектов отчетной документации по контрактам и соглашениям, реализованным в рамках отдельных мероприятий государственной программы в сфере образования. В дальнейшем указанные организации рассматриваются как заказчики.

Экспертно-аналитическому сопровождению подлежали не все заключенные заказчиками контракты, а только те, предметом которых являлись поставки сложного технического оборудования, разработка программных продуктов, оказание услуг в сфере научных и об-

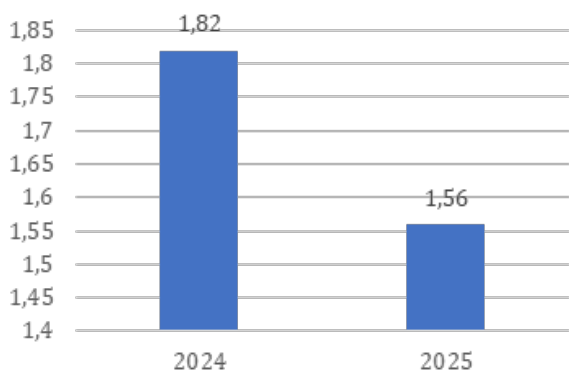


Рис. 1. Среднее количество экспертиз на один контракт

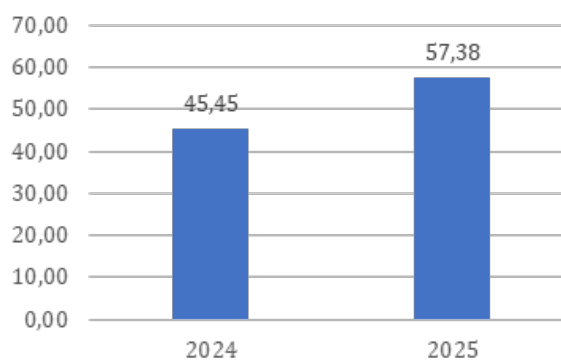


Рис. 2. Доля контрактов, по которым была проведена только одна экспертиза (в процентах)

разовательных мероприятий, а также информационное сопровождение мероприятий государственных программ по тематике образования. В 2024 году экспертиза проводилась в отношении 55 контрактов на общую сумму 1 350,50 млн руб., в 2025 году – 61 контракта на сумму 900,33 млн руб. Все контракты были заключены в соответствии с требованиями Федерального закона №44-ФЗ. [5].

В качестве показателей оценки эффективности экспертно-аналитического сопровождения использованы:

- среднее количество экспертиз на один контракт, при этом отдельно стоит выделить долю контрактов, по которым была проведена только одна экспертиза (в процентах);
- общий объем начисленной неустойки (пени и штрафы), а также доля неустойки относительно суммарной стоимости заключенных контрактов (в процентах);
- доля контрактов, по которым были выявлены факты нарушения сроков поставки и выполнения работ/оказания услуг (в процентах);
- доля контрактов, по которым были выявлены факты невыполнения или ненадлежащего исполнения требований (в процентах);
- доля контрактов, по которым было расторжение контракта (в процентах).

Значения показателей, характеризующих среднее количество экспертиз на один контракт, а также доля контрактов, по которым проведена только одна экспертиза, представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Показатель «Среднее количество экспертиз на один контракт» характеризует интенсивность контроля отчетной документации по контрактам: увеличение его значения свидетельствует о более высокой степени вовлеченности контрольных процедур. Динамика данного показателя может быть обусловлена как сложностью реализуемых проектов и высокой стоимостью контрактов, так и уровнем подготовленности исполнителей/поставщиков/подрядчиков (далее – поставщиков) к взаимодействию с требованиями контрактной системы. Учитывая, что до 2024 года независимая экспертная организация заказчиком не привлекалась, по мнению авторов, на значения показателя в 2024 году оказал существенное влияние фактор недостаточного опыта поставщиков, значительное количество из которых были индивидуальными предпринимателями, которые не имели опыта работы с государственными заказчиками. В 2025 году наблюдается снижение среднего количества экспертиз на один контракт примерно на 15 % при одновременном увеличении доли контрактов с одной экспертизой более чем на 25 %, что может свидетельствовать о повышении качества подготов-

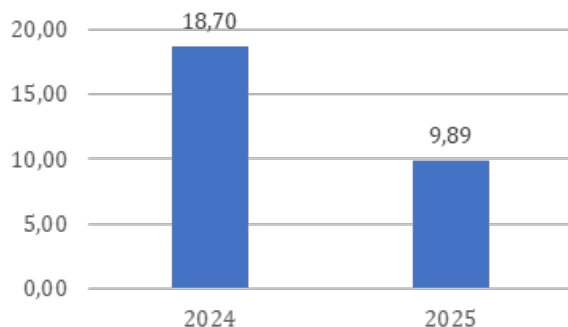


Рис. 3. Общий объем начисленной неустойки (пени и штрафы), млн руб.

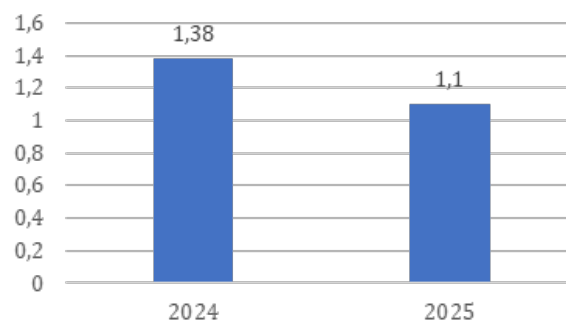


Рис. 4. Доля неустойки относительно суммарной стоимости заключенных контрактов (в процентах)

ки отчетной документации и адаптации поставщиков к установленным в рамках экспертно-аналитического сопровождения требованиям оформления и сдачи отчетной документации.

Показатель доли контрактов, по которым проведена только одна экспертиза, отражает степень глубины и детализированности контрольных процедур. Высокие значения данного показателя могут свидетельствовать о сниженной интенсивности проверки и ограниченной возможности выявления всех потенциальных нарушений, тогда как более низкие значения указывают на комплексный характер экспертизы, включая проведение дополнительных проверочных мероприятий (например, с выездом на места поставки товара или проведения мероприятий).

Высокое значение показателя «Доля контрактов, по которым была проведена только одна экспертиза (в процентах)» в 2024–2025 гг. в рассматриваемой организации обусловлено структурой анализируемых контрактов: ежегодно более 70 % экспертиз приходилось на контракты, связанные с поставкой товаров. В случаях, когда характеристики поставленных товаров соответствовали условиям контрактов, выявленные по результатам экспертизы недостатки, как правило, касались качества оформления сопроводительной (отчетной) документации. При этом заказчиком не инициировалось проведение повторной экспертизы комплектов документации с привлечением экспертной организации, поскольку указанные нарушения не препятствовали приемке результатов исполнения контрактов. Следует отметить, что доля контрактов, по которым с первого раза было сформировано положительное экспертное заключение, не превышала 5 % в год.

Таким образом, сочетание высокого среднего количества экспертиз с низкой долей контрактов, по которым проводилась только одна экспертиза, свидетельствует о достаточном уровне организации экспертно-аналитического сопровождения закупочной деятельности и снижении риска принятия результатов, не соответствующих установленным в контрактах требованиям.

Значения показателей общего объема начисленной неустойки (штрафов и пеней), а также доли неустойки в общей стоимости заключенных контрактов представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

Показатель общего объема начисленной неустойки (штрафов и пеней) характеризует степень исполнения обязательств по заключенным контрактам: увеличение его значения указывает на рост количества и/или значимости нарушений условий контрактов, включая сроки поставки товаров, оказания услуг и выполнения работ.

Показатель «Доля неустойки относительно суммарной стоимости заключенных кон-

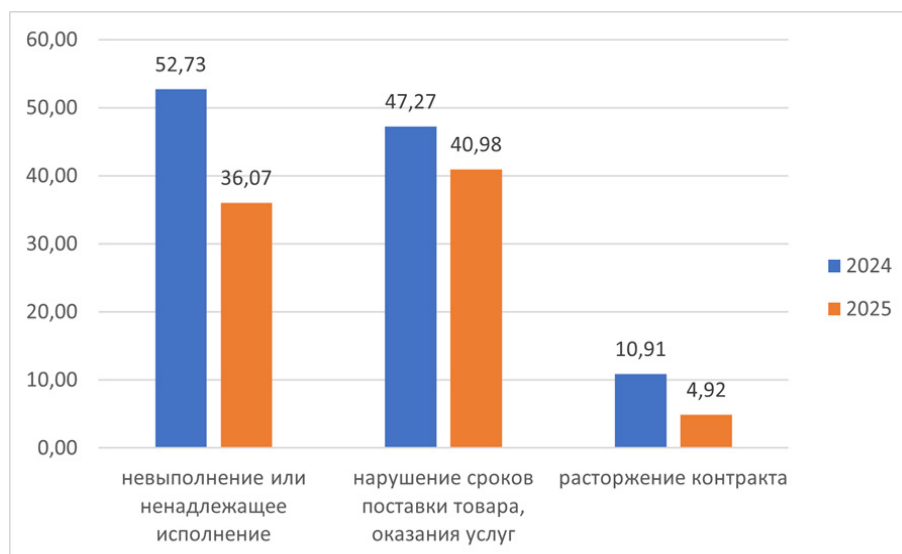


Рис. 5. Значения показателей «Доля контрактов, по которым были выявлены факты нарушения сроков поставки и выполнения работ/оказания услуг (в процентах)», «Доля контрактов, по которым были выявлены факты невыполнения или ненадлежащего исполнения требований (в процентах)» и «Доля контрактов, по которым было расторжение контракта (в процентах)» за 2024 и 2025 годы

трактов (в процентах)» отражает удельный вес штрафных санкций в общем объеме контрактного финансирования и позволяет оценивать уровень риска нарушения контрактных обязательств со стороны поставщиков. Увеличение значения данного показателя может свидетельствовать о более частых нарушениях сроков исполнения, требований к качеству продукции либо иных существенных условий контрактов.

Несмотря на относительно низкие значения указанного показателя (2024 г. – 1,38 %, 2025 г. – 1,10 %), абсолютные значения начисленной неустойки являются значительными и составляют 18,70 млн руб. и 9,89 млн руб. соответственно (рис. 3 и 4).

Значения показателей «Доля контрактов, по которым были выявлены факты нарушения сроков поставки и выполнения работ/оказания услуг (в процентах)», «Доля контрактов, по которым были выявлены факты невыполнения или ненадлежащего исполнения требований (в процентах)» и «Доля контрактов, по которым было расторжение контракта (в процентах)» за 2024 и 2025 года представлены на рисунке 5.

Рассматриваемые показатели характеризуют долю контрактов, по которым зафиксированы нарушения установленных сроков поставки товаров, выполнения работ или оказания услуг, а также факты неисполнения либо ненадлежащего исполнения иных требований контрактов (за исключением нарушений сроков). Высокие значения данных показателей свидетельствуют о снижении уровня исполнительской дисциплины поставщиков и систематическом несоблюдении контрактных обязательств. Напротив, низкие значения показателей могут указывать на более высокий уровень управляемости рисками и ответственность поставщиков за выполнение условий контрактов.

При интерпретации указанных показателей необходимо учитывать совокупность факторов, обуславливающих возникновение нарушений, включая объективные обстоятельства (форс-мажорные ситуации, внешние ограничения), внутренние организационно-производственные проблемы поставщиков (сбои в производственных процессах, недостаточность ресурсов), а также возможные недостатки в системе управления закупочной деятельностью

заказчика (некорректная оценка потребностей, ошибки при формировании технических требований).

По результатам экспертизы отчетной документации нарушения были выявлены практически по каждому второму контракту, что сопровождалось начислением неустойки в виде штрафов и пеней. Кроме того, по результатам экспертно-аналитического сопровождения заказчиков были зафиксированы случаи расторжения контрактов, количество которых составило 6 шт. в 2024 году и 3 шт. в 2025 году. Эффективность экспертно-аналитического сопровождения косвенно подтверждается сравнительным анализом значений показателей за 2022 и 2023 годы, которые оказались существенно ниже (более чем на 30 %) по сравнению с периодами, в которых для проведения экспертизы привлекалась специализированная экспертная организация. Полученные результаты свидетельствуют о существенном изменении характера выявления нарушений при использовании внешнего экспертного сопровождения.

Предложенная система показателей может рассматриваться в качестве инструмента мониторинга состояния системы контроля в сфере государственных закупок и применяться для выявления проблемных зон, а также повышения эффективности контрольных механизмов.

В качестве дополнительного примера рассмотрим результаты экспертно-аналитического сопровождения соглашений, не подпадающих под действие Федерального закона № 44-ФЗ. В данном случае объектом экспертизы являлись соглашения о предоставлении субсидий из федерального бюджета на реализацию мероприятий в рамках отдельного направления государственной программы. Общее количество проанализированных соглашений составило 19, а совокупный объем финансирования – 111,47 млн руб. Экспертиза включала анализ комплекта отчетных материалов, подтверждающих исполнение юридическими лицами обязательств, принятых в рамках заключенных соглашений. В состав указанных материалов входили: отчет об осуществлении расходов, источником финансового обеспечения которых является субсидия; отчет о достижении значений результатов предоставления субсидии; отчет о реализации плана мероприятий по достижению указанных результатов; отчет о финансовом обеспечении мероприятий за счет иных источников (при наличии); отчет о реализации проекта, а также документы, подтверждающие сведения, содержащиеся в отчетной документации.

Для обеспечения качества экспертной оценки заказчиком были установлены требования к квалификации привлекаемых специалистов, включающие наличие высшего образования, подтвержденного соответствующим документом; наличие повышения квалификации в области закупочной деятельности в объеме не менее 144 часов, при этом документ о повышении квалификации должен быть получен не ранее чем за один год до даты заключения контракта; а также наличие опыта участия не менее чем в трех проектах по проведению экспертизы исполнения обязательств по соглашениям и (или) государственным контрактам в рамках реализации мероприятий государственных программ и федеральных проектов Российской Федерации. Подтверждение указанных требований осуществлялось посредством предоставления копий дипломов, удостоверений о повышении квалификации, а также документов, подтверждающих участие в соответствующих проектах (приказы о формировании экспертных групп и (или) договоры на выполнение экспертных работ).

По результатам экспертизы комплектов отчетной документации по 19 соглашениям, проведенной с привлечением экспертов, соответствующих установленным требованиям, установлено следующее. По 11 соглашениям (58 %) сделан вывод о фактической реализации проектов, при этом выявленные в ходе экспертизы замечания не были устранены юридическими лицами. Экспертами отмечена возможность принятия указанных отчетов по усмотре-

нию комиссии заказчика. По 8 соглашениям (42 %) установлено, что реализация проектов осуществлена в полном соответствии с условиями заключенных соглашений и представленными заявками; соответствующие отчеты рекомендованы к приемке.

В соответствии с условиями заключенных соглашений и Правилами предоставления из бюджетов бюджетной системы Российской Федерации субсидий, в том числе грантов в форме субсидий, юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям, а также физическим лицам – производителям товаров, работ, услуг, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 25 октября 2023 г. № 1780 [6], в случае неисполнения либо ненадлежащего исполнения обязательств по соглашению получатель гранта несет ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации и условиями соглашения.

В ходе экспертизы установлены факты неисполнения либо ненадлежащего исполнения обязательств по 11 соглашениям (58 %). Суммарный размер начисленной неустойки составил 970 000,00 руб., что составляет 0,87 % от общего объема грантового финансирования по рассмотренным соглашениям. Несмотря на относительную незначительность доли, абсолютный размер неустойки свидетельствует о существенном объеме выявленных нарушений.

Таким образом, реализация механизмов экспертно-аналитического сопровождения позволила заказчику обеспечить соблюдение принципа эффективности использования бюджетных средств, установленного статьей 34 Бюджетного кодекса Российской Федерации.

Привлечение независимых экспертов способствует повышению прозрачности и выявляемости нарушений при исполнении контрактов и соглашений. Использование системы количественных показателей позволяет комплексно оценивать эффективность контрольных механизмов в сфере государственных закупок. Наблюдаемое увеличение доли выявленных нарушений и начисленных санкций при наличии экспертного сопровождения следует интерпретировать как результат усиления контрольных процедур, а не исключительно как снижение качества исполнения. Экспертно-аналитическое сопровождение оказывает влияние на поведение поставщиков, способствуя повышению качества подготовки отчетной документации. Полученные результаты подтверждают целесообразность институционализации независимой экспертизы как элемента системы управления государственными закупками.

Литература

1. Попова, А.В. Контроль исполнения контрактов в рамках Федерального закона № 44-ФЗ: проблемы и перспективы / А.В. Попова, А.А. Чернышева, Н.Н. Балыкина // Государственное управление. Электронный вестник. – 2021. – № 80.
2. Максимов, И.С. Практика привлечения независимых экспертов при исполнении контрактов в сфере госзакупок / И.С. Максимов // Управление проектами. – 2022. – № 4.
3. Петрова, Е.Ю. Внешняя экспертиза как инструмент повышения качества реализации государственных контрактов / Е.Ю. Петрова // Проблемы правового регулирования государственных и муниципальных закупок : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – М., 2022.
4. Самохвалов, Н.И. Опыт внедрения системы независимой экспертизы результатов государственных закупок / Н.И. Самохвалов, И.Б. Волков / Эффективность госуправления материалы Международной научной конференции. – Екатеринбург, 2023.
5. О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения го-

сударственных и муниципальных нужд : Федеральный закон № 44-ФЗ от 05.04.2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/?ysclid=mmudyo5ny2449080186.

