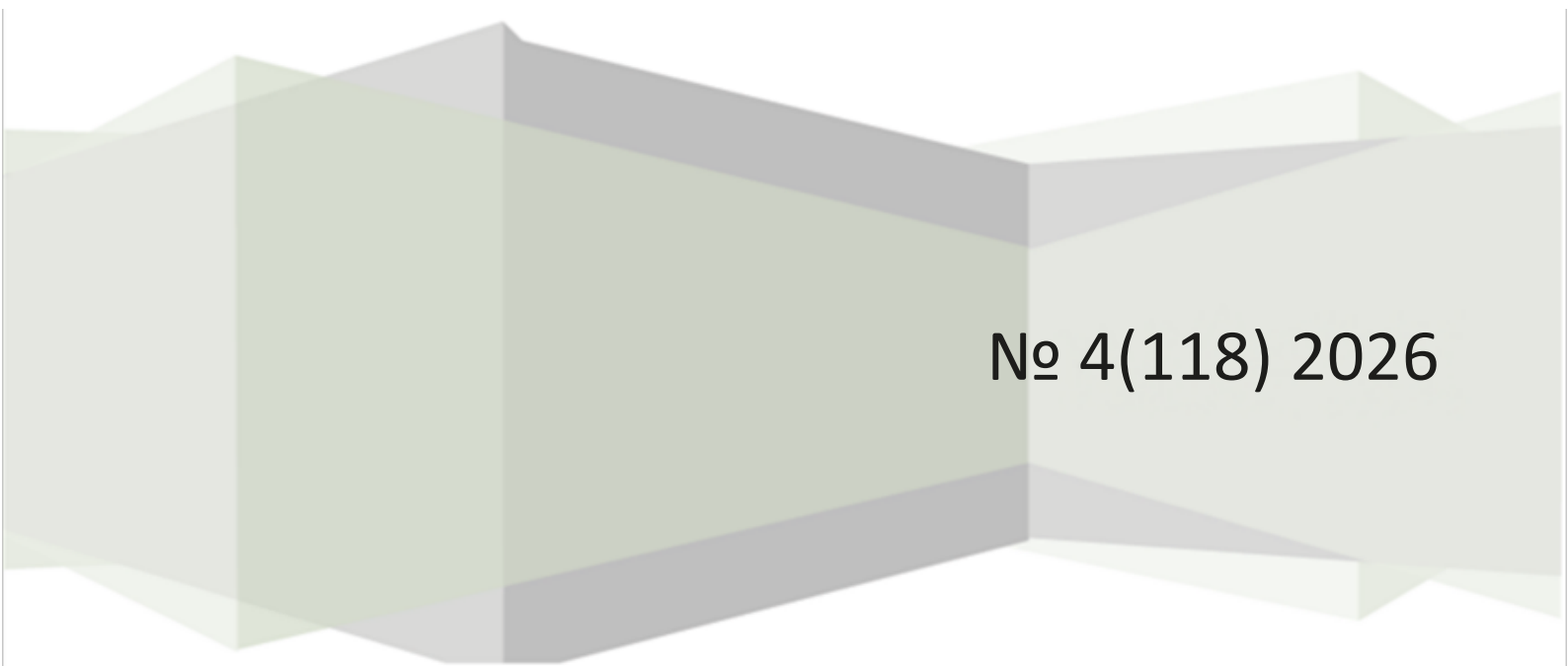


ISSN 1997-9347

Components of Scientific and Technological Progress

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL



№ 4(118) 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 (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

Строительные конструкции, здания и сооружения

- Зубарев К.П., Заварзин Н.Ю., Казунин В.В., Добшиц В.Л.** Исследование теплового режима в ограждающих конструкциях зданий 8

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

- Кирпичева Е.М., Медведева Г.А., Коротихин Д.И.** Энергоэффективность и экономическое обоснование оборудования вентиляции в зданиях общеобразовательных организаций 13
- Фокин В.М., Нестеренко С.В., Федоров В.В., Голуб С.И.** Энергоэффективная система теплоснабжения, паро- и водоснабжения нефтегазоконденсатных месторождений..... 20

Строительные материалы и изделия

- Корольков Г.А., Тимохин Д.К.** Оценка эффективности химических добавок для гипсовых вяжущих 27