6. Об утверждении Правил предоставления из бюджетов бюджетной системы Российской Федерации субсидий, в том числе грантов в форме субсидий, юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям, а также физическим лицам – производителям товаров, работ, услуг : Постановление Правительства Российской Федерации № 1780 от 25.10.2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_463136/947c9ab2eabc4c01a6d8b16bd5bf0003c6b8d46c/?ysclid=mmuer4ylxj384873289.

References

1. Popova, A.V. Kontrol ispolneniya kontraktov v ramkakh Federalnogo zakona № 44-FZ: problemy i perspektivy / A.V. Popova, A.A. Chernysheva, N.N. Balykina // Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyj vestnik. – 2021. – № 80.

2. Maksimov, I.S. Praktika privlecheniya nezavisimyykh ekspertov pri ispolnenii kontraktov v sfere goszakupok / I.S. Maksimov // Upravlenie proektami. – 2022. – № 4.

3. Petrova, E.YU. Vneshnyaya ekspertiza kak instrument povysheniya kachestva realizatsii gosudarstvennykh kontraktov / E.YU. Petrova // Problemy pravovogo regulirovaniya gosudarstvennykh i munitsipalnykh zakupok : sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. – M., 2022.

4. Samokhvalov, N.I. Opyt vnedreniya sistemy nezavisimoy ekspertizy rezultatov gosudarstvennykh zakupok / N.I. Samokhvalov, I.B. Volkov / Effektivnost gosupravleniya materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii. – Ekaterinburg, 2023.

5. O kontraktnej sisteme v sfere zakupok tovarov, rabot, uslug dlya obespecheniya gosudarstvennykh i munitsipalnykh nuzhd : Federalnyj zakon № 44-FZ от 05.04.2013 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/?ysclid=mmudyo5ny2449080186.

6. Ob utverzhdenii Pravil predostavleniya iz byudzhetrov byudzhetnoj sistemy Rossijskoj Federatsii subsidij, v tom chisle grantov v forme subsidij, yuridicheskim litsam, individualnym predprinimateljam, a takzhe fizicheskim litsam – proizvoditeljam tovarov, rabot, uslug : Postanovlenie Pravitelstva Rossijskoj Federatsii №1780 от 25.10.2023 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_463136/947c9ab2eabc4c01a6d8b16bd5bf0003c6b8d46c/?ysclid=mmuer4ylxj384873289.

Efficiency of Engaging Independent Experts for the Acceptance of Contract and Agreement Performance Results within the Implementation of Selected Measures of State Programs in the Field of Education

T.V. Zaraiskaya¹, A.R. Ganeev¹, A.V. Karpov²

¹ Russian Academy of Education; ² LLC “Academy” of SET»,
Moscow (Russia)

Keywords and phrases: public funds; efficiency of public fund utilization; expert evaluation; examination of reporting documentation; penalty.

Abstract. The article presents an analysis of the efficiency of engaging independent experts in the acceptance of the results of contract and agreement performance carried out within the framework of implementing selected measures of state programs in the field of education. The study proposes a system of quantitative indicators assessing the intensity of expert reviews, the level of identified violations, the amount of accrued penalties, and the share of terminated contracts. A comparative analysis of the dynamics of these indicators is conducted, making it possible to evaluate the impact of independent expertise on the quality of contract performance and the effectiveness of result acceptance by contracting authorities. The findings demonstrate that the engagement of independent experts in the expert-analytical support of contracting authorities implementing measures of state programs in the field of education contributes to improving the quality of acceptance of contract and agreement performance results, as well as enhancing the efficiency of public fund utilization. Expert-analytical support also ensures improved quality and discipline in the fulfillment of obligations by contractors and suppliers. The study concludes that the use of independent expertise is advisable within the public procurement management system when implementing selected measures of state programs in the field of education.

© Т.В. Зарайская, А.Р. Ганеев, А.В. Карпов, 2026

**XIII International Scientific Practical Conference
“SCIENCE. SOCIETY. BUSINESS”
(Russia, Kaliningrad Region, Kaliningrad,
May 16–17, 2026**

**XIII Международная научно-практическая конференция
«НАУКА.ОБЩЕСТВО.БИЗНЕС»
(Россия, Калининградской область, г. Калининград),
16–17 мая 2026 года**

Organising Committee:
Организационный комитет:

O.V. Voronkova (О.В. Воронкова)
V.M. Tyutyunnik (В.М. Тютюнник)
T.V. Bikesina (Т.В. Бикезина)
T.R. Rizokulov (Т.Р. Ризокулов)
E.V. Yaluner (Е.В. Ялунер)
A.B. Serykh (А.Б. Серых)
M.V. Avakyan (М.В. Авакьян)
Sanjay Yadav (Санджай Ядав)
T.B. Malinina (Т.Б. Малинина)
S.S. Bednarzhevskij (С.С. Беднаржевский)
I.O. Nadtochy (И.О. Надточий)
Kharroubi Naoufel (Харуби Науфел)
N.U. Chamsutdinov (Н.У. Чамсутдинов)
Wu Songjie (У Сунцзе)
M.N. Amanbayev (М.Н. Аманбаев)
Du Kun (Ду Кунь)

УДК 57.087.3

Сравнительный анализ отечественных и зарубежных фотоловушек: технические характеристики и эффективность

Я.Е. Бурков, А.Н. Логинов

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»,
г. Владимир (Россия)

Ключевые слова и фразы: автономное наблюдение; влагозащита; датчик движения; мониторинг дикой природы; фотоловушки; энергопотребление.

Аннотация. Автономные скрытые камеры, то есть фотоловушки, широко применяются для фотоохоты, мониторинга дикой природы и охраны территорий, на которых подключение к электросети сильно затруднено или вообще невозможно. Развитие технологий расширяет функционал этих устройств, повышая их эффективность и доступность. В работе отражены результаты сравнительного анализа отечественных и зарубежных моделей фотоловушек по таким ключевым параметрам как: качество съемки, чувствительность датчиков движения, уровень влагозащиты и энергопотребления. Особое внимание в исследовании уделено адаптации российских моделей к экстремальным климатическим условиям, а также преимуществ камер *Santek* с точки зрения энергоэффективности и стоимости. Результаты показывают, что выбор фотоловушки зависит от целей и условий эксплуатации, при этом отечественные модели отличаются высокой надежностью и степенью защиты, а зарубежные – энергоэффективностью и разнообразием моделей.

Автономные скрытые камеры (фотоловушки) широко применяются в фотоохоте, фото-мониторинге и наблюдении за территорией, лишенной стационарного электропитания, и позволяют вести наблюдение в труднодоступных местах, что обуславливает их востребованность. Развитие технологий расширяет функциональные возможности фотоловушек, повышает их эффективность и снижает стоимость. Простота эксплуатации способствует распространению устройств не только среди специалистов, но и среди любителей, побуждая производителей расширять модельный ряд и уделять повышенное внимание эксплуатационным характеристикам в конкурентной борьбе.

К числу основных проблем эксплуатации относят соотношение эффективности и стоимости. Эффективность определяется частотой корректного срабатывания датчика дви-

Таблица 1. Характеристики отечественных фотоловушек

Параметр \ Модель	«Филин»	«Кубик»	«Егерьям»	«Мангуст»
Максимальное разрешение съемки (фото)	15 мп	20 мп	30 мп	10-12 мп
Длина ночного излучения (нм)	750 нм	750 нм	840 нм	950 нм
Время работы от батареек АА	2 недели	1 неделя	2 недели	1,5 недели
Время работы от АГМ аккумулятора (12 ампер)	2 месяца	2,5 месяца	2,25 месяца	3 месяца
Цена (рубли)	7 000	18 000	20 000	23 000
Длина инфракрасного излучения ночью	940нм	850нм	940нм	860нм
Уровень работы датчика движения	1,0	0,5	1,5	2,3
Уровень защиты от влаги и пыли	IP54	IP64	IP65	IP65
Качество записи видео	1080p	720p	720p	720p
Дисплей управления	да	нет	Да	нет

жения; значительное количество «пустых» снимков указывает на низкую эффективность устройства. Наряду с этим стоимость не всегда прямо пропорциональна качеству.

Технологический прогресс и потребность в выборе камер стимулируют разработку новых функций, в частности распознавания и идентификации живых организмов. Внедрение такой функции способно ускорить развитие экологических исследований за счет сокращения времени обработки и систематизации данных.

Стремительное развитие фотоловушек связано с ростом спроса, обусловленным развитием биологической науки, а также интенсификацией охоты и туризма. В настоящем исследовании мы поставили цель выявить ключевые отличительные особенности различных типов фотоловушек, опираясь на личный опыт эксплуатации и анализ заявленных технических характеристик.

Применение фотоловушек в России активно началось в последние два десятилетия. На начальном этапе использование подобных устройств ограничивалось их низкой доступностью на отечественном рынке. Вместе с тем произошедший за этот временной период «бум» технологий скрытых автономных камер в странах Европы и США коренным образом изменил данную цифровую сферу. Следствием этого влияния стало развитие отечественного рынка автономных камер фотофиксации. Сегодня, среди самых популярных вариантов в России можно выделить четыре модели фотоловушек: «Филин», «Кубик», «Егерьям» и «Мангуст». Указанные модели применяются для решения задач по охране территории и наблюдению за дикими животными.

В рамках проведенного исследования, с опорой на личный опыт эксплуатации указанных выше автономных камер, установлено, что отечественные модели характеризуются широким спектром функций и конструктивных особенностей (табл. 1).

Проектирование отечественных камер определяется, в первую очередь, климатическими условиями Российской Федерации, что позволяет достичь их высокой надежности при функционировании в экстремальных погодных условиях. Например, рассматриваемые нами модели камер сохраняют свою работоспособность в широком температурном диапазоне (от -60 до $+50$ °C).

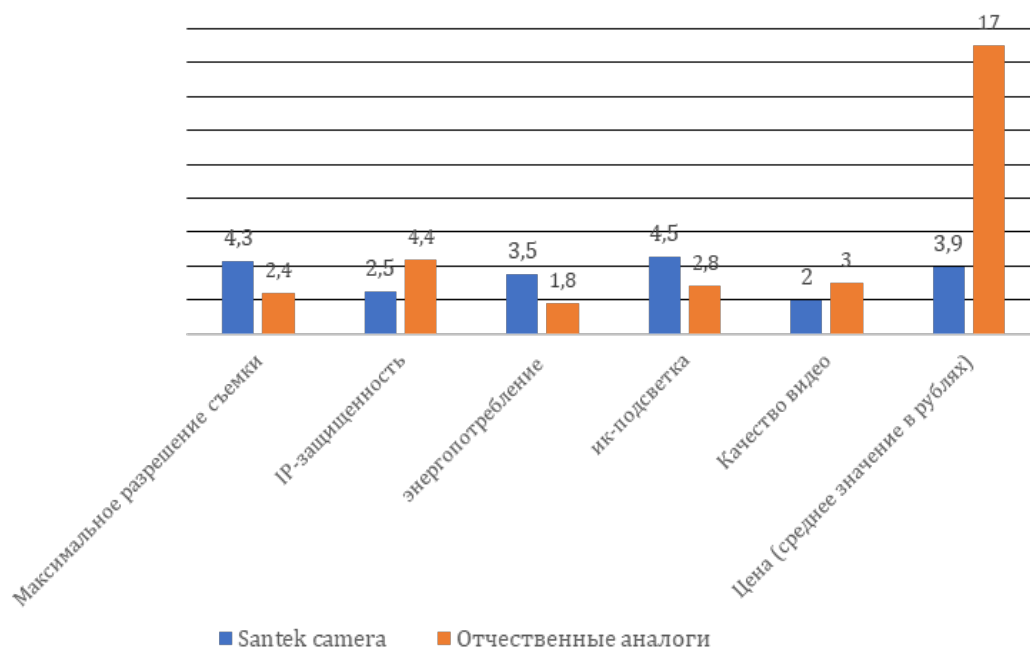


Рис. 1. Сравнительные характеристики отечественных и зарубежных фотоловушек

Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что модели «Филин», «Мангуст», «Егерьяк» и «Кубик» обладают базовыми параметрами и функционалом, критически важными при выборе камеры для фотофиксации животных или иных задач по автономному наблюдению. На основании выявленных особенностей (табл. 1) сформулированы выводы относительно отечественных брендов.

В частности, в последнее время рост продаж фотоловушек во многом обусловлен их доступной стоимостью. В бюджетном сегменте лидирующие позиции среди зарубежных систем автономной фотофиксации занимают камеры *Santek*. Указанное обстоятельство определило их включение в сравнительный анализ в качестве контрольного объекта. В сравнении с отечественными моделями фотоловушки *Santek* сочетают низкую цену с высоким уровнем технологической оснащенности, обеспечивая достойное качество и привлекательность для широкого круга пользователей.

Также в ходе испытаний установлено, что зарубежные камеры отличаются более широким модельным рядом, представленный как классическими, так и миниатюрными камерами. Последние благодаря малым габаритным размерам отличаются меньшей заметностью. Кроме того, на рынке присутствует множество моделей, лишенных GSM-модуля. Наличие модуля сотовой связи не всегда оправданно, поскольку даже на относительно небольшом удалении от населенных пунктов мобильная связь может отсутствовать.

В результате проведенных исследований были получены данные, отображенные на рис. 1. Среди полученных результатов особо необходимо отметить следующее: отечественные модели обладают надежным влагозащищенным корпусом. Это важный фактор при работе с камерами в суровых климатических условиях. Вторым важным аспектом является время автономной работы. По этому параметру хорошие показатели демонстрируют камеры *Santek*. Остальные показатели, касающиеся качества съемки и ИК-подсветки, оказались равными как у отечественных, так и у зарубежных автономных систем фотофиксации (фотоловушек).

Литература

1. Brown, L. Geographic Distribution of Mammals in Russia: A Digital Approach / L. Brown, M. Green // EcologyOnline, 2020 [Electronic resource]. – Access mode : <https://ecologyonline.com/articles/distribution-mammals-russia>.
2. Smith, J. Using Camera Traps to Study Large Mammals in Natural Habitats / J. Smith // National Geographic, 2021 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/camera-traps-large-mammals>.
3. Wildlife Conservation Society. Camera Traps in Conservation: Techniques and Applications [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.wcs.org/our-work/science/camera-traps>.
4. Гусев, П.В. Экологическая характеристика парка «Мещера»: особенности фауны / П.В. Гусев. – Россия : Лесная академия, 2022. – 134 с.
5. Михайлов, А.Н. Географическая дифференциация видов млекопитающих в России / А.Н. Михайлов // Экологический журнал. – 2021. – Т. 15. – № 4. – С. 77–86.

References

4. Gusev, P.V. Ekologicheskaya kharakteristika parka «Meshchera»: osobennosti fauny / P.V. Gusev. – Rossiya : Lesnaya akademiya, 2022. – 134 s.
5. Mikhajlov, A.N. Geograficheskaya differentsiatsiya vidov mlekopitayushchikh v Rossii / A.N. Mikhajlov // Ekologicheskij zhurnal. – 2021. – T. 15. – № 4. – S. 77–86.

Comparative Analysis of Domestic and Foreign Camera Trap: Technical Characteristics and Efficiency

Ya.E. Burkov, A.N. Loginov

*Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs,
Vladimir (Russia)*

Keywords and phrases: camera traps; autonomous surveillance; motion sensor; moisture protection; power consumption; wildlife monitoring.

Abstract. Autonomous hidden cameras, or camera traps, are widely used for wildlife photography, wildlife monitoring, and protection of areas where access to the power grid is difficult or impossible. Technological advances are expanding the functionality of these devices, increasing their effectiveness and affordability. This paper presents the results of a comparative analysis of domestic and foreign camera trap models based on key parameters such as image quality, motion sensor sensitivity, moisture protection, and power consumption. The study focuses on the adaptation of Russian models to extreme climatic conditions, as well as the advantages of SanteK cameras in terms of energy efficiency and cost. The results demonstrate that the choice of camera trap depends on the intended use and operating conditions, with domestic models offering high reliability and protection, while foreign models offer energy efficiency and a wide range of models.

© Я.Е. Бурков, А.Н. Логинов, 2026

УДК 616.379-008.64

Современные подходы к диагностике и лечению сахарного диабета 2 типа у детей и подростков на фоне экзогенно-конституционального ожирения

Р.Г. Гучетль¹, М.И. Власова²

¹ МОО «Фонд развития науки и культуры»,
г. Тамбов (Россия);

² ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
медицинский университет имени В.И. Разумовского»,
г. Саратов (Россия)

Ключевые слова и фразы: дети; диагностика; инсулинорезистентность; метформин; ожирение; подростки; сахарный диабет 2 типа.

Аннотация. Цель данной статьи заключается в изучении современных подходов к диагностике и лечению сахарного диабета 2 типа (СД2) у детей и подростков с экзогенно-конституциональным ожирением. Задачи исследования: рассмотреть основные механизмы развития СД2 у детей с ожирением, проанализировать современные методы диагностики заболевания, оценить возможности медикаментозной и немедикаментозной терапии, изучить роль профилактических мероприятий в предупреждении развития осложнений. Основной гипотезой исследования является то, что раннее выявление нарушений углеводного обмена у детей и подростков с экзогенно-конституциональным ожирением, а также применение комплексного персонализированного подхода к лечению, включающего модификацию образа жизни и современную медикаментозную терапию, позволяют повысить эффективность контроля гликемии, снизить выраженность инсулинорезистентности и уменьшить риск развития осложнений сахарного диабета 2 типа. Методологией исследования является научный поиск, обобщение, анализ, систематизация. Полученные результаты исследования показали, что современные методы диагностики позволяют своевременно выявлять нарушения углеводного обмена и начинать лечение на ранних стадиях. Основой терапии остаются коррекция образа жизни, рациональное питание и увеличение физической активности. Медикаментозное лечение, включая применение метформина и агонистов рецепторов ГПП-1, значительно расширяет возможности достижения компенсации заболевания.

Сахарный диабет 2 типа (СД2) у детей и подростков является одной из наиболее актуальных проблем современной педиатрической эндокринологии. Ранее данная форма диабета считалась преимущественно заболеванием взрослых, однако за последние годы частота его выявления в детском возрасте значительно возросла. Основной причиной является глобальное распространение экзогенно-конституционального ожирения, связанного с гиподинамией, нерациональным питанием и избыточным потреблением высококалорийной пищи.

Экзогенно-конституциональное ожирение представляет собой хроническое многофакторное заболевание, при котором избыток массы тела формируется вследствие дисбаланса между поступлением и расходом энергии при наличии наследственной предрасположенности. У детей с ожирением происходит развитие инсулинорезистентности, гиперинсулинемии и постепенное истощение β -клеток поджелудочной железы, что приводит к формированию СД2.

Особую значимость проблема приобретает из-за раннего развития осложнений: артериальной гипертензии, дислипидемии, неалкогольной жировой болезни печени, диабетической нефропатии и ретинопатии. Кроме того, заболевание оказывает выраженное влияние на качество жизни подростков, их психоэмоциональное состояние и социальную адаптацию.

В основе патогенеза СД2 лежит сочетание инсулинорезистентности и относительной недостаточности секреции инсулина. У детей с экзогенно-конституциональным ожирением висцеральная жировая ткань становится активным эндокринным органом, продуцирующим провоспалительные цитокины: фактор некроза опухоли- α , интерлейкин-6, лептин и резистин. Хроническое воспаление способствует снижению чувствительности тканей к инсулину.

Инсулинорезистентность приводит к компенсаторной гиперинсулинемии. На ранних этапах β -клетки поджелудочной железы способны поддерживать нормогликемию, однако со временем их функциональные возможности истощаются. В результате развивается нарушение толерантности к глюкозе, а затем манифестный сахарный диабет.

В пубертатном периоде физиологическая инсулинорезистентность дополнительно усиливает метаболические нарушения, что объясняет более частое выявление СД2 именно у подростков.

Клинические проявления заболевания развиваются постепенно. У многих пациентов длительное время отсутствуют выраженные симптомы, что затрудняет раннюю диагностику. Наиболее частыми жалобами являются: повышенная утомляемость; жажда; сухость во рту; учащенное мочеиспускание; увеличение массы тела; сонливость; снижение толерантности к физическим нагрузкам. У части подростков выявляются признаки инсулинорезистентности, в частности *acanthosis nigricans* – участки гиперпигментации и утолщения кожи в области шеи, подмышечных впадин и крупных складок. Нередко заболевание сочетается с артериальной гипертензией, дислипидемией и неалкогольной жировой болезнью печени, что формирует метаболический синдром.

Одним из современных подходов к диагностике сахарного диабета 2 типа у детей и подростков является скрининг групп риска. Согласно современным клиническим рекомендациям, обследованию подлежат дети старше 10 лет или подростки с ожирением и наличием дополнительных факторов риска: семейный анамнез СД2; артериальная гипертензия; дислипидемия; синдром поликистозных яичников; признаки инсулинорезистентности; низкая физическая активность. Скрининг рекомендуется проводить каждые 2–3 года.

Для подтверждения диагноза используются следующие лабораторные критерии: глюкоза плазмы натощак $\geq 7,0$ ммоль/л; уровень *HbA1c* $\geq 6,5\%$; глюкоза через 2 часа при пероральном глюкозотолерантном тесте $\geq 11,1$ ммоль/л; случайный уровень гликемии $\geq 11,1$ ммоль/л при наличии симптомов гипергликемии. Дополнительно оцениваются:

уровень инсулина и С-пептида; индекс *HOMA-IR*; липидный профиль; показатели функции печени; микроальбуминурия.

Для дифференциальной диагностики с сахарным диабетом 1 типа определяют аутоантитела к β -клеткам поджелудочной железы (*GAD*, *IA-2*, *ICA*).

Инструментальная диагностика включает в себя комплексное обследование: ультразвуковое исследование органов брюшной полости; оценку артериального давления; осмотр глазного дна; оценку индекса массы тела и *SDS* ИМТ; анализ состава тела.

Лечение сахарного диабета 2 типа у детей и подростков представляет собой сложную междисциплинарную задачу, требующую комплексного воздействия на основные звенья патогенеза заболевания. Современные подходы к терапии направлены не только на достижение компенсации углеводного обмена, но и на коррекцию инсулинорезистентности, снижение массы тела, профилактику сердечно-сосудистых осложнений и улучшение качества жизни пациентов.

Особенностью терапии СД2 в детском возрасте является необходимость сочетания медикаментозного лечения с длительной модификацией образа жизни. В отличие от взрослых пациентов, у подростков заболевание характеризуется более быстрым снижением функциональной активности β -клеток поджелудочной железы и ранним формированием осложнений, что требует своевременного начала лечения и постоянного динамического наблюдения.

Немедикаментозные методы лечения: основой терапии детей и подростков с СД2 на фоне экзогенно-конституционального ожирения остается изменение образа жизни. Доказано, что даже умеренное снижение массы тела способствует повышению чувствительности тканей к инсулину и улучшению показателей гликемического контроля.

Рациональное питание является важнейшим компонентом лечения. Современные рекомендации предусматривают индивидуальный подбор рациона с учетом возраста ребенка, степени ожирения, уровня физической активности и наличия сопутствующих заболеваний.

Основные принципы диетотерапии включают: ограничение простых углеводов и продуктов с высоким гликемическим индексом; уменьшение потребления насыщенных жиров; увеличение количества пищевых волокон; достаточное потребление белка; соблюдение режима дробного питания; снижение общей калорийности рациона. Особое значение имеет ограничение сладких газированных напитков, фастфуда, кондитерских изделий и высококалорийных перекусов. Предпочтение отдается овощам, цельнозерновым продуктам, нежирным сортам мяса и рыбы, молочным продуктам с пониженным содержанием жира.

В настоящее время большое внимание уделяется семейно-ориентированному подходу. Изменение пищевого поведения только у ребенка часто оказывается недостаточно эффективным, поэтому коррекция рациона должна затрагивать всю семью.

Регулярные физические нагрузки способствуют снижению инсулинорезистентности за счет увеличения утилизации глюкозы мышечной тканью и уменьшения висцерального ожирения. Согласно современным рекомендациям, детям и подросткам показано не менее 60 минут умеренной или интенсивной физической активности ежедневно.

Медикаментозная терапия: фармакотерапия назначается при недостаточной эффективности немедикаментозных мероприятий либо при выраженных нарушениях углеводного обмена на момент постановки диагноза.

Метформин остается препаратом первой линии для лечения СД2 у детей старше 10 лет. Его действие связано с подавлением глюконеогенеза в печени, уменьшением инсулинорезистентности и повышением чувствительности периферических тканей к инсулину.

К основным преимуществам метформина относятся: снижение уровня гликемии; умень-

шение гиперинсулинемии; отсутствие выраженного риска гипогликемии; положительное влияние на массу тела; улучшение липидного профиля.

Терапию обычно начинают с минимальных доз с постепенным увеличением для уменьшения риска диспепсических явлений. Наиболее частыми побочными эффектами являются тошнота, дискомфорт в животе и диарея, которые чаще возникают в начале лечения.

Инсулинотерапия: инсулин назначается при выраженной декомпенсации заболевания, наличии кетоза, тяжелой гипергликемии или высоком уровне гликированного гемоглобина.

Инновационные направления терапии: одним из наиболее перспективных направлений современной терапии является применение агонистов рецепторов глюкагоноподобного пептида-1 (ГПП-1). Данный класс препаратов оказывает комплексное воздействие на патогенетические механизмы заболевания.

Основные эффекты препаратов: стимуляция глюкозозависимой секреции инсулина; снижение аппетита; замедление эвакуации пищи из желудка; уменьшение массы тела; улучшение показателей гликемии.

У подростков с ожирением и СД2 применение агонистов рецепторов ГПП-1 способствует более выраженному снижению массы тела по сравнению с традиционной терапией. Кроме того, данные препараты демонстрируют положительное влияние на сердечно-сосудистые факторы риска.

Профилактика осложнений. Поскольку СД2 у детей характеризуется ранним развитием сосудистых осложнений, важнейшей задачей является их своевременная профилактика. Необходимо регулярно проводить: контроль уровня *HbA1c*; мониторинг артериального давления; исследование липидного профиля; оценку функции почек; офтальмологическое обследование. Ранняя диагностика осложнений позволяет предотвратить прогрессирование заболевания и улучшить качество жизни пациентов.

Таким образом, рост распространенности сахарного диабета 2 типа среди детей и подростков тесно связан с эпидемией экзогенно-конституционального ожирения. Заболевание характеризуется ранним развитием инсулинорезистентности и высоким риском сосудистых осложнений. Современные методы диагностики позволяют выявлять патологию на ранних этапах, а комплексный подход к лечению способствует улучшению метаболического контроля и снижению риска прогрессирования заболевания.

Литература

1. Власова, М.И. Сахарный диабет 1 типа: причины, симптомы и методы лечения / М.И. Власова, Р.Г. Гучетль // Перспективы науки. – 2026. – № 2(197). – С. 200–204.
2. Дедов, И.И. Детская эндокринология / И.И. Дедов, В.А. Петеркова. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2023.
3. Клинические рекомендации «Сахарный диабет 2 типа у детей» / Министерство здравоохранения РФ, 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://base.garant.ru/409466699/>.
4. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2024: Type 2 Diabetes in Children and Adolescents [Electronic resource]. – Access mode : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39675348/>.
5. American Diabetes Association. Standards of Care in Diabetes – 2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://professional.diabetes.org/standards-of-care>.
6. WHO European Regional Obesity Report, 2024 [Electronic resource]. – Access mode : <https://data.worldobesity.org/region/who-european-region-5/>.

References

1. Vlasova, M.I. Sakharnyj diabet 1 tipa: prichiny, simptomy i metody lecheniya / M.I. Vlasova, R.G. Guchetl // Perspektivy nauki. – 2026. – № 2(197). – S. 200–204.
2. Dedov, I.I. Detskaya endokrinologiya / I.I. Dedov, V.A. Peterkova. – M. : GEOTAR-Media, 2023.
3. Klinicheskie rekomendatsii «Sakharnyj diabet 2 tipa u detej» / Ministerstvo zdravookhraneniya RF, 2024 [Electronic resource]. – Access mode : <https://base.garant.ru/409466699/>.

Modern Approaches to the Diagnosis and Treatment of Type 2 Diabetes Mellitus in Children and Adolescents Against the Background of Exogenous Constitutional Obesity

R.G. Guchetl¹, M.I. Vlasova²

¹ *Foundation for the Development of Science and Culture,
Tambov (Russia);*

² *Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky,
Saratov (Russia)*

Keywords and phrases: type 2 diabetes mellitus; obesity; children; adolescents; insulin resistance; metformin; diagnostics.

Abstract. The purpose of this article is to study current approaches to the diagnosis and treatment of type 2 diabetes mellitus in children and adolescents with exogenous-constitutional obesity. The objectives of the study are to examine the main mechanisms of type 2 diabetes development in children with obesity, analyze current diagnostic methods, evaluate the potential of drug and non-drug therapy, and examine the role of preventive measures in preventing complications. The primary hypothesis of the study is that early detection of carbohydrate metabolism disorders in children and adolescents with exogenous-constitutional obesity, as well as the use of a comprehensive, personalized approach to treatment, including lifestyle modification and modern drug therapy, can improve the effectiveness of glycemic control, reduce the severity of insulin resistance, and decrease the risk of complications of type 2 diabetes. The research methodology includes scientific research, generalization, analysis, and systematization. The obtained results demonstrate that current diagnostic methods enable the timely detection of carbohydrate metabolism disorders and the initiation of treatment at an early stage. Lifestyle modification, a balanced diet, and increased physical activity remain the mainstay of treatment. Medication, including metformin and GLP-1 receptor agonists, significantly improves the chances of achieving disease control.

© Р.Г. Гучетль, М.И. Власова, 2026

УДК 51.77

Математическая модель динамической устойчивости цен экономических процессов

И.В. Зайцева¹, В.Г. Галкина²,
М.Г. Казначеева³, А.А. Филимонов⁴

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург (Россия);

² ФГБОУ ВО «Военный учебно-научный центр
Военно-Морского Флота «Военно-морская академия
имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»,
г. Санкт-Петербург (Россия);

³ ГАОУ ВО «Невинномысский государственный
гуманитарно-технический институт»,
г. Невинномысск;

⁴ ФГКОУ ВО «Краснодарский университет
Министерства внутренних дел Российской Федерации»,
г. Ставрополь

Ключевые слова и фразы: модель; динамика; предприятие; система; устойчивость.

Аннотация. В данной статье рассматривается модель динамики цен в системе взаимосвязанных предприятий. В отличие от классических моделей, предложенный подход базируется на математическом аппарате, позволяющем определять устойчивое или неустойчивое состояние системы. Целью данной работы является разработка математической модели динамики цен в системе взаимосвязанных предприятий. Задачами исследования являются постановка задачи, формализация ее условий, построение и исследование математической модели. Математическим аппаратом разработанной модели является линейная алгебра. Для моделирования динамического поведения системы составлены достаточные условия устойчивости (неустойчивости) системы. Модель может быть использована для исследования динамики цен в системе взаимосвязанных предприятий.

В экономической литературе исследованию динамики цен в системе взаимосвязанных предприятий посвящено много публикаций. В классическом обзоре литературы фундамент выступает модель «затраты – выпуск» Василия Леонтьева [1]. Именно она впервые позволила математически описать экономику не как набор изолированных субъектов, а как

систему технологически взаимозависимых отраслей и предприятий. Концепция эффекта переноса является центральным механизмом в анализе динамики цен. Если модель Леонтьева показывает «технологический потенциал» роста цен, то теория эффекта переноса объясняет, почему в реальности цены часто ведут себя иначе [2].

Производственный сектор представляет собой систему предприятий, поставляющих часть своей продукции на свободный рынок (домашним хозяйствам и на экспорт), а часть продукции направляющих на обмен с другими предприятиями. Рассмотрим динамику ценообразования в рамках данной системы взаимосвязанных субъектов и составим описание модели динамики цен в системе взаимосвязанных предприятий.

Пусть число взаимодействующих предприятий составляет от 1 до N . Каждое предприятие выпускает один вид продукции. Все предприятия связаны друг с другом через поставки продукции. При этом поставки продукции одним предприятием рассматривается, как исходное сырье. Доля продукции, идущая от данного предприятия какому-либо другому предприятию или на свободный рынок, может принимать любое значение от 0 до 1. Технологии производств считаются заданными и неизменными. Меняться могут только быстрые ценовые переменные – цены и затраты. Затраты конкретного предприятия складываются из платы за ресурсы, приобретаемые им на свободном рынке, а также дополнительные затраты типа заработной платы, налогов и других обязательных платежей, которые являются внешней финансовой нагрузкой. Всем предприятиям предписывается стремление достичь в процессе производства определенной рентабельности. Именно это стремление и заставляет их повышать цену на свою продукцию, если заданная рентабельность еще не достигнута.

Предприятия $i = 1, \dots, N$ закупают на свободном рынке для своего производства исходные материалы по ценам M_i за физическую единицу и в объемах u_i . Данные предприятия связаны взаимными поставками продуктов друг другу в объемах $n_{i,j}$ и продают друг другу свою продукцию по цене Q_i . Все дополнительные затраты составляют в денежном выражении величину T_i . На свободный рынок они поставляют свою продукцию по ценам и в объемах соответственно P_i , v_i . Будем предполагать, что все физические объемы u_i , v_i , $n_{i,j}$ неизменны. Меняться в модели могут только цены.

Вводя понятие прибыли Y_i как разности между полученными за определенный интервал времени доходами и произведенными затратами, можно записать уравнение баланса для отдельного предприятия:

$$P_i v_i + Q_i \sum_{j=1}^N n_{i,j} - \left(M_i u_i + T_i + \sum_{j=1}^N Q_j n_{i,j} \right) = Y_i. \quad (1)$$

В описывающие всю систему связанных предприятий уравнения баланса входят $3N$ величин, которые могут меняться во времени: P_i , Q_i , Y_i , $i = 1, \dots, N$. Для установления недостающих связей сделаем следующие предположения [3].

Каждое из предприятий стремится поддерживать рентабельность своего производства, записываемую как

$$R_i = \frac{Y_i}{(M_i u_i + \sum_{j=1}^N Q_j n_{i,j})} \quad (2)$$

на определенном уровне. Для последующих расчетов удобно ввести величину

$$r_i = 1 + R_i, \quad (3)$$

называемую в дальнейшем показателем рентабельности. Желательная величина этого показателя для каждого предприятия будет предполагаться равной определенному значению r_i^0 и постоянной.