Технология и организация строительства

- Калимуллин А.М., Синенко С.А.** Краткий опыт применения технологий искусственного интеллекта в строительной отрасли 34
- Калимуллин А.М., Синенко С.А.** Модель и методика подбора башенного крана для возведения конструкций зданий с использованием технологий искусственного интеллекта и нейросетей 40
- Михайлов С.С., Лучкина В.В.** Аспекты управления проектами при реализации жилых комплексов 47
- Михайлов С.С., Лучкина В.В.** Оценка эффективности применения имитационного моделирования в управлении рисками строительных проектов жилых комплексов 54
- Муря В.А., Пономарев А.Ю.** Автоматизированные технологии контроля качества и повышение надежности конструкций при строительстве портовых сооружений 61
- Сапронов Д.А., Лучкина В.В.** Оптимизация организационно-технологических решений монтажа навесных вентилируемых фасадов при строительстве жилых комплексов..... 70
- Харламов С.К., Лучкина В.В.** Формирование рациональной технологии устройства мембранных кровель на стадии реализации проекта 75

Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Квашина В.В., Насирова А.Р. Анализ несчастных случаев на объектах ремонта и строительства 80

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

Портнова Т.В. Деятельность научно-исследовательского музея им. А.В. Щусева по сохранению памятников древнерусского деревянного зодчества на открытых ландшафтах современной России..... 87

Архитектура зданий и сооружений.**Творческие концепции архитектурной деятельности**

Пономарев Е.С., Хафизов Р.Р., Халиуллин Б.Р. Архитектурная интеграция систем ветрогенерации энергии в планировочно-пространственные решения жилых зданий..... 100

Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов

Шаяхметов А.С., Пономарев Е.С. Принципы создания пластической выразительности городского ландшафта высотной архитектурой 112

Управление жизненным циклом объектов строительства

Демьянчук Е.В., Арепьева Д.С., Гагин А.В., Федоров С.С. Формирование файла сопоставления параметров для экспорта цифровых информационных моделей .. 120

Martynenko V.V., Shcherban E.M. An Adaptive Methodological Approach to the Development and Maintenance of an Information Model of Capital Construction Objects at Lifecycle Stages..... 127

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

Исаков Д.Ф., Поляков Р.Н. Аппаратно-алгоритмическое проектирование системы автономной навигации БПЛА в условиях отсутствия спутниковой навигации..... 136

Терентьев А.С., Дрокин Е.Е., Мальцева В.В., Орешенко Т.Г. Исследование возможности применения пневмомышц для управления экзоскелетными механизмами .. 143

Математические, статистические и инструментальные методы экономики

Зайцева И.В., Захарова Н.И., Захаров В.В., Резеньков Д.Н. Модель размещения объектов с учетом возмущающих факторов 149

Contents

Civil Structures, Buildings and Related Structures

Zubarev K.P., Zavarzin N.Y., Kazunin V.V., Dobshits V.L. Study of Thermal Conditions in Building Envelopes	8
---	---

Heating, Ventilation, Air Conditioning, Gas Supply and Lighting

Kirpicheva E.M., Medvedeva G.A., Korotikhin D.I. Energy Efficiency and Economic Justification of Ventilation Equipment in Buildings of General Educational Organizations	13
Fokin V.M., Nesterenko S.V., Fedorov V.V., Golub S.I. Energy-Efficient System of Heat Supply, Steam and Water Supply of Oil and Gas Condensate Fields.....	20

Building Materials and Products

Korolkov G.A., Timokhin D.K. Evaluating the Efficiency of Chemical Additives for Gypsum Binders	27
--	----

Construction Technology and Management

Kalimullin A.M., Sinenko S.A. A Brief Overview of the Application of Artificial Intelligence Technologies in the Construction Industry.....	34
Kalimullin A.M., Sinenko S.A. A Model and Methodology for Tower Crane Selection for the Installation of Building Structures Using Artificial Intelligence and Neural Networks .	40
Mikhailov S.S., Luchkina V.V. Aspects of Project Management in the Implementation of Residential Complexes	47
Mikhailov S.S., Luchkina V.V. Evaluating the Effectiveness of Simulation Modeling in Risk Management of Residential Construction Projects	54
Murya V.A., Ponomarev A.Yu. Automated Quality Control Technologies and Enhancing the Reliability of Structures During the Construction of Port Facilities	61
Sapronov D.A., Luchkina V.V. Optimization of Organizational and Technological Solutions for the Installation of Ventilated Curtain Wall Facades in Residential Complex Construction	70
Kharlamov S.K., Luchkina V.V. Formation of a Rational Technology for Membrane Roofing Installation at the Project Implementation Stage.....	75

Environmental Safety of Construction and Urban Economy

Kvashina V.V., Nasirova A.R. Accident Analysis at Repair and Construction Sites 80

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

Portnova T.V. Activities of the A.V. Shchusev Research Museum to Preserve Monuments of Old Russian Wooden Architecture in the Open Landscapes of Modern Russia 87