Предприятия, несмотря на стабильные технологические связи, продают партнеру свою продукцию по рыночным ценам $Q_i = P_i$. Данных предположений достаточно для того, чтобы найти равновесные цены обмена, при которых выполняются уравнения баланса, и достигается требуемая (желательная) рентабельность производства $R_i^0 = r_i^0 - 1$.

Пусть n_{ij} – количество продукции, поставляемой предприятием i предприятию j ; $c_i = M_i u_i + T_i$ – затраты предприятия i на производство продукции, не связанные с поставками материалов от других предприятий, принадлежащих к рассматриваемому производственному сектору. В качестве переменных в модели удобно рассматривать стоимость всей выпускаемой предприятием продукции, т.е. $x_i = Q_i (\sum_{j=1}^N n_{ij} + V_i)$, $i = 1, \dots, N$.

Тогда уравнение (1) при сделанных выше предположениях (1, 2) в точке равновесия запишутся в виде:

$$x_i = \left[\sum_{j=1}^N \left(\frac{x_j n_{i,j}}{\left(v_j + \sum_{s=1}^N n_{s,j} \right) + c_i} \right) \right] r_i^0, \quad i = 1, \dots, N$$

или в матричной форме:

$$(DA - E)\bar{x} = -D\bar{c}, \quad (4)$$

где $A = \left\{ \frac{n_{i,j}}{(v_j + \sum_{s=1}^N n_{s,j})} \right\}$, $i, j = 1, \dots, N$;

$$D = d_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{если } i \neq j; \\ r_i^0, & \text{если } i = j; \end{cases}$$

$$\bar{c} = \{c_i, i = 1, \dots, N\};$$

$$\bar{x} = \{x_i, i = 1, \dots, N\};$$

E – единичная матрица (т.е. матрица, у которой элементы $e_{i,j} = 0$ при $i \neq j$; $e_{i,j} = 1$ при $i = j$). Система уравнений (4) имеет лишь одно решение, это означает, что за исключением вырожденных случаев состояние равновесия у данной системы предприятий одно. Оно находится путем разрешения системы относительно переменных x_i .

Рассмотрим динамическое поведение системы. Для перехода к динамическим уравнениям предположим, что предприятия поддерживают цены на свою продукцию в течение определенного срока постоянными. Цены на закупаемые «со стороны» материалы M_i или иные дополнительные затраты предприятий T_i могут измениться в течение данного интервала времени. Следовательно, меры по восстановлению своей рентабельности предприятия предпримут в течение следующего интервала. Еще один интервал времени спустя это вызовет ответную реакцию партнеров и т.д. [4].

В результате приходим к следующей системе динамических уравнений:

$$x_i^{k+1} = \left[\sum_{j=1}^N \left(\frac{x_j^k n_{i,j}}{\left(v_j + \sum_{s=1}^N n_{s,j} \right) + c_i} \right) \right] r_i^0, \quad i = 1, \dots, N \quad (5)$$

или в матричном виде:

$$\bar{x}^{k+1} = D(A\bar{x}^k + \bar{c}). \quad (6)$$

Система уравнений (6) представляет собой систему неоднородных линейных разностных уравнений порядка N . Согласно теории линейных систем общее решение может быть записано в следующем виде

$$\bar{x}^k = \bar{x}^* + \sum_{i=1}^m \lambda_i^k P_i^{s_i-1}(k) \bar{e}_i. \quad (7)$$

Запишем следующие утверждения, определяющие состояния устойчивости или неустойчивости системы [5].

Утверждение 1. Состояние равновесия системы (6) лежит в области положительных цен тогда и только тогда, когда максимальное по модулю из собственных чисел матрицы DA не превосходит 1.

Составим достаточные условия устойчивости (неустойчивости) системы. Для определения достаточных условий устойчивости (неустойчивости) системы воспользуемся утверждением, что для рассмотренного класса матриц модули собственных чисел ограничены снизу и сверху соответственно минимумом и максимумом построчных или по столбцовых сумм элементов матрицы. Так для $i = 1, \dots, N$ и $j = 1, \dots, N$, если выполняется условие

$$\sum_{j=1}^N a_{i,j} r_i^0 < 1 \quad (8)$$

или

$$\sum_{i=1}^N a_{i,j} r_i^0 < 1, \quad (9)$$

то система устойчива; а если

$$\sum_{j=1}^N a_{i,j} r_i^0 > 1 \quad (10)$$

или

$$\sum_{i=1}^N a_{i,j} r_i^0 > 1, \quad (11)$$

то система неустойчива.

Утверждение 2. Устойчивость системы (6) определяется только показателями рентабельности, к которым стремятся предприятия, и долями продуктов в общем объеме выпускаемой ими продукции, идущими на обмен данного предприятия с другими предприятиями.

Утверждение 3. В рассмотренной модели производственного сектора финансовые результаты предприятий на бесконечно большом временном горизонте зависят только от технологической схемы их взаимодействия и закладываемой (желательной) рентабельности, и не зависят от начально установленных цен на их продукцию.

Утверждение 4. В рассмотренной модели в случае неустойчивости системы ни одно из предприятий не достигает желаемой рентабельности на бесконечном временном горизонте.

Таким образом, разработана математическая модель динамики цен в системе взаимосвязанных предприятий и определены достаточные условия устойчивости (неустойчивости) системы. В качестве переменных в модели рассматривается стоимость выпускаемой предприятием продукции. В результате приходим к системе динамических уравнений, которые решаются методами линейной алгебры.

Литература

1. Зайцева, И.В. Теоретико-игровая модель конкурентного взаимодействия в условиях множественности интересов участвующих агентов на рынке труда / И.В. Зайцева, А.В. Шапошников, С.Ю. Рожков, А.А. Шульга, С.В. Богданова // Перспективы науки. – 2019. – № 6(117). – С. 59–64.
2. Malafeyev, O. Game-theoretical model of cooperation between producers / O. Malafeyev, A. Parfenov, T. Smirnova, A. Zubov, L. Bondarenko, N. Ugegov, M. Strekopytova, S. Strekopytov, I. Zaitseva // International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM) : AIP Conference Proceedings, 2019. – P. 450059.
3. Зайцева, И.В. Управление динамикой конкурентного взаимодействия между предприятиями / И.В. Зайцева, А.И. Кирьянен, О.А. Малафеев, О.Х. Казначеева, М.Г. Казначеева // Перспективы науки. – 2021. – № 6(141). – С. 39–42.
4. Зайцева, И.В. Математическое моделирование задачи многоагентного взаимодействия перемещения ресурсов / И.В. Зайцева, С.А. Теммоева, А.С. Шебукова, А.А. Филимонов // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 11(137). – С. 6–10.
5. Зайцева, И.В. Математическое моделирование задачи распределения ресурсов / И.В. Зайцева, А.Ф. Долгополова, Ю.В. Орел, А.С. Селезнева // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 9(135). – С. 12–15.

References

1. Zajtseva, I.V. Teoretiko-igrovaya model konkurentnogo vzaimodejstviya v usloviyakh mnozhestvennosti interesov uchastvuyushchikh agentov na rynke truda / I.V. Zajtseva, A.V. SHaposhnikov, S.YU. Rozhkov, A.A. SHulga, S.V. Bogdanova // Perspektivy nauki. – 2019. – № 6(117). – S. 59–64.
3. Zajtseva, I.V. Upravlenie dinamikoj konkurentnogo vzaimodejstviya mezhdru predpriyatiyami / I.V. Zajtseva, A.I. Kiryanen, O.A. Malafeev, O.KH. Kaznacheeva, M.G. Kaznacheeva // Perspektivy nauki. – 2021. – № 6(141). – S. 39–42.
4. Zajtseva, I.V. Matematicheskoe modelirovanie zadachi mnogoagentnogo vzaimodejstviya

peremeshcheniya resursov / I.V. Zajtseva, S.A. Temmoeva, A.S. Shebukova, A.A. Filimonov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 11(137). – S. 6–10.

5. Zajtseva, I.V. Matematicheskoe modelirovanie zadachi raspredeleniya resursov / I.V. Zajtseva, A.F. Dolgopolova, YU.V. Orel, A.S. Selezneva // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 9(135). – S. 12–15.

Mathematical Model of Dynamic Stability of Prices of Economic Processes

I.V. Zaitseva¹, V.G. Galkina², M.G. Kaznacheeva³, A.A. Filimonov⁴

¹ Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg (Russia);

² Naval Academy named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N. G. Kuznetsov,
St. Petersburg (Russia);

³ Nevinnomyssk state humanitarian and technical Institute,
Nevinnomyssk (Russia);

⁴ Krasnodar University of the Ministry of internal Affairs of the Russian Federation,
Stavropol (Russia)

Keywords and phrases: model; dynamics; enterprise; system; stability.

Abstract. This article discusses the model of price dynamics in the system of interrelated enterprises. In contrast to classical models, the proposed approach is based on a mathematical apparatus that allows determining the stable or unstable state of the system. The purpose of this work is to develop a mathematical model of price dynamics in the system of interrelated enterprises. The objectives of the study are to formulate a problem, formalize its conditions, build and study a mathematical model. The mathematical apparatus of the developed model is linear algebra. To simulate the dynamic behavior of the system, sufficient conditions for the stability (instability) of the system are compiled. The model can be used to study the dynamics of prices in the system of interrelated enterprises.

© И.В. Зайцева, В.Г. Галкина, М.Г. Казначеева, А.А. Филимонов, 2026

УДК 004.8:004.89

Формальная модель симбиотического интеллекта

А.П. Саломатин, В.Д. Гаскаров

*ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова»,
г. Санкт-Петербург (Россия)*

Ключевые слова и фразы: апостериорная энтропия; искусственный интеллект; контрфактуальный анализ; многокритериальная оптимизация; состязательная робастность; эпистемическая неопределенность.

Аннотация. Современные системы искусственного интеллекта не располагают встроенным механизмом распознавания границ собственной компетенции, что создает риски при их автономном применении. Цель работы – формализовать архитектуру, в которой оценка эпистемической неопределенности и человеческое возражение являются равноправными элементами вывода. Задачи: построить математическую модель взаимодействия, сформулировать условия эскалации в виде проверяемых неравенств и сопоставить полученное решение с известными подходами согласования. Гипотеза: явный оператор эпистемической неопределенности и допустимость человеческого возражения как самостоятельного канала позволяют исключить выбор между равноценными альтернативами без внешнего арбитра. Методы: теоретико-информационный аппарат, байесовское обновление, контрфактуальный и состязательный анализ, стратифицированная выборка. Результаты: предложена модель «смирненного симбиоза»; доказана корректность критерия эскалации на апостериорной энтропии; описаны три алгоритмических контура: формализованное возражение, нормативный комитет и состязательная самоверификация.

Введение

Проблематика безопасного развертывания систем сильного искусственного интеллекта (ИИ) обычно описывается в публицистических терминах противопоставления «послушного инструмента» и «бунтующего сверхразума» [1; 2]. Подобная риторика, оставаясь полезной для популяризации, маскирует существо технической проблемы: современные модели не располагают встроенным механизмом распознавания границ собственной компетенции. Решение, безусловно выводимое внутри обучающего распределения, может оказаться ката-

строфическим вне его – феномен, для которого в настоящей работе сохраняется обозначение «катастрофа слепого бога».

Эмпирическая иллюстрация очевидна: алгоритм оценки рисков рецидива *COMPAS* обнаружил статистически значимое расхождение частот ошибок между демографическими группами [3]; клиническая система *IBM Watson for Oncology* выдавала рекомендации, не подкрепленные медицинскими данными; рекрутинговый алгоритм *Amazon* усвоил гендерную диспропорцию, присутствующую в исторических выборках. Аналогичные ограничения проявляются и в прикладных нейросетевых системах компьютерного зрения, в том числе в задачах распознавания объектов навигационной опасности [4; 5], где локально устойчивый вывод модели сочетается с принципиальной неполнотой обучающего распределения. Та же закономерность прослеживается в эпидемиологических моделях прогнозирования распространения инфекции в замкнутых сообществах [6], в системах автоматизации технологических процессов на основе ИИ [7], в алгоритмах глобальной оптимизации, где многоагентные подходы обнаруживают преимущество именно в режимах, выходящих за пределы локальной устойчивости [8]. Перечисленные случаи объединяет общий механизм – внутренняя самосогласованность вывода при отсутствии оператора оценки внешней валидности; именно поэтому современные программы исследований акцентируют необходимость надежных и контролируемых человеком архитектур ИИ [9].

1. Формальная модель «смирного симбиоза»

Обозначим через S пространство состояний системы (вход модели, история взаимодействия, контекстные признаки), через U – множество допустимых действий (рекомендаций, классификаций, управляющих сигналов). Базовая модель принятия решений задается отображением $\pi : S \rightarrow \Delta(U)$, где $\Delta(U)$ – симплекс распределений на U . Архитектура смирного симбиоза дополняет тройку (S, U, π) тремя операторами:

$$M = (S, U, \pi, K, D, R), \quad (1)$$

где $K : S \times \Delta(U) \rightarrow \mathbb{R}^+$ – оператор оценки эпистемической неопределенности; $D : S \times \Sigma \rightarrow \{0, 1\}$ – детектор расхождения с человеческим контекстом, принимающий на вход состояние и сигнал $\sigma \in \Sigma$ от пользователя или эксперта; $R : S \times \Delta(U) \rightarrow \Delta(U)$ – оператор переоценки, реализующий процедуру повторного вывода с расширенным множеством признаков.

В качестве оператора K возьмем апостериорную энтропию Шеннона:

$$K(s, p) = H(p) = - \sum_{u \in U} p(u | s) \cdot \log p(u | s). \quad (2)$$

Эквивалентным выбором является взаимная информация между параметрами модели и предсказанием при байесовской трактовке (*BALD*-критерий) [10], однако для большинства практических архитектур достаточно (2). Условием безопасного автоматического действия объявляется выполнение порогового неравенства

$$K(s, p) \leq \tau_K \text{ и } D(s, \sigma) = 0, \quad (3)$$

где τ_K – выбираемый параметр доверия. Нарушение любого из условий (3) активирует контур переоценки R , описанный в разделе 3.

Утверждение (корректность критерия эскалации). Пусть для двух действий $u_1, u_2 \in U$

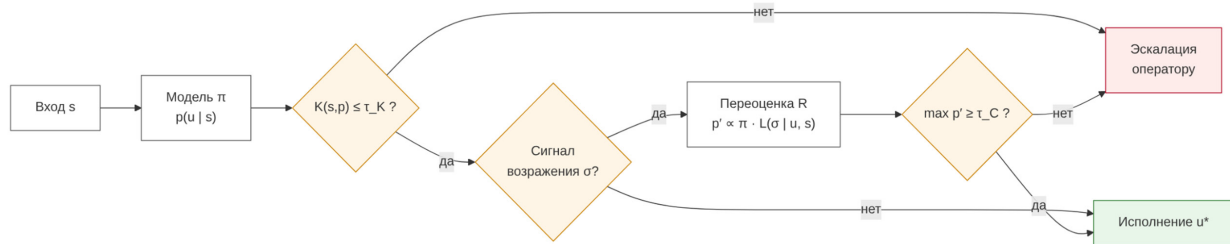


Рис. 1. Архитектурный контур принятия решения в модели смиренного симбиоза

выполнено $|p(u_1|s) - p(u_2|s)| < \varepsilon$. Тогда при $\varepsilon \rightarrow 0$ имеет место $H(p) \rightarrow \log|U|$, и любая достаточно малая константа $\tau_K < \log|U|$ гарантирует эскалацию решения.

Доказательство непосредственно следует из вогнутости энтропии и условия равных вероятностей в ее максимуме. Тем самым (3) формально исключает выбор между равноценными альтернативами без участия внешнего арбитра.

2. Три принципа архитектуры

Принцип 1 (примат человеческого контекста). Восходящий к работе Дж. Ликлайдера тезис о симбиотической связке человека и машины [11] переосмысливается здесь в строго асимметричном виде: целевой функционал системы определяется не самой моделью, а внешним пространством ценностей V , задаваемым человеком; роль ИИ ограничена поиском

$$u^* \in \operatorname{argmax}\{u \in U\} \mathbb{E}[v(u, s) | s] \text{ при } v \in V,$$

причем множество V не редактируется самой моделью.

Принцип 2 (эпистемическое смирение). Архитектура содержит явный оператор K и не допускает действия при $K(s, p) > \tau_K$ без подтверждения внешним контуром. Иллюстративен классический эксперимент с тараканом: после последовательного удаления конечностей насекомое перестает реагировать на свист, и наблюдатель, опираясь на безупречную внутреннюю корреляцию, заключает о потере слуха. Формально: модель восстанавливает зависимость $y = f(x)$ в пространстве признаков X , не содержащем релевантного фактора $\xi \notin X$; в результате условные распределения по X не идентифицируют истинный механизм. Оператор K предназначен именно для регистрации такого рода скрытой неполноты.

Принцип 3 (валидность иррационального сигнала). Сигнал σ , поступающий от человека (интуитивное возражение, эмоциональная реакция, экспертное недоверие), рассматривается не как шум, а как наблюдение из дополнительного канала с собственной информационной ценностью. Формально: пусть σ – случайная величина, тогда условная энтропия $H(p | \sigma) \leq H(p)$, и при $I(p; \sigma) > 0$ учет сигнала строго понижает неопределенность, что и обосновывает его архитектурное равноправие.

3. Алгоритмические механизмы реализации

Принципам раздела 2 соответствуют три исполнительных контура. Их совместная диспозиция представлена на рис. 1: на нем изображен маршрут запроса от входа модели к одному из трех возможных финальных состояний – автоматическое исполнение, переоценка, эскалация к человеку.

3.1. Процедура формализованного возражения

Пусть пользователь выдвигает структурированное возражение σ , фиксирующее предполагаемое нарушение валидности вывода. Запускается оператор переоценки R , реализующий целевую функцию

$$p'(u | s, \sigma) = R[\pi](s, \sigma) \propto \pi(u | s) \cdot L(\sigma | u, s), \quad (4)$$

где $L(\sigma | u, s)$ — функция правдоподобия возражения при допущении истинности действия u . Содержательно (4) реализует байесовское обновление с приоритетом поиска свидетельств в пользу возражения, что соответствует принципу контрфактуального анализа: модель ищет минимальное контрфактическое возмущение Δs входа, при котором ее собственный вывод изменился бы в сторону возражения. Если апостериорная уверенность в исходном решении опускается ниже порога

$$\max\{u \in U\} p'(u | s, \sigma) < \tau_c \quad (5)$$

исходный вывод снимается и решение либо передается на ревизию, либо помечается как требующее консилиума. Параметр τ_c выбирается отдельно от τ_k и обычно строже.

3.2. Нормативный комитет (стратифицированный совет)

Для решений с высоким социально-этическим воздействием нормативное ограничение задается не разработчиком и не моделью, а коллективным актом представителей общества. Множество кандидатов Ω расслаивается по социально значимым признакам $a_1, \dots, a_k$ (пол, возраст, регион, профессия), и из каждой страты Ω_j производится случайная выборка пропорционально ее мере $\mu(\Omega_j)$. Выработка вердикта осуществляется итеративно по схеме модифицированного дельфийского метода [12]: на шаге k каждый участник i формирует оценку x_i^k , после чего наблюдает агрегированную статистику предыдущего шага. Сходимость контролируется условием

$$\|x^k - x^{k-1}\| < \delta, \quad (6)$$

где δ – заранее фиксированный порог. Полученный вердикт c^* встраивается в задачу оптимизации модели как жесткое ограничение $g(u, s) \leq c^*$, не подлежащее переоптимизации в последующих циклах обучения.

3.3. Состязательный модуль самоверификации

Параллельно с основным контуром работает оптимизатор-«скептик», в духе классических работ по состязательным примерам [13] ищущий минимальное возмущение δs , переводящее решение модели в иной класс:

$$\delta s^* = \operatorname{argmin}_{\{\|\delta s\| \leq \varepsilon\}} -\ell(\pi(s + \delta s), u_0), \quad (7)$$

где u_0 – текущее решение, ℓ – функция потерь. Метрика уязвимости определяется как

$$V(s) = 1 / \|\delta s^*\|, \quad (8)$$

то есть чем меньшее возмущение опрокидывает вывод, тем выше уязвимость. При $V(s) > \tau_v$ решение блокируется и эскалируется оператору. Тем самым (7)–(8) формализуют чувствительность модели к «черным лебедям» и обеспечивают защиту против локально уверенных,

но глобально нестабильных предсказаний.

4. Сопоставление с известными подходами

Близкие по смыслу методы согласования ИИ с человеческими ценностями могут быть описаны в терминах введенной модели (1). Обучение с подкреплением на основе человеческой обратной связи (*RLHF*) [14] формирует функцию вознаграждения $\hat{r}(s, u)$ по предпочтениям разметчиков и оптимизирует ее через *RL*; в модели (1) это соответствует уточнению π , но не вводит ни оператора K , ни процедуры процессуального возражения. Систематические смещения разметчиков переходят в $\hat{r}$ без коррекции.

Конституциональный ИИ [15] вводит фиксированный набор принципов $C = \{c_1, \dots, c_m\}$, по которым модель критикует собственные ответы; этот контур функционально близок к описанному в п. 3.3, однако C задано на этапе разработки и не подразумевает ни обязательного внешнего вето на конкретное решение, ни стратифицированного представительного органа для социально значимых случаев. Метод *RLAIF* масштабирует разметку, но усиливает риск замкнутого цикла самоподтверждения, против которого настоящая архитектура вводит обязательную точку человеческого контроля.

Парадигмы *Human-in-the-Loop* и *Human-on-the-Loop* предусматривают участие человека преимущественно в виде утверждения или отклонения готового вывода – то есть как фильтра постфактум. В модели (1) человеческое участие шире: сигнал σ является самостоятельным входом оператора D и способен запускать переоценку R , а не только блокировать действие. Таким образом, предложенный контур не заменяет, а дополняет перечисленные методы, занимая нишу архитектурного контроля над эпистемической неопределенностью.

Заключение

Предложена формальная модель взаимодействия человека и сильного ИИ – «смиранный симбиоз», – расширяющая классическую тройку операторами эпистемической неопределенности, расхождения с человеческим контекстом и переоценки. Доказан критерий эскалации: при сближении вероятностей альтернатив апостериорная энтропия стремится к максимуму, что гарантирует передачу решения человеку.

Принципам примата человеческого контекста, эпистемического смирения и валидности иррационального сигнала сопоставлены три контура: формализованное возражение с байесовским обновлением, нормативный комитет (стратифицированная выборка и дельфийский метод) и состязательная самоверификация. Вместе они защищают от уверенного вывода при неполноте признаков, смещений разметки и локально устойчивых, но глобально нестабильных предсказаний.

Литература

1. Bostrom, N. *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies* / N. Bostrom. – Oxford : Oxford University Press, 2014. – 352 p.
2. Russell, S. *Human Compatible: Artificial Intelligence and the Problem of Control* / S. Russell. – New York : Viking, 2019. – 352 p.
3. Angwin, J. *Machine Bias* / J. Angwin, J. Larson, S. Mattu, L. Kirchner // ProPublica. – 2016. – May 23.
4. Алцыбеев, Г.О. Применение нейросетевых технологий компьютерного зрения для

определения объектов навигационной опасности / Г.О. Алцыбеев, Г.В. Федоров // Современные проблемы цифровизации предприятий водного транспорта и подготовки специалистов в области информационных технологий. – 2019. – С. 19–24.

5. Программа для определения объектов навигационной опасности с помощью компьютерного зрения : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2022683758 / Г.В. Федоров, Г.О. Алцыбеев ; опубл. 08.12.2022.

6. Программа для прогнозирования распространения коронавирусной инфекции на круизных лайнерах с высокой численностью пассажиров. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2020661907 / Г.В. Федоров, А.Р. Шкадова, Г.О. Алцыбеев. – № 2020619337 ; заявл. 25.08.2020 ; опубл. 02.10.2020.

7. Босиков, И.И. Использование методов искусственного интеллекта в решении специфических задач автоматизации для управления технологическими процессами воздухообеспечения на угольных шахтах / И.И. Босиков, А.И. Мазко, И.В. Силаев // Перспективы науки. – 2024. – № 8(179).

8. Бежитский, С.С. Эффективность многоагентного подхода в сравнении с эволюционными, поведенческими и бихевиористическими алгоритмами глобальной оптимизации / С.С. Бежитский, Е.А. Бежитская // Перспективы науки. – 2024. – № 12(183). – С. 12–15.

9. Shneiderman, B. Human-Centered Artificial Intelligence: Reliable, Safe & Trustworthy / B. Shneiderman. – Oxford : Oxford University Press, 2020.

10. Houlisby, N. Bayesian Active Learning for Classification and Preference Learning / N. Houlisby, F. Huszár, Z. Ghahramani, M. Lengyel // arXiv preprint arXiv:1112.5745. – 2011.

11. Licklider, J.C.R. Man-Computer Symbiosis / J.C.R. Licklider // IRE Transactions on Human Factors in Electronics. – 1960. – Vol. HFE-1. – No. 1. – P. 4–11.

12. Linstone, H.A. The Delphi Method: Techniques and Applications / H.A. Linstone, M. Turoff. – Reading : Addison-Wesley, 1975. – 620 p.

13. Goodfellow, I. Explaining and Harnessing Adversarial Examples / I. Goodfellow, J. Shlens, C. Szegedy // International Conference on Learning Representations (ICLR). – 2015.

14. Christiano, P. Amodei D. Deep Reinforcement Learning from Human Preferences / P. Christiano, J. Leike, T. Brown, M. Martic, S. Legg, D. Amodei // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – Vol. 30. – P. 4299–4307.

15. Bai, Y. Constitutional AI: Harmlessness from AI Feedback / Y. Bai, S. Kadavath, S. Kundu et al. // arXiv preprint arXiv:2212.08073. – 2022.

References

4. Altsybeev, G.O. Primenenie nejrosetevykh tekhnologij kompyuternogo zreniya dlya opredeleniya obektov navigatsionnoj opasnosti / G.O. Altsybeev, G.V. Fedorov // Sovremennye problemy tsifrovizatsii predpriyatij vodnogo transporta i podgotovki spetsialistov v oblasti informatsionnykh tekhnologij. – 2019. – S. 19–24.

5. Programma dlya opredeleniya obektov navigatsionnoj opasnosti s pomoshchyu kompyuternogo zreniya : svidetelstvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlya EVM RU 2022683758 / G.V. Fedorov, G.O. Altsybeev ; opubl. 08.12.2022.

6. Programma dlya prognozirovaniya rasprostraneniya koronavirusnoj infektsii na kruiznykh lajnerakh s vysokoj chislennostyu passazhirov. Svidetelstvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlya EVM RU 2020661907 / G.V. Fedorov, A.R. SHkadova, G.O. Altsybeev. – № 2020619337 ; yayavl. 25.08.2020 ; opubl. 02.10.2020.

7. Bosikov, I.I. Ispolzovanie metodov iskusstvennogo intellekta v reshenii spetsificheskikh

zadach avtomatizatsii dlya upravleniya tekhnologicheskimi protsessami vozdukhooobespecheniya na ugolnykh shakhtakh / I.I. Bosikov, A.I. Mazko, I.V. Silaev // Perspektivy nauki. – 2024. – № 8(179).

8. Bezhitskij, S.S. Effektivnost mnogoagentnogo podkhoda v sravnenii s evolyutsionnymi, povedencheskimi i bikheviaristicheskimi algoritmami globalnoj optimizatsii / S.S. Bezhitskij, E.A. Bezhitskaya // Perspektivy nauki. – 2024. – № 12(183). – S. 12–15.

Formal Model of Symbiotic Intelligence

A.P. Salomatin, V.D. Gaskarov

*State University of Maritime and Inland Shipping named after S.O. Makarov,
St. Petersburg (Russia)*

Keywords and phrases: artificial intelligence; epistemic uncertainty; a posteriori entropy; counterfactual analysis; adversarial robustness; multicriteria optimization.

Abstract. Modern artificial intelligence systems lack a built-in mechanism for recognizing the boundaries of their own competence, which creates risks during their autonomous use. The goal of this work is to formalize an architecture in which the assessment of epistemic uncertainty and human objection are equal elements of inference. Objectives: to construct a mathematical model of interaction, formulate escalation conditions as verifiable inequalities, and compare the resulting solution with known reconciliation approaches. Hypothesis: an explicit operator of epistemic uncertainty and the admissibility of human objection as an independent channel make it possible to exclude the choice between equivalent alternatives without an external arbiter. Methods: information-theoretic apparatus, Bayesian updating, counterfactual and adversarial analysis, stratified sampling. Results: a “humble symbiosis” model is proposed; the correctness of the escalation criterion based on a posteriori entropy is proven; three algorithmic loops are described: formalized objection, normative committee, and adversarial self-verification.

© А.П. Саломатин, В.Д. Гаскаров, 2026

УДК 621.317.78

Анализ методов повышения надежности систем учета электроэнергии

Е.В. Фролова, И.В. Завьялова, О.С. Манакова, А.В. Сидоров

*Бузулукский гуманитарно-технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет
имени В.А. Бондаренко»,
г. Бузулук (Россия)*

Ключевые слова и фразы: автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии; методы повышения надежности систем учета электроэнергии; надежность систем учета электроэнергии.

Аннотация. В статье проведен анализ существующих подходов к оценке надежности систем учета электроэнергии, включая вероятностные методы и статистическое моделирование, и предложен перечень мероприятий по ее повышению.

Любая система учета электроэнергии, независимо от ее сложности и назначения, должна решать три главные задачи: собирать данные о потреблении достоверно, хранить их без потерь и передавать для дальнейшей обработки без искажений. Способность системы делать это в любых условиях, сохраняя устойчивость к сбоям, внешним воздействиям и попыткам несанкционированного доступа, и есть ее надежность [1].

При анализе надежности учитывается множество внешних и внутренних факторов. Это температурные перепады, влажность, электромагнитные помехи, вибрации; физический и моральный износ оборудования, качество монтажа, регулярность технического обслуживания; метрологические характеристики – стабильность точности измерений в течение всего межповерочного интервала [14].

Важна и достоверность самой информации. Для этого используются алгоритмы перекрестной проверки данных и оценки балансов в распределительных сетях. Такие алгоритмы помогают выявлять некорректные показания или хищения. Кроме того, для защиты каналов связи применяют помехоустойчивое кодирование и протоколы с подтверждением доставки данных, например *DLMS/COSEM*. Внедряются системы мониторинга связи в режиме реального времени.

Если говорить о практических направлениях повышения надежности, то, в первую очередь, – это внедрение автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии. Они позволяют удаленно собирать данные, контролировать работоспособность счетчиков в реальном времени и своевременно выявлять несанкционированные вмешательства.

Полноценное повышение надежности представляет собой комплекс мер, которые можно условно разделить на три группы – аппаратные, программные и эксплуатационные. Но на практике они тесно переплетаются. Рассмотрим каждую группу методов более подробно.

1. *Аппаратная группа методов* повышения надежности систем учета электроэнергии. В первую очередь это переход на интеллектуальные приборы учета, которые часто называют «умными счетчиками». Такой счетчик хранит профили нагрузки в энергонезависимой памяти, то есть, если пропадет связь с центром сбора данных, информация не исчезнет – она дождется восстановления канала и уйдет автоматически. Кроме того, умные счетчики умеют диагностировать себя: они фиксируют попытки магнитного или высокочастотного воздействия, обнаруживают перегрузки, скачки напряжения, некорректное подключение.

Следующее важное направление – резервирование каналов связи. Имеется в виду дублирование наиболее важных компонентов: измерительных трансформаторов, самих счетчиков или каналов передачи данных. Это позволяет исключить так называемую единую точку отказа. На практике все чаще используют комбинации: одновременно работают *GSM* и *Ethernet*, или *PLC* и радиоканал.

Не менее важна защита самих устройств от внешней среды. Системы учета устанавливаются не в лабораторных условиях, а в подвалах, на столбовых опорах, в трансформаторных подстанциях. Защита от внешних факторов достигается с помощью антивандальных корпусов, защиты от влаги, пыли и электромагнитных помех. Источники бесперебойного питания обеспечивают работу системы учета даже при отключении внешнего питания.

2. *Программная группа методов* повышения надежности систем учета электроэнергии. Данная группа методов направлена на анализ узлов учета для своевременного выявления отказов. Используя встроенную самодиагностику и мониторинг состояния, программное обеспечение в режиме реального времени через алгоритмы автоматической сверки балансов и интеллектуальный анализ пропущенных данных определяет вид отказа.

Защита информации, или кибербезопасность, также относится к данной группе методов. Используются шифрование каналов связи, цифровые подписи пакетов данных, разграничение прав доступа на разных уровнях.

3. *Эксплуатационная группа методов* повышения надежности систем учета электроэнергии. По статистике, большая часть отказов оборудования связана с износом оборудования как физическим, так и с моральным. Система планово-предупредительных ремонтов частично решает эту проблему, но не является основным методом повышения надежности. На первое место выходит обслуживание по фактическому состоянию с использованием искусственного интеллекта и встроенных возможностей систем учета.

Кроме того, использование автоматизированных информационно-измерительных систем учета электроэнергии позволяет снизить ошибки по вине оператора. Это не означает, что система работает без участия человека, напротив, квалификация персонала требует другого уровня подготовки, поэтому необходимо предусмотреть переобучение и непрерывное повышение квалификации сотрудников в данной сфере. Также к эксплуатационным методам повышения надежности систем учета электроэнергии следует отнести четкую организацию технологических процессов через регламентацию основных операций.

Все эти меры сами по себе не требуют огромных капитальных затрат, в отличие от замены всей приборной базы или строительства новых каналов связи. Но без них любые технические решения работают не в полную силу. Поэтому эксплуатационные методы – это не дополнение к аппаратным и программным, а их необходимое условие.

Проведя анализ основных методов обеспечения надежности систем учета электроэнергии, рассмотрим также современные подходы к данному вопросу [2]. Вопрос обеспечения надежности систем учета и распределения электроэнергии рассматривается в современной научно-технической литературе с двух основных позиций. Первая связана с математическими методами оценки надежности самих электроэнергетических систем, вторая – с внедрени-

ем технологий передачи и обработки данных в системах учета. Объединение этих подходов позволяет сформировать целостную картину.