Architecture of Buildings and Structures.***Creative Concepts of Architectural Activity***

Ponomarev E.S., Khafizov R.R., Khaiullin B.R. Architectural Integration of Wind Energy Systems into Residential Environments 100

Urban Planning, Planning of Rural Settlements

Shayakhmetov A.S., Ponomarev E.S. Principles of Creating Plastic Expressiveness of the Urban Landscape by High-Rise Architecture 112

Life Cycle Management of Construction Objects

Demyanchuk E.V., Arepeva D.S., Gagin A.V., Fedorov S.S. Creating a Mapping-File for Exporting Digital Information Models 120

Мартыненко В.В., Щербань Е.М. Адаптивный методологический подход к разработке и сопровождению информационной модели объектов капитального строительства на этапах жизненного цикла 127

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

Isakov D.F., Polyakov R.N. Hardware and Algorithmic Design of an Autonomous Navigation System for UAVs in the Absence of Satellite Navigation 136

Terentiev A.S., Drokin E.E., Maltseva V.V., Oreshchenko T.G. Study of the Possibility of Using Pneumatic Muscles to Control Exoskeleton Mechanisms 143

Mathematical, Statistical and Instrumental Methods of Economics

Zaitseva I.V., Zakharova N.I., Zakharov V.V., Rezenkov D.N. Object Placement Model Taking into Account Disturbing Factors 149

УДК 692.232.2

Исследование теплового режима в ограждающих конструкциях зданий

К.П. Зубарев^{1,2,3}, Н.Ю. Заварзин²,
В.В. Казунин², В.Л. Добшиц²

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет»;

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы»;

³ ФГБУ «Научно-исследовательский институт
строительной физики Российской академии архитектуры
и строительных наук», г. Москва (Россия)

Ключевые слова и фразы: математическое моделирование; ограждающие конструкции; тепловой режим; энергоэффективность.

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ теплового режима ограждающих конструкций зданий. Целью исследования являлось написание литературного обзора. Задачами исследования являлись: рассмотрение элементарных способов теплопередачи и рассмотрение основных уравнений, описывающих теплоперенос в ограждающих конструкциях зданий. Рассмотрены основные процессы теплопередачи, а также факторы, влияющие на этот процесс. Проведен сравнительный анализ различных методов исследования. В заключении сделаны выводы о перспективах рассмотрения темы.

Введение

В условиях возрастающих требований к энергоэффективности зданий и сооружений, а также к обеспечению комфортного микроклимата внутри помещений, исследования теплового режима ограждающих конструкций приобретают особую актуальность, поскольку именно этот фактор оказывает существенное влияние на теплопотери, энергопотребление, долговечность строительных материалов и здоровье находящихся в здании людей. В связи с этим детальный анализ процесса теплопереноса в ограждающих конструкциях с учетом различных климатических условий и эксплуатационных факторов является необходимым условием для разработки эффективных методов проектирования, строительства и эксплуатации зданий, обеспечивающих оптимальный баланс между энергосбережением и комфортом [1–6].

Основы теплопередачи через строительные конструкции

Теплопередача через ограждающие конструкции осуществляется посредством трех

основных механизмов: теплопроводности, конвекции и излучения, каждый из которых играет существенную роль в формировании теплового режима здания. Теплопроводность, определяемая способностью материала передавать тепловую энергию посредством молекулярного взаимодействия, зависит от теплопроводности материала и градиента температуры [5]. Конвекция, обусловленная переносом тепла движущимися потоками жидкости или газа, возникает в воздушных прослойках и на поверхностях ограждающих конструкций, подверженных воздействию ветра. Излучение, представляющее собой перенос тепловой энергии посредством электромагнитных волн, оказывает значительное влияние на теплообмен между ограждающими конструкциями и окружающей средой, особенно в условиях солнечной радиации.

Расчет тепловых потерь через ограждающие конструкции является необходимым этапом проектирования энергоэффективных зданий, позволяющим определить количество тепловой энергии, теряемой зданием через стены, окна, крышу и пол. Для расчета тепловых потерь используются различные методы, основанные на теплотехнических характеристиках материалов, геометрических параметрах конструкций и климатических условиях [1]. Наиболее распространенным методом является расчет с использованием коэффициента теплопередачи, который учитывает теплопроводность материалов, толщину слоев и сопротивление теплопередаче на поверхностях конструкций.

Теплоизоляционные материалы играют ключевую роль в снижении тепловых потерь через ограждающие конструкции, обеспечивая повышение энергоэффективности зданий и снижение затрат на отопление. Подбор теплоизоляционных материалов производится с учетом коэффициента теплопроводности, объемной массы, водостойкости и прочих эксплуатационных параметров. Применение современных теплоизолирующих материалов значительно уменьшает утечку тепла, снижает потребление энергии и поддерживает оптимальный микроклимат в помещениях [3].

Методология исследования теплового режима в ограждающих конструкциях здания

Исследования теплового режима в ограждающих конструкциях зданий охватывают несколько ключевых направлений расчетов.

1. Расчет теплопередачи. Для оценки тепловых потоков через элементы ограждающих конструкций применяются уравнения стационарной и нестационарной теплопроводности. Коэффициент теплопередачи (U -фактор) определяется на основе физических свойств материалов, толщин отдельных слоев и температурных градиентов. Используемые расчеты базируются на принципах законов Фурье (1) и Ньютона-Рихмана (2), позволяющих количественно оценить тепловой поток через строительные элементы за определенный временной интервал [4–6].

Закон Фурье (теплопроводность):

$$q = -\lambda(dT/dx), \quad (1)$$

где q – плотность теплового потока ($\text{Вт}/\text{м}^2$); λ – коэффициент теплопроводности материала ($\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$); dT/dx – градиент температуры ($\text{К}/\text{м}$).

Закон Ньютона-Рихмана (конвективный теплообмен):

$$q = \alpha(T_s - T_f), \quad (2)$$

где q – плотность теплового потока ($\text{Вт}/\text{м}^2$); α – коэффициент теплоотдачи ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$); T_s – температура поверхности (К); T_f – температура окружающей среды (К).

2. Определение сопротивления теплопередаче. Определяются термические сопротивления отдельных слоев конструкции (R -значения), включая утеплители, стены, окна и другие элементы.

Формула общего сопротивления теплопередаче (R):

$$R = \frac{1}{\alpha_B} + \sum \left(\frac{d_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (3)$$

где R – общее термическое сопротивление конструкции ($\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$); α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$); α_H – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$); d_i – толщина i -го слоя материала (м); λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя материала ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$); $\sum(d_i/\lambda_i)$ – сумма термических сопротивлений всех слоев материала.

Суммарная величина сопротивления теплопередаче определяется путем сложения термических сопротивлений всех составляющих слоев конструкции. Такой подход обеспечивает оценку общей термоизоляционной способности ограждающего элемента.

3. Анализ распределения температуры. Проводится расчет температурных полей внутри ограждающих конструкций с учетом граничных условий (температуры окружающей среды и внутреннего пространства) [2]. Используется метод конечных разностей или конечных элементов для численного решения дифференциальных уравнений теплопроводности.

Результаты таких расчетов предоставляют комплексную картину взаимодействия ограждающих конструкций с внешней средой и внутренними помещениями, что является основополагающим этапом при создании высокоэффективных и экологически устойчивых архитектурных проектов.

Заключение

Рассмотрены факторы, влияющие на тепловой режим ограждающих конструкций зданий и сооружений с точки зрения протекающих физических процессов. Рассмотрены основные методы расчета и уравнения, при помощи которых можно решить данную задачу. Данный подход способствует достижению более точных и адекватных результатов, отображающих динамику тепловых характеристик.

Постоянное улучшение аналитических методов посредством интеграции новейших научных достижений и технологических инноваций, наряду с внедрением результатов исследований в нормативную документацию и стандарты, представляют собой ключевые предпосылки для проектирования более энергоэффективных и комфортабельных зданий, соответствующих актуальным критериям устойчивого развития.

Литература

1. Абдулин, А.А. Процессы теплопереноса в неоднородных узлах ограждающих конструкций / А.А. Абдулин, Р.У. Якпунова, А.В. Толстых // Инженерные исследования. – 2023. – №. 3. – С. 13.

2. Добросмыслов, С.С. Влияние воздушной прослойки на температурно-влажностные характеристики наружной ограждающей конструкции при внутреннем утеплении / С.С. Добросмыслов и др. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2021. – Т. 48. – №. 2. – С. 81–91.

3. Селютин, Д.Н. Совершенствование технологии теплоизоляционных работ в гражданском строительстве / Д.Н. Селютин // Инновационные научные исследования 2022. – 2022. – С. 34–36.

4. Семенова, Э.Е. Влияние климатического района строительства на теплотехнические характеристики наружных ограждающих конструкций с учетом энергосбережения / Э.Е. Семенова, А.А. Рыбалко, Ю.А. Черникова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – №. 4(46). – С. 13–19.