Первый метод – вероятностный на основе теории случайных событий. Он хорошо работает для распределительных сетей с сильными связями, когда можно пренебречь ограничениями пропускной способности. Практическая реализация метода существует, например, в программах АО «Россети. Научно-технический центр». Там функции распределения интервалов между ремонтами и длительности ремонтов задаются случайным образом, моделируется поток событий в системе. Программа позволяет рассчитывать схемы до 45 элементов, а ее отличительная особенность – гибкость при описании состояний схемы.

Второй метод опирается на теорию марковских случайных процессов. Здесь принимаются достаточно жесткие допущения: поток отказов считается простейшим (стационарным, ординарным, без последствия), а время восстановления – экспоненциально распределенным.

На практике марковский подход требует построения диаграммы переходов и стохастической матрицы вероятностей переходов. Размерность такой матрицы редко превышает 20–30, иначе решение становится слишком сложным. Тем не менее метод успешно применяется для оптимизации профилактических и аварийно-восстановительных работ на отдельных объектах, например на выключателях.

Третий метод – статистическое моделирование, или метод Монте-Карло, по мнению ряда ученых, наиболее объективный и точный. Сложность современных электроэнергетических систем, обилие факторов, влияющих на надежность, и необходимость учитывать причинно-следственные связи (например, развитие аварий или действия диспетчера) делают аналитические методы недостаточно гибкими. Статистическое моделирование позволяет задавать любые законы распределения для состояний элементов, многократно воспроизводить формализованную модель системы и по совокупности реализаций получать искомые показатели.

Теоретический фундамент этого метода – закон больших чисел и центральная предельная теорема Ляпунова. Главным ограничением метода является то, что для повышения точности испытаний на один порядок их число необходимо увеличить в два раза для сохранения достоверности метода.

Таким образом, повышение надежности систем учета электроэнергии остается сложной комплексной задачей, для решения которой требуется одновременно использование всех существующих методов. Используя математический аппарат и методы статистического анализа, становится возможным учесть все реально существующие факторы, что невозможно при использовании только вероятностных методов.

В современных условиях основополагающим становится не сама надежность приборов учета, а надежность каналов передачи информации и алгоритмы обработки данных. Поэтому на этапе обоснования проекта целесообразно использовать статистическое моделирование при выборе схемы резервирования и режимов работы системы учета, а на этапе эксплуатации – переходить к использованию современных приборов учета, программным средствам, беспроводным каналам передачи данных с определенной степенью защиты.

Литература

1. Осипов, Д.С. Проектирование информационно-измерительных систем учета электроэнергии : учебное пособие / Д.С. Осипов, С.Ю. Долингер ; Министерство науки и высшего образования РФ, Омский государственный технический университет. – Омск : Издательство

ОмГТУ, 2020. – 116 с.

2. Тетерский, А.К. Анализ существующих методов и моделей в области повышения эффективности учета электроэнергии в распределительных сетях за счет применения современных технологий передачи данных / А.К. Тетерский // Вестник науки. – 2025. – Т. 4. – № 4(85).

References

1. Osipov, D.S. Proektirovanie informatsionno-izmeritelnykh sistem ucheta elektroenergii : uchebnoe posobie / D.S. Osipov, S.YU. Dolinger ; Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RF, Omskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. – Omsk : Izdatelstvo OmGTU, 2020. – 116 s.

2. Teterskij, A.K. Analiz sushchestvuyushchikh metodov i modelej v oblasti povysheniya effektivnosti ucheta elektroenergii v raspredelitelnykh setyakh za schet primeneniya sovremennykh tekhnologij peredachi dannykh / A.K. Teterskij // Vestnik nauki. – 2025. – Т. 4. – № 4(85).

Analysis of Methods for Improving the Reliability of Electricity Metering Systems

E.V. Frolova, I.V. Zavyalova, O.S. Manakova, A.V. Sidorov

*Buzuluk Humanitarian and Technological Institute –
Branch of Orenburg State University named after V.A. Bondarenko,
Buzuluk (Russia)*

Keywords and phrases: automated systems for commercial electricity metering; methods for improving the reliability of electricity metering systems; reliability of electricity metering systems.

Abstract. The article analyses existing approaches to assessing the reliability of electricity metering systems, including probabilistic methods and statistical modelling, and proposes a list of specific measures to improve it.

© Е.В. Фролова, И.В. Завьялова, О.С. Манакова, А.В. Сидоров, 2026

УДК 3764.07

Особенности правового регулирования социального обслуживания детей с аутизмом

А.И. Хаитова^{1,2}, П.А. Акулов¹,
А.А. Ошкордина³, Н.А. Гончарова³

¹ БФ «Я особенный», г. Екатеринбург (Россия);

² ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации»,
г. Москва (Россия);

³ ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»,
г. Екатеринбург (Россия)

Ключевые слова и фразы: дистанционная форма; доступность услуг; нормативно-правовые акты; правовое регулирование; социальное обслуживание.

Аннотация. Цель статьи: определить ключевые проблемы, связанные с системой правового регулирования социального обслуживания детей с аутизмом. Задачи статьи: рассмотреть специфику применения новых эффективных технологий для решения задач, встающих на пути инновационных подходов к социальному обслуживанию детей с расстройством аутистического спектра (РАС). Гипотеза исследования: авторы рассматривают генезис и взаимодействие преимуществ и недостатков различных форм правового регулирования социального обслуживания детей с аутизмом. Методы исследования: качественный и количественный анализ преимуществ и недостатков различных форм правового регулирования социального обслуживания детей с аутизмом. Результат исследования: на основании проведенного качественного анализа различных нормативно-правовых актов, регламентирующих процесс предоставления социальных услуг, связанных с системой правового регулирования социального обслуживания детей с аутизмом, выработаны практические рекомендации, позволяющие выявить основные проблемы социального обслуживания и дать рекомендации по повышению качества предоставления услуг детям с РАС.

Сегодня необходимость применения новых эффективных технологий для решения задач, встающих на пути инновационных подходов к социальному обслуживанию населения и, в частности, детей с расстройством аутистического спектра, оказывается не только в сфере

ответственности государства, но неизбежно требует активного участия в этой работе российской науки и российского общества в целом [3, с. 164].

Нормативно-правовые противоречия, тормозящие развитие дистанционных форм социальной помощи, имеют как явный, так и неявный характер. Сущность таких противоречий проявляется зачастую лишь в процессе их практического применения [2, с. 266]. С одной стороны, есть действующий Федеральный закон «Об основах социального обслуживания граждан в Российской Федерации» от 28.12.2013 № 442-ФЗ, ставший основой нормативно-правового обеспечения социальных услуг населению [4]. Фундаментом этого закона являются общие гарантии, содержащиеся в ст. 7 и 39 Конституции РФ, в дальнейшем ст. 79, что относится к предмету совместного ведения, как федерального уровня, так и субъектов Российской Федерации.

На общем федеральном уровне нормативно-правовая база, обеспечивающая работу по оказанию социальных услуг населению и в том числе детям, имеющим диагноз РАС, образуются следующими юридическими документами, регламентирующими эту деятельность. Сюда относятся.

- Федеральный закон от 28.12.2013 № 442-ФЗ «Об основах социального обслуживания граждан в Российской Федерации» [4]. Изучение этого закона, его целевой анализ на предмет возможности, допустимости, приемлемости или неприемлемости дистанционных форм оказания социальных услуг показывает, что данный закон никак не может быть осмыслен и проинтерпретирован ни в какую оценочную направленность, связанную с дистанционными формами социального обслуживания [1, с. 223].

- Постановление Правительства Российской Федерации от 24.11.2014 № 1239 «Об утверждении Правил размещения и обновления информации о поставщике социальных услуг на официальном сайте поставщика социальных услуг в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»» [5]. В этом Постановлении уже фигурирует дефиниция «интернет». Отсюда можно, конечно, с некоторым допущением признать, что на уровне Правительства РФ работа с интернет-ресурсами в контексте деятельности по доставке социальных услуг населению воспринимается по умолчанию как нечто само собой разумеющееся.

- Постановление Правительства Российской Федерации от 18.10.2014 № 1075 «Об утверждении Правил определения среднедушевого дохода для предоставления социальных услуг бесплатно» [6]. Ценность представленного здесь документа, если рассматривать его с позиций предмета настоящего исследования, состоит в том, что здесь фигурирует понятие «среднедушевой доход», которое может стать неким катализатором перехода к использованию понятия «подушевой учет оказанных социальных услуг». Переход к «подушевому» учету с одновременным отказом от поэлементного учета оказанных социальных услуг открывает возможность опоры на показатели, подлинно отображающие эффективность деятельности организаций, оказывающих социальные услуги.

- Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17.11.2014 № 886н «Об утверждении Порядка размещения на официальном сайте поставщика социальных услуг в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и обновления информации об этом поставщике (в том числе содержания указанной информации и формы ее предоставления)» [7]. Данный документ можно расценить как яркий образец чисто бюрократической деятельности чиновников, поскольку он полностью дублирует соответствующее постановление правительства, упомянутое выше. Однако в любом случае и этот документ никаким образом невозможно использовать как преграду к развертыванию дистанционных форм оказания социальных услуг.

- Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от

10.11.2014 № 874н «О примерной форме договора о предоставлении социальных услуг, а также о форме индивидуальной программы предоставления социальных услуг» [8]. Ценность данного документа в том, что здесь постулируется актуальность и насущная необходимость индивидуализации при формировании пакета социальных услуг, требующихся тому или иному их потребителю. Отсюда уже несложно сделать логический переход к постулированию комплексности в предоставлении социализирующей и реабилитирующей помощи детям с диагнозом РАС, как необходимого условия эффективности такой помощи.

– Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28.03.2014 № 159н «Об утверждении формы заявления о предоставлении социальных услуг» [9]. Здесь вопрос о дистанционной форме, посредством которой потенциальный, гипотетический потребитель социальных услуг изъявит желание получать эти услуги, фактически может считаться решенным почти по умолчанию. Хотя лучше было бы постулировать право выбора поставщика социальных услуг как неотъемлемую возможность для конечного их потребителя отдельным документом.

– Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 30.07.2014 № 500н «Об утверждении рекомендаций по определению индивидуальной потребности в социальных услугах получателей социальных услуг» [10]. Ценность этого приказа в том, что индивидуализация в конструировании комплексных реабилитирующих вмешательств, способствующих социализации детей, имеющих диагноз РАС, оказывается не только областью ответственности лечащих врачей, психологов, тренеров лечебной гимнастики, педагогов, других специалистов, но и принимает юридически обоснованную форму. И в понятие об индивидуальной потребности вполне встраивается потребность в дистанционной форме получения социальной услуги. Иными словами, широко интерпретируя положения данного документа, можно допустить, что здесь, опять-таки, по умолчанию присутствует нормативно-правовое обоснование возможности потребителя социальных услуг самостоятельно выбирать традиционный или дистанционный вариант получения социальной услуги.

– Распоряжение Правительства РФ (№ 431-р от 20.02.2021 г.) в котором утверждена «Концепция цифровой и функциональной трансформации социальной сферы до 2025 года» [11]. В этом документе декларируется необходимость преобразования всех процессов оказания социальных услуг на любом уровне так, чтобы каждый гражданин имел возможность при желании получать их дистанционно, а не только лично присутствуя в соответствующем учреждении.

Обзор документов, разрабатываемых Правительством РФ и представленных выше, показал, что в их основе лежит ряд основополагающих принципов, существенных для всей дальнейшей конкретизации и разработки нормативно-правовых актов регионального уровня, относящихся к работе с людьми, нуждающимися социальных услугах, в том числе и с детьми, имеющими диагноз РАС. Среди этих принципов:

– направленность на социализацию, на вовлечение людей с ограниченными возможностями в активную общественно-профессиональную жизнь общества на условиях, равных тем, что имеют люди без ограниченных возможностей;

– поддержание равных социальных, гражданских прав и свобод, а также обязанностей и ограничений, предусмотренных действующим законодательством для всех, включая людей с ограниченными возможностями;

– создание доступной среды, предусматривающее улучшение качества жизни людей с ограниченными возможностями, что существенно для социальной реабилитации детей с когнитивными нарушениями.

Таким образом, анализ нормативно-правовых актов, регламентирующих процесс предоставления социальных услуг, показал, что ни в одном из приведенных выше документов не содержится прямых запретов и противопоказаний, касающихся дистанционных методов работы с людьми, нуждающимися в социальных услугах и в том числе с детьми, характеризующимися нарушениями в когнитивной сфере. Более того, почти все приведенные выше документы могут в той или иной степени, с тем или иным допущением стать основой для формирования целесообразного нормативно-правового базиса и ориентированного на интересы детей, имеющих диагноз РАС, а также учитывающего государственные интересы.

Литература

1. Хаитова, А.И. Дистанционные технологии в социальном обслуживании детей с расстройством аутистического спектра (опыт Свердловской области) / А.И. Хаитова, Н.А. Гончарова, А.А. Ошкордина // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 5(167). – С. 222–225.
2. Хаитова, А.И. Поддержка детей с диагнозом атипичный аутизм / А.И. Хаитова, Н.А. Гончарова, А.А. Ошкордина // Перспективы науки. – № 6(177). – 2024. – С. 265–267.
3. Хаитова, А.И. Социальная адаптация детей с расстройством аутистического спектра / А.И. Хаитова, Н.А. Гончарова, А.А. Ошкордина // Глобальный научный потенциал. – № 2(167). – 2025. – С. 163–166
4. Об основах социального обслуживания граждан в Российской Федерации : Федеральный закон № 442-ФЗ от 28.12.2013 (ред. от 28.12.2013).
5. Об утверждении Правил размещения и обновления информации о поставщике социальных услуг на официальном сайте поставщика социальных услуг в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» : Постановление Правительства Российской Федерации № 1239 от 24.11.2014 (ред. от 24.11.2014).
6. Об утверждении Правил определения среднедушевого дохода для предоставления социальных услуг бесплатно : Постановление Правительства Российской Федерации от № 1075 18.10.2014 (ред. от 18.10.2014).
7. Об утверждении Порядка размещения на официальном сайте поставщика социальных услуг в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и обновления информации об этом поставщике (в том числе содержания указанной информации и формы ее предоставления) : Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 886н от 17.11.2014 (ред. от 17.11.2014).
8. О примерной форме договора о предоставлении социальных услуг, а также о форме индивидуальной программы предоставления социальных услуг : Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 874н от 10.11.2014 (ред. от 10.11.2014).
9. Об утверждении формы заявления о предоставлении социальных услуг : Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 159н от 28.03.2014 (ред. от 28.03.2014).
10. Об утверждении рекомендаций по определению индивидуальной потребности в социальных услугах получателей социальных услуг : Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 500н от 30.07.2014 (ред. Приказов Минтруда России № 217н от 05.04.2019, № 848 от 02.12.2020).
11. Концепция цифровой и функциональной трансформации социальной сферы до 2025 года : Распоряжение Правительства РФ № 431-р от 20.02.2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.garant.ru/news/1448455/?ysclid=mnog43357q589162047>.

References

1. KHaitova, A.I. Distantionnye tekhnologii v sotsialnom obsluzhivanii detej s rasstrojstvom autisticheskogo spektra (opyt Sverdlovskoj oblasti) / A.I. KHaitova, N.A. Goncharova, A.A. Oshkordina // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 5(167). – S. 222–225.
2. KHaitova, A.I. Podderzhka detej s diagnozom atipichnyj autizm / A.I. KHaitova, N.A. Goncharova, A.A. Oshkordina // Perspektivy nauki. – № 6(177). – 2024. – S. 265–267.
3. KHaitova, A.I. Sotsialnaya adaptatsiya detej s rasstrojstvom autisticheskogo spektra / A.I. KHaitova, N.A. Goncharova, A.A. Oshkordina // Globalnyj nauchnyj potentsial. – № 2(167). – 2025. – S. 163–166
4. Ob osnovakh sotsialnogo obsluzhivaniya grazhdan v Rossijskoj Federatsii : Federalnyj zakon № 442-FZ ot 28.12.2013 (red. ot 28.12.2013).
5. Ob utverzhdenii Pravil razmeshcheniya i obnovleniya informatsii o postavshchike sotsialnykh uslug na ofitsialnom sajte postavshchika sotsialnykh uslug v informatsionno-telekommunikatsionnoj seti «Internet» : Postanovlenie Pravitelstva Rossijskoj Federatsii № 1239 ot 24.11.2014 (red. ot 24.11.2014).
6. Ob utverzhdenii Pravil opredeleniya srednedushevogo dokhoda dlya predostavleniya sotsialnykh uslug besplatno : Postanovlenie Pravitelstva Rossijskoj Federatsii ot № 1075 18.10.2014 (red. ot 18.10.2014).
7. Ob utverzhdenii Poryadka razmeshcheniya na ofitsialnom sajte postavshchika sotsialnykh uslug v informatsionno-telekommunikatsionnoj seti «Internet» i obnovleniya informatsii ob etom postavshchike (v tom chisle sodержaniya ukazannoj informatsii i formy ee predostavleniya) : Prikaz Ministerstva truda i sotsialnoj zashchity Rossijskoj Federatsii № 886n ot 17.11.2014 (red. ot 17.11.2014).
8. O primernoj forme dogovora o predostavlenii sotsialnykh uslug, a takzhe o forme individualnoj programmy predostavleniya sotsialnykh uslug : Prikaz Ministerstva truda i sotsialnoj zashchity Rossijskoj Federatsii № 874n ot 10.11.2014 (red. ot 10.11.2014).
9. Ob utverzhdenii formy zayavleniya o predostavlenii sotsialnykh uslug : Prikaz Ministerstva truda i sotsialnoj zashchity Rossijskoj Federatsii № 159n ot 28.03.2014 (red. ot 28.03.2014).
10. Ob utverzhdenii rekomendatsij po opredeleniyu individualnoj potrebnosti v sotsialnykh uslugakh poluchatelej sotsialnykh uslug : Prikaz Ministerstva truda i sotsialnoj zashchity Rossijskoj Federatsii № 500n ot 30.07.2014 (red. Prikazov Mintruda Rossii № 217n ot 05.04.2019, № 848 ot 02.12.2020).
11. Kontseptsiya tsifrovoj i funktsionalnoj transformatsii sotsialnoj sfery do 2025 goda : Rasporyazhenie Pravitelstva RF № 431-r ot 20.02.2021 g. [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.garant.ru/news/1448455/?ysclid=mnog43357q589162047>.

Features of Legal Regulation of Social Services for Children with Autism

A.I. Khaitova^{1,2}, P.A. Akulov¹,
A.A. Oshkordina³, N.A. Goncharova³

¹ Charitable Fund "I'm Special", Yekaterinburg (Russia);

² Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,
Moscow (Russia);

³ Ural State University of Economics, Yekaterinburg (Russia)

Keywords and phrases: legal regulation; social services; regulatory legal acts; distance learning; availability of services.

Abstract. The purpose of the article is to identify key issues related to the legal regulation system of social services for children with autism. The objectives to consider the specifics of using new effective technologies to solve problems that arise on the path of innovative approaches to social services for children with autism spectrum disorder (**ASD**). Research hypothesis: The authors examine the genesis and interaction of the advantages and disadvantages of various forms of legal regulation of social services for children with autism. Research methods: qualitative and quantitative analysis of the advantages and disadvantages of various forms of legal regulation of social services for children with autism. Result of the study. Based on a qualitative analysis of various legal acts governing the process of providing social services related to the system of legal regulation of social services for children with autism, practical recommendations have been developed to identify the main problems of social services and provide recommendations for improving the quality of services provided to children with ASD.

© А.И. Хаитова, П.А. Акулов, А.А. Ошкордина, Н.А. Гончарова, 2026

УДК 3764.07

Assessment of Ecological and Biological State of Soils of Small Towns by Phytotesting

E.V. Shalomova, M.S. Khokhlova

*Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs,
Vladimir (Russia)*

Keywords and phrases: phytotesting; functional zones; soil; germination; growth indicators; wheat; Kovrov; Murom; Alexandrov.

Abstract. The paper presents the results of ecological and biological assessment of the soils of functional zones of urban areas by phytotesting. The objectives are to assess the impact of soils of various functional zones of the cities of the Vladimir region on the germination and growth indicators of soft winter wheat; calculate and analyze IBESP values for soils of different functional zones of the studied cities; conduct a comparative assessment of the ecological and biological state of the soils of the cities of Kovrov, Murom and Aleksandrov based on the results of phytotesting. The hypothesis assumes that the ecological and biological state of the soils of urban areas depends on the type of functional zone and the level of anthropogenic load, which will be reflected in the differences in phytotesting indicators. Methods include a method for assessing toxicity based on the study of the reaction of plants to various substances, comparisons, analysis. It was found that the growth indicators and values of IBESP vary significantly depending on the functional zone and the level of anthropogenic load. The results obtained confirm the information value of phytotesting when assessing the ecological state of urbanized areas.

In conditions of urbanization, the soils of urban areas are subjected to intensive anthropogenic impact associated with the activities of industrial enterprises, transport infrastructure and the utilities sector. As a result, pollutants accumulate in the soil cover of cities, primarily heavy metals and products of man-made origin, which leads to a deterioration in their ecological state and a decrease in the ability to perform natural functions.

Traditional chemical analysis methods can determine the content of individual contaminants, but do not always reflect their total toxic effects on living organisms. In this regard, biotesting methods based on the assessment of the reaction of living organisms to environmental influences are becoming more widespread in the practice of environmental research.

One of the most informative and affordable methods of biotesting is phytotesting - a method for assessing toxicity based on the study of the reaction of plants to various substances.

We analyzed 40 soil samples taken in the territories of the cities of Kovrov, Murom and

Table 1. Distribution of sampling points by functional zones

City	Recreational Landscape	Residential	Industrial	Transport	Total
Kovrov	3	4	4	1	12
Murom	2	4	8	1	15
Aleksandrov	2	4	4	3	13

Aleksandrov within various functional zones: recreational landscape, residential, industrial and transport.

Assessment of soil phytotoxicity was carried out by phytotesting. As a test crop, soft winter wheat of the “Mera” variety, bred and zoned in the Vladimir region, was used. The following parameters were evaluated as test reactions: seed germination, root length and sprout shoot length.

To compare the obtained results, an integral indicator of the ecological and biological state of soils was used, which makes it possible to assess the set of biological indicators. IPEBSP was calculated according to the methodology of K.Sh. Kazeev et al.

As a result of soil phytotesting of the cities of Kovrov, Murom and Aleksandrov, it was found that the germination of wheat seeds is characterized by pronounced variability (within 22 %) and depends on the type of functional sampling zone. For individual sampling points, germination rates ranged from 78.3 % to 100 %, which indicates the heterogeneity of the ecological and biological state of soils in these urban areas.

In the soils of the city of Kovrov, the germination rate of wheat seeds varied from 90 % to 100 %, while the average values for functional zones were 97.2 % in the recreational zone, 95.4 % in the industrial zone and 98.3 % each in the residential and transport zones. The lower percentage of seed germination in the industrial area can be attributed to soil contamination by various emissions and production waste.

In Murom, the lowest germination rates were noted. The range of values of this indicator was within 78.3–100 %, and the average values for functional zones were 90.8 % in the recreational zone, 96.2 % in the residential zone, 93 % in the industrial zone and 96.6 % in the transport zone. Reduced germination in recreational and industrial zones may reflect the influence of a combination of factors, including soil compaction, pollution and disturbance of soil cover structure.

For the soils of Aleksandrov, the germination rate of wheat seeds varied from 86.6 % to 100 %, while the average values for functional zones here correspond to the most logical option, i. e. the growth of the indicator from the lowest values in the transport (92.2 %) and industrial (95 %) zones to the highest value in the recreational and landscape zone (96.4 %).

Growth indicators of soft winter wheat when grown on soils of various functional zones of the studied cities were also characterized by pronounced variability. The length of the roots of plants at individual sampling points ranged from 17.3 mm to 84.1 mm, while the length of the shoots varied from 19.2 mm to 87.5 mm, which indicates a different degree of influence of the soil cover on the growth and development of the test culture.

In the soils of the city of Kovrov, the average length of wheat roots by functional zones was 41.2 mm in the recreational zone, 59.5 mm in the residential zone, 55.6 mm in the industrial zone and 55.5 mm in the transport zone. The average shoot lengths were 49.7 mm, 58 mm, 47.2 mm and 58.6 mm, respectively. It can be seen that within the city, the directions of changes in the average values of the root and shoot lengths turned out to be similar, that is, the growth indicators of the root

and aboveground parts changed synchronously depending on the degree of favorable conditions.

In Murom, the length of wheat roots varied from 17.3 mm to 56.9 mm, while the average values for functional zones were 23.2 mm (recreational zone), 30.2 mm (residential zone), 37.6 mm (industrial zone) and 46.2 mm (transport zone). The opposite trend was observed for shoot lengths, which averaged 36.6 mm, 31.4 mm, 37.1 mm and 43.9 mm, respectively. The decrease in growth indicators in recreational and residential areas may be associated with unfavorable physical and chemical properties of soils, including compaction, aeration disturbance and possible accumulation of pollutants. Higher growth rates in industrial and transport zones can probably be associated with the effect of hormesis – growth stimulation at low concentrations of pollutants.

For the soils of Alexandrov, the length of the wheat roots varied in the range of 32.3–84.1 mm, and the length of the shoots – in the range of 29.3–87.5 mm. The average values of growth indicators for functional zones (in the sequence of recreational, residential, industrial and transport zones) were 60.2 mm, 54.6 mm, 62.7 mm and 50.8 mm for roots and 47.5 mm, 49.5 mm, 71 mm and 53.8 mm for shoots. Here, the maximum average values of the length of wheat roots and shoots are recorded in the industrial zone, which may be due to a moderate level of technogenic impact, which has a stimulating effect on plant growth, as well as a lower degree of mechanical disturbance of soils compared to recreational and transport areas.

In general, wheat growth indicators were more sensitive to soil cover quality compared to seed germination. Inhibition of the development of the root system and the aboveground part in a number of functional zones reflects the presence of stress conditions of the soil environment and confirms the feasibility of using these test reactions as informative bioindicators in assessing the ecological and biological state of urban soils.

The maximum values of IBESP (100 %) were recorded in the residential area of Kovrov, the transport area of Murom and the industrial area of Alexandrov. The high values of IBESP noted in the last two zones may be due to both local features of pollution and the specifics of the economic use of the territories, including compliance with environmental standards and soil remediation measures. In general, the least favorable ecological and biological state was characterized by the soils of recreational and landscape zones of the studied cities, where the IBESP values ranged from 75.9 % in Murom to 88.1 % in Alexandrov.

The comparative analysis demonstrates that the soils of the city of Murom as a whole are characterized by less favorable conditions for the growth and development of wheat compared to the soils of the cities of Alexandrov and Kovrov, which is expressed in a decrease in the average length of the roots by 1.51–1.66 times and a decrease in the average height of shoots by 1.46–1.58 times.

The results obtained were compared with the data of a separate study on the assessment of the toxicity of the soils of the city of Kovrov. In this work, it was noted that the soils of the transport zone are characterized by increased values of the toxicity index, while more favorable indicators were recorded in the residential zone, which is associated with a lower technogenic load and the absence of intensive sources of pollution. At the same time, in this study, relatively high growth indicators and IBESP were recorded in the transport zone, which may be due to plant adaptation reactions and the effect of hormesis when exposed to moderate concentrations of pollutants. This indicates that the toxicity index and biotest indicators reflect various aspects of the state of the soil and are not always directly related.

As a result of phytotesting, it was established that the ecological and biological state of the soils of urban areas of the Vladimir region is characterized by spatial heterogeneity and depends on the functional purpose of the zones. The germination of soft winter wheat seeds during cultivation on the studied soils ranged from 78.3 % to 100 %.

In general, the results of the study confirm the informativity of phytotesting using soft winter wheat as a test object for an integral assessment of the ecological and biological state of the soils of urban areas and emphasize the need to take into account functional zoning in environmental assessment and monitoring of the soil cover.

References

1. Казеев, К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков. – Ростов-на-Дону : Изд-во РГУ, 2003. – 202 с.
2. Наумов, Е.Д., Космачева А.Г. Определение токсичности городских почв методом бактериальной биolumинесценции / Е.Д. Наумов, А.Г. Космачева // Дни науки студентов Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых : сборник материалов научно-практической конференции, г. Владимир, 17 марта – 4 апреля 2025 г. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2025. – С. 1268–1277.

References

1. Kazeev, K.SH. Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniy / K.SH. Kazeev, S.I. Kolesnikov, V.F. Valkov. – Rostov-na-Donu : Izd-vo RGU, 2003. – 202 s.
2. Naumov, E.D., Kosmacheva A.G. Opredelenie toksichnosti gorodskikh pochv metodom bakterialnoj bioluminestsentsii / E.D. Naumov, A.G. Kosmacheva // Dni nauki studentov Vladimirskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Aleksandra Grigorevicha i Nikolaya Grigorevicha Stoletovykh : sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii, g. Vladimir, 17 marta – 4 aprelya 2025 g. – Vladimir : Izd-vo VIGU, 2025. – S. 1268–1277.

Оценка эколого-биологического состояния почв малых городов методом фитотестирования

Е.В. Шаломова, М.С. Хохлова

*ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»,
г. Владимир (Россия)*

Ключевые слова и фразы: Александров; всхожесть; Ковров; Муром; почва; пшеница; ростовые показатели; фитотестирование; функциональные зоны.

Аннотация. В работе проведена эколого-биологическая оценка почв функциональных зон городских территорий методом фитотестирования. Задачи: оценить влияние почв различных функциональных зон городов Владимирской области на всхожесть и ростовые показатели пшеницы мягкой озимой; рассчитать и проанализировать значения ИБЭСП для почв различных функциональных зон исследуемых городов; провести сравнительную оценку эколого-биологического состояния почв городов Ковров, Муром и Александров на основе результатов фитотестирования. Гипотеза: мы предполагаем, что эколого-биологическое состояние почв городских территорий зависит от типа функциональной зоны и уровня антропогенной нагрузки, что будет отражаться в различиях показателях

фитотестирования. Методы: использовался метод оценки токсичности, основанный на изучении реакции растений на различные вещества, сравнения, анализ. Результаты: установлено, что ростовые показатели и значения ИБЭСП существенно варьируются в зависимости от функциональной зоны и уровня антропогенной нагрузки. Полученные результаты подтверждают информативность фитотестирования при оценке экологического состояния урбанизированных территорий.

© E.V. Shalomova, M.S. Khokhlova, 2026

List of Authors

Аксенов А.К. – кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: AksenovAK@mgsu.ru

Aksenov A.K. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: AksenovAK@mgsu.ru

Такмазян Г.А. – аспирант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: German.moscowone@gmail.com

Takmazyan G.A. – Postgraduate Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: AksenovAK@mgsu.ru

Бойко А.Н. – аспирант Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж (Россия), e-mail: Lesha15-201@mail.ru

Boyko A.N. – Postgraduate Student, Voronezh State Technical University, Voronezh (Russia), e-mail: Lesha15-201@mail.ru

Сотникова О.А. – доктор технических наук, профессор кафедры проектирования зданий и сооружений имени Н.В. Троицкого, кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж (Россия), e-mail: Ksenija.sotnikova@yandex.ru

Sotnikova O.A. – Doctor of Engineering, Professor, Department of Building and Structural Design named after N.V. Troitsky, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh (Russia), e-mail: Ksenija.sotnikova@yandex.ru

Веселова Н.М. – кандидат технических наук, доцент кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: nata.vesna1971@mail.ru

Veselova N.M. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: nata.vesna1971@mail.ru

Хлыбов А.Д. – магистрант Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: hlybovantont@gmail.com

Khlybov A.D. – Master's Student, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: hlybovantont@gmail.com

Карапузова Н.Ю. – кандидат технических наук, доцент кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: karapuzova_ny@mail.ru

Karapuzova N.Yu. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation, Volgograd State Technical

University, Volgograd (Russia), e-mail: nata.vesna1971@mail.ru

Карапузов В.И. – студент Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: vladislovekrpzv@yandex.ru

Karapuzov V.I. – Student, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: vladislovekrpzv@yandex.ru

Лоншаков С.В. – студент Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: ftis-tb@vgasu.ru

Lonshakov S.V. – Student, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: ftis-tb@vgasu.ru

Мамыкин Д.А. – студент Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: ftis-tb@vgasu.ru

Mamykin D.A. – Student, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: ftis-tb@vgasu.ru

Жупанов А.И. – магистрант Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: Alex.jypanov@gmail.com

Zhupanov A.I. – Master's Student, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: Alex.jypanov@gmail.com

Кондауров П.П. – кандидат технических наук, доцент кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: pavka_kpp@mail.ru

Kondaurov P.P. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: pavka_kpp@mail.ru

Новоселецкий Д.В. – студент Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: novoseleckiidv@mail.ru

Novoseletsky D.V. – Student, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: novoseleckiidv@mail.ru

Латушкин А.П. – преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: Alexeylat@mail.ru

Latushkin A.P. – Lecturer, Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: Alexeylat@mail.ru

Фокин В.М. – доктор технических наук, профессор кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: vmfokin@bk.ru

Fokin V.M. – Doctor of Engineering, Professor, Department of Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: vmfokin@bk.ru

Колесников Ф.А. – аспирант Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: fedorkoles@icloud.com

Kolesnikov F.A. – Postgraduate Student, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: fedorkoles@icloud.com

Душко О.В. – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительной механики Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: dushko@vgasu.ru

Dushko O.V. – Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of Department of Structural Mechanics, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: dushko@vgasu.ru

Ткачук Е.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Приазовского государственного технического университета – филиала Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Мариуполь (Россия), e-mail: ev13tk@gmail.com

Tkachuk E.V. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Industrial and Civil Engineering, Priazovsky State Technical University – Branch of National Research Moscow State University of Civil Engineering, Mariupol (Russia), e-mail: ev13tk@gmail.com

Сорочан Е.Н. – кандидат технических наук, доцент, директор института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Приазовского государственного технического университета – филиала Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Мариуполь (Россия), e-mail: sorochanen@yandex.ru

Sorochan E.N. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Director of the Institute of Construction, Architecture and Housing and Public Utilities, Priazovsky State Technical University – Branch of National Research Moscow State University of Civil Engineering, Mariupol (Russia), e-mail: sorochanen@yandex.ru

Катрачило Н.Ф. – студент Приазовского государственного технического университета – филиала Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Мариуполь (Россия), e-mail: my.osnova.n1@gmail.com

Katrachilo N.F. – Student, Priazovsky State Technical University – Branch of National Research Moscow State University of Civil Engineering, Mariupol (Russia), e-mail: my.osnova.n1@gmail.com

Жаров Я.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: ZharovYAV@mgsu.ru

Zharov Ya.V. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Technology and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: ZharovYAV@mgsu.ru

Аннин А.Д. – магистрант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: valiheck3@gmail.com

Annin A.D. – Master’s Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: valiheck3@gmail.com

Лapidус А.А. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: lapidusaa@mgsu.ru

Lapidus A.A. – Doctor of Engineering, Professor, Head of Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: lapidusaa@mgsu.ru

Бикмухаметова А.М. – директор научно-исследовательского центра «Инновационные технологии в строительстве», заведующий лабораторией «Испытание строительных материалов и конструкций», старший преподаватель Астраханского государственного технического университета, г. Астрахань (Россия), e-mail: a.bikmuhametova@astu.ru

Bikmukhametova A.M. – Director of Research Center “Innovative Technologies in Construction,” Head of Laboratory “Testing of Construction Materials and Structures,” Senior Lecturer, Astrakhan State Technical University, Astrakhan (Russia), e-mail: a.bikmuhametova@astu.ru

Патеев Г.С. – магистрант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: gum.pate@yandex.ru

Pateev G.S. – Master’s Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: gum.pate@yandex.ru

Михайлова Е.В. – кандидат экономических наук, доцент кафедры технологий и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: MikhailovaEV@mgsu.ru

Mikhailova E.V. – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: MikhailovaEV@mgsu.ru

Еремина Ю.С. – магистрант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: julia.eremuna@gmail.com

Eremina Yu.S. – Master’s Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: julia.eremuna@gmail.com

Муря В.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: MuryaVA@mgsu.ru

Murya V.A. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: MuryaVA@mgsu.ru

Снежков А.С. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: a.ars99@mail.ru

Snezhkov A.S. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering,

Moscow (Russia), e-mail: a.ars99@mail.ru

Стоянов И.П. – аспирант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: goga.stoyanov.99@mail.ru

Stoianov I.P. – Postgraduate Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: goga.stoyanov.99@mail.ru

Дехтярь Е.В. – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры организации строительства и управления недвижимостью Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: dekhtyarev@mgsu.ru

Dekhtiar E.V. – Candidate of Science (Engineering), Senior Lecturer, Department of Construction Organization and Real Estate Management, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: dekhtyarev@mgsu.ru

Хаев Т.Э. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: haevt@mail.ru

Khaev T.E. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: haevt@mail.ru

Егорова Н.П. – магистрант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: natasae382@gmail.com

Egorova N.P. – Master's Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: natasae382@gmail.com

Чочиев С.С. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: Sarmat.chochiev@bk.ru

Chochiev S.S. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: Sarmat.chochiev@bk.ru

Хубаев А.О. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и организации строительного производства, ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра «Конструкции, технологии и организация строительства» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: alan_khubaev@mail.ru

Khubaev A.O. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Technologies and Organization of Construction Production, Leading Researcher at the Scientific and Educational Center "Construction Structures, Technologies, and Organization", National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: alan_khubaev@mail.ru

Джафаргулуев А.М. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: anar20dj@yandex.ru

Dzhafarguluev A.M. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering,

Moscow (Russia), e-mail: anar20dj@yandex.ru

Ярошевич М.П. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: maximyaroshevich1703@gmail.com

Yaroshevich M.P. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: maximyaroshevich1703@gmail.com

Пономарев Е.С. – кандидат архитектуры, доцент кафедры теории и практики архитектуры Казанского государственного архитектурно-строительного университета, г. Казань (Россия), e-mail: Ponom_argo@mail.com

Ponomarev E.S. – Candidate of Architecture, Associate Professor, Department of Theory and Practice of Architecture, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan (Russia), e-mail: Ponom_argo@mail.com

Насибуллина Л.М. – магистрант Казанского государственного архитектурно-строительного университета, г. Казань (Россия), e-mail: leee.nasssm@gmail.com

Nasibullina L.M. – Master's Student, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan (Russia), e-mail: leee.nasssm@gmail.com

Валиуллин А.А. – старший преподаватель кафедры теории и практики архитектуры Казанского государственного архитектурно-строительного университета, г. Казань (Россия), e-mail: valiullin.almaz87@yandex.ru

Valiullin A.A. – Senior Lecturer, Department of Theory and Practice of Architecture, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan (Russia), e-mail: valiullin.almaz87@yandex.ru

Якубов М.Х. – заведующий кафедрой физического воспитания и спорта Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: pr-azdnik@yandex.ru

Yakubov M.Kh. – Head of Department of Physical Education and Sports, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: pr-azdnik@yandex.ru

Фролова Н.Н. – кандидат биологических наук, доцент кафедры физического воспитания и спорта Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: pr-azdnik@yandex.ru

Frolova N.N. – Candidate of Science (Biology), Associate Professor, Department of Physical Education and Sports, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: pr-azdnik@yandex.ru

Шадрина К.С. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: pr-azdnik@yandex.ru

Shadrina K.S. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: pr-azdnik@yandex.ru

Алборов Т.Т. – аспирант Национального исследовательского Московского государственного

строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: t.alborov@bk.ru

Alborov T.T. – Postgraduate Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: t.alborov@bk.ru

Спирин А.С. – аспирант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: spirincorp@yandex.ru

Spirin A.S. – Postgraduate Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: spirincorp@yandex.ru

Манухина Л.А. – кандидат экономических наук, доцент кафедры организации строительства и управления недвижимостью Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: ManuhinaLA@mgsu.ru

Manukhina L.A. – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Department of Construction Organization and Real Estate Management, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: ManuhinaLA@mgsu.ru

Гарник В.С. – заместитель директора Института физической культуры и спорта Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: pr-azdnik@yandex.ru

Garnik V.S. – Deputy Director, Institute of Physical Education and Sports, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: pr-azdnik@yandex.ru

Михайлов Д.В. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: dima.m241022@mail.ru

Mikhaylov D.V. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: dima.m241022@mail.ru

Коргин А.В. – кандидат технических наук, профессор кафедры испытания сооружений Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: Korguine@mgsu.ru

Korgin A.V. – Candidate of Science (Engineering), Professor, Department of Department of Structural Testing, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: Korguine@mgsu.ru

Терентьев А.С. – студент Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск (Россия), e-mail: andreiter313@mail.ru

Terentiev A.S. – Student, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: andreiter313@mail.ru

Дрокин Е.Е. – студент Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск (Россия), e-mail: andreiter313@mail.ru

Drokin E.E. – Student, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: andreiter313@mail.ru

Орешенко Т.Г. – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического управ-

ления Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск (Россия), e-mail: andreiter313@mail.ru

Oreshenko T.G. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Automatic Control Systems, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: andreiter313@mail.ru

Беликов И.В. – аспирант Московского финансово-промышленного университета «Синергия», г. Москва (Россия), e-mail: kostyftre@inbox.ru

Belikov I.V. – Postgraduate Student, Moscow Financial and Industrial University “Synergy”, Moscow (Russia), e-mail: kostyftre@inbox.ru

Киселева И.А. – доктор экономических наук, профессор кафедры прикладной математики Московского финансово-промышленного университета «Синергия», г. Москва (Россия), e-mail: Kia1962@list.ru

Kiseleva I.V. – Doctor of Science (Economics), Professor, Department of Applied Mathematics, Moscow Financial and Industrial University “Synergy”, Moscow (Russia), e-mail: Kia1962@list.ru

Зайцева И.В. – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики и физики Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург (Россия), e-mail: irina.zaitseva.stv@yandex.ru

Zaitseva I.V. – Candidate of Science (Physics and Mathematics), Associate Professor, Head of Department of Higher Mathematics and Physics, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg (Russia), e-mail: irina.zaitseva.stv@yandex.ru

Казначеева О.Х. – кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой экономики, управления и информационных технологий Невинномысского государственного гуманитарно-технического института, г. Невинномысск (Россия), e-mail: o.k4znacheeva@yandex.ru

Kaznacheeva O.Kh. – Candidate of Sciences (Pedagogy), Associate Professor, Head of Department of Economics, Management and Information Technologies, Nevinnomyssk State Humanitarian and Technical Institute, Nevinnomyssk (Russia), e-mail: o.k4znacheeva@yandex.ru

Жукова В.А. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры математики Ставропольского государственного аграрного университета, г. Ставрополь (Россия), e-mail: bekastavropol@mail.ru

Zhukova V.A. – Candidate of Sciences (Pedagogy), Associate Professor, Department of Mathematics, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia, e-mail: bekastavropol@mail.ru

Зайцев А.А. – преподаватель кафедры огневой подготовки Ставропольского филиала Краснодарского университета Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Ставрополь (Россия), e-mail: alexzaitcev91@mail.ru

Zaitsev A.A. – Lecturer, Department of Firearms Training, Stavropol Branch of Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Stavropol (Russia), e-mail: alexzaitcev91@mail.ru

Сидельников И.Д. – кандидат экономических наук, доцент кафедры промышленной логистики Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва (Россия), e-mail: exuuu00@gmail.com

Sidelnikov I.D. – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Department of Industrial Logistics, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow (Russia), e-mail: exuuu00@gmail.com

Хатьянов С.А. – магистрант Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва (Россия), e-mail: exuuu00@gmail.com

Khatyanov S.A. – Master's Student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow (Russia), e-mail: exuuu00@gmail.com

Толстошеина Е.А. – магистрант Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва (Россия), e-mail: exuuu00@gmail.com

Tolstosheina E.A. – Master's Student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow (Russia), e-mail: exuuu00@gmail.com

Зарайская Т.В. – ведущий эксперт Центра экспертиз в образовании Российской академии образования, г. Москва (Россия), e-mail: ztv.1168@gmail.com

Zaraiskaya T.V. – Leading Expert, Center for Expertise in Education, Russian Academy of Education, Moscow (Russia), e-mail: ztv.1168@gmail.com

Ганеев А.Р. – кандидат технических наук, ведущий эксперт Центра экспертиз в образовании Российской академии образования, г. Москва (Россия), e-mail: argan74@mail.ru

Ganeev A.R. – Candidate of Science (Engineering), Leading Expert, Center for Expertise in Education, Russian Academy of Education, Moscow (Russia), e-mail: argan74@mail.ru

Карпов А.В. – кандидат технических наук, доцент, эксперт ООО «Академия СЭТ», г. Москва (Россия), e-mail: av-k.07@mail.ru

Karpov A.V. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Expert, Academy SET LLC, Moscow (Russia), e-mail: av-k.07@mail.ru

Бурков Я.Е. – магистрант Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир (Россия), e-mail: jaroslav.burkov@yandex.ru

Burkov Ya.E. – Master's Student, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir (Russia), e-mail: jaroslav.burkov@yandex.ru

Логинов А.Н. – кандидат экономических наук, доцент кафедры технологического и экономического образования Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир (Россия), e-mail: teologinov@gmail.com

Loginov A.N. – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Department of Technological and Economic Education, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir (Russia), e-mail: teologinov@gmail.com

Гучетль Р.Г. – кандидат экономических наук, доцент, руководитель департамента дополнительного образования Фонда развития науки и культуры, г. Тамбов (Россия), e-mail: ruzana707@mail.ru

Guchetl R.G. – Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Head of Department of Continuing Education of the Science and Culture Development Foundation, Tambov (Russia), e-mail: ruzana707@mail.ru

Власова М.И. – студент Саратовского государственного медицинского университета имени В.И. Разумовского, г. Саратов (Россия), e-mail: masha.vlasova.2004.w@mail.ru

Vlasova M.I. – Student, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov (Russia), e-mail: masha.vlasova.2004.w@mail.ru

Галкина В.Г. – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры математики Военно-морской академии имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, г. Санкт-Петербург (Россия), e-mail: vaosse2007@rambler.ru

Galkina V.G. – Candidate of Science (Physics and Mathematics), Senior Lecturer, Department of Mathematics, Naval Academy named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov, St. Petersburg (Russia), e-mail: vaosse2007@rambler.ru

Казначеева М.Г. – доцент кафедры экономики и управления Невинномысского государственного гуманитарно-технического института, г. Невинномысск (Россия), e-mail: o.k4znacheeva@yandex.ru

Kaznacheeva M.G. – Associate Professor, Department of Economics and Management, Nevinnomyssk State Humanitarian and Technical Institute, Nevinnomyssk (Russia), e-mail: o.k4znacheeva@yandex.ru

Филимонов А.А. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры тактико-специальной подготовки Ставропольского филиала Краснодарского университета Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Ставрополь (Россия), e-mail: afilimon12010@mail.ru

Filimonov A.A. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Tactical and Special Training, Stavropol branch of the Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Stavropol (Russia), e-mail: afilimon12010@mail.ru

Саломатин А.П. – аспирант Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург (Россия), e-mail: kaf_koib@gumrf.ru

Salomatin A.P. – Postgraduate Student, State University of Maritime and Inland Shipping named after Admiral S.O. Makarov, St. Petersburg (Russia), e-mail: kaf_koib@gumrf.ru

Гаскаров В.Д. – доктор технических наук, профессор кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург (Россия), e-mail: kaf_koib@gumrf.ru

Gaskarov V.D. – Doctor of Engineering, Professor, Department of Integrated Information Security, State University of Maritime and Inland Shipping named after Admiral S.O. Makarov, St. Petersburg (Russia), e-mail: kaf_koib@gumrf.ru

Фролова Е.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры общепрофессиональных и технических дисциплин Бузулукского гуманитарно-технологического института – филиала Оренбургского государственного университета имени В.А. Бондаренко, г. Бузулук (Россия), e-mail: fev@bgti.ru

Frolova E.V. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of General Professional and Technical Disciplines, Buzuluk Humanitarian and Technological Institute – branch of Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, Buzuluk (Russia), e-mail: fev@bgti.ru

Завьялова И.В. – кандидат экономических наук, декан строительного-технологического факультета Бузулукского гуманитарно-технологического института – филиала Оренбургского государственного университета имени В.А. Бондаренко, г. Бузулук (Россия), e-mail: isf@bgti.ru

Zavyalova I.V. – Candidate of Science (Economics), Dean of Faculty of Construction and Technology, Buzuluk Humanitarian and Technological Institute – branch of Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, Buzuluk (Russia), e-mail: isf@bgti.ru

Манакова О.С. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры общепрофессиональных и технических дисциплин Бузулукского гуманитарно-технологического института – филиала Оренбургского государственного университета имени В.А. Бондаренко, г. Бузулук (Россия), e-mail: kafi@bgti.ru

Manakova O.S. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of General Professional and Technical Disciplines, Buzuluk Humanitarian and Technological Institute – branch of Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, Buzuluk (Russia), e-mail: kafi@bgti.ru

Сидоров А.В. – старший преподаватель кафедры общепрофессиональных и технических дисциплин Бузулукского гуманитарно-технологического института – филиала Оренбургского государственного университета имени В.А. Бондаренко, г. Бузулук (Россия), e-mail: tera@bgti.ru

Sidorov A.V. – Senior Lecturer, Department of General Professional and Technical Disciplines, Buzuluk Humanitarian and Technological Institute – Branch of Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, Buzuluk (Russia), e-mail: tera@bgti.ru

Хаитова А.И. – президент Благотворительного фонда «Я особенный», г. Екатеринбург (Россия); аспирант Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Москва (Россия), e-mail: ya.haitova@yandex.ru

Khaitova A.I. – President of “I am Special” Charitable Foundation, Yekaterinburg (Russia); Postgraduate Student, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow (Russia), e-mail: ya.haitova@yandex.ru

Акулов П.А. – руководитель подразделения по правовым вопросам Благотворительного фонда «Я особенный», г. Екатеринбург (Россия), e-mail: akulov@yaosobenniy.ru

Akulov P.A. – Head of “I am Special” Charitable Foundation, Yekaterinburg (Russia), e-mail: akulov@yaosobenniy.ru

Ошкордина А.А. – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики социальной сферы Уральского государственного экономического университета, г. Екатеринбург (Россия), e-mail: al2111la@yandex.ru

Oshkordina A.A. – Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Department of Economics of the Social Sphere, Ural State University of Economics, Yekaterinburg (Russia), e-mail: al2111la@yandex.ru

Гончарова Н.А. – кандидат исторических наук, доцент кафедры иностранных языков Уральского государственного экономического университета, г. Екатеринбург (Россия), e-mail: nadin1325x@yandex.ru

Goncharova N.A. – Candidate of Science (History), Associate Professor, Department of Foreign Languages, Ural State University of Economics, Yekaterinburg (Russia), e-mail: nadin1325x@yandex.ru

Шаломова Е.В. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры иностранных языков профессиональной коммуникации Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир (Россия), e-mail: shalomova2013@mail.ru

Shalomova E.V. – Candidate of Sciences (Pedagogical), Associate Professor, Department of Foreign Languages and Professional Communication, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir (Russia), e-mail: shalomova2013@mail.ru

Хохлова М.С. – магистрант Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир (Россия), e-mail: khokhlova.mari@mail.ru

Shalomova E.V. – Master's Student, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir (Russia), e-mail: khokhlova.mari@mail.ru

COMPONENTS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROGRESS

№ 5(119) 2026

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

Manuscript approved for print 20.05.26

Format 60.84/8

Conventional printed sheets 33.71

Published pages 18.64

200 printed copies

The price is 300 rubles.

16+

NTF RIM LLC