5. Уляшева, В.М. Исследования состояния воздушной среды бассейнов / В.М. Уляшева, Ю.В. Иванова, А.Ю. Мартянова // Инженерный вестник Дона. – 2023. – №. 5(101). – С. 361–374.

6. Шуршилин, Е.А. Влияние отказа работы облицовочных панелей на теплотехнические свойства навесных вентилируемых фасадных конструкций / Е.А. Шуршилин, Я.А. Олехнович // Строительство и техногенная безопасность. – 2024. – №. 32(84). – С. 55–62.

References

1. Abdulin, A.A. Protsessy teploperenosa v neodnorodnykh uzlakh ograzhdayushchikh konstruksij / A.A. Abdulin, R.U. YAkpunova, A.V. Tolstykh // Inzhenernye issledovaniya. – 2023. – №. 3. – S. 13.

2. Dobrosmyslov, S.S. Vliyanie vozduшной прослойки na temperaturno-vlazhnostnye kharakteristiki naruzhnoy ograzhdayushchej konstruksii pri vnutrennem uteplenii / S.S. Dobrosmyslov i dr. // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2021. – T. 48. – №. 2. – S. 81–91.

3. Selyutin, D.N. Sovershenstvovanie tekhnologii teploizolyatsionnykh rabot v grazhdanskom stroitelstve / D.N. Selyutin // Innovatsionnye nauchnye issledovaniya 2022. – 2022. – S. 34–36.

4. Semenova, E.E. Vliyanie klimaticheskogo rajona stroitelstva na teplotekhnicheskie kharakteristiki naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksij s uchetom energosberezheniya / E.E. Semenova, A.A. Rybalko, YU.A. CHernikova // Inzhenerno-stroitelnyj vestnik Prikaspiya. – 2023. – №. 4(46). – S. 13–19.

5. Ulyasheva, V.M. Issledovaniya sostoyaniya vozduшной sredy bassejnov / V.M. Ulyasheva, YU.V. Ivanova, A.YU. Martyanova // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2023. – №. 5(101). – S. 361–374.

6. SHurshilin, E.A. Vliyanie otkaza raboty oblitsovochnykh panelej na teplotekhnicheskie svojstva navesnykh ventiliruemykh fasadnykh konstruksij / E.A. SHurshilin, YA.A. Olekhovich // Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost. – 2024. – №. 32(84). – S. 55–62.

Study of Thermal Conditions in Building Envelopes

K.P. Zubarev^{1,2,3}, N.Y. Zavarzin², V.V. Kazunin², V.L. Dobshits²

¹ *National Research Moscow State University of Civil Engineering;*

² *Peoples' Friendship University of Russia;*

³ *Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow (Russia)*

Key words and phrases: thermal regime; enclosing structures; energy efficiency; mathematical modeling.

Abstract. This article presents a comprehensive analysis of the thermal conditions of building envelopes. The purpose of this study was to conduct a literature review. The objectives of the study were to examine basic heat transfer methods and the fundamental equations describing heat transfer in building envelopes. The main heat transfer processes and factors influencing this process are examined. A comparative analysis of various research methods is conducted. The paper concludes with conclusions on the future of this topic.

© К.П. Зубарев, Н.Ю. Заварзин, В.В. Казунин, В.Л. Добшиц, 2026

УДК 697

Энергоэффективность и экономическое обоснование оборудования вентиляции в зданиях общеобразовательных организаций

Е.М. Кирпичева¹, Г.А. Медведева², Д.И. Коротихин²

¹ *ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ»;*

² *ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Казань (Россия)*

Ключевые слова и фразы: конструктивные решения; системы вентиляции; экономия энергии; энергоэффективность.

Аннотация. Статья посвящена комплексному анализу энергоэффективности и экономической целесообразности выбора и применения систем вентиляции в зданиях общеобразовательных организаций. В статье рассматриваются теоретические основы энергоэффективности вентиляционных систем, влияние климатических условий на выбор оптимального оборудования, а также проводится детальное экономическое обоснование различных вариантов, включая оценку капитальных и эксплуатационных затрат, сравнительный анализ методов оценки эффективности.

Цель исследования заключается в разработке и обосновании методов повышения энергоэффективности систем вентиляции в образовательных учреждениях. Задачи исследования: анализ существующих систем вентиляции в зданиях общеобразовательных организаций с целью выявления их энергоэффективности и недостатков и исследование современных технологий и оборудования для вентиляции, обеспечивающих повышенную энергоэффективность. Гипотеза исследования: повышение энергоэффективности систем вентиляции в зданиях общеобразовательных организаций возможно за счет внедрения современных энергоэффективных технологий и оборудования, что позволит снизить эксплуатационные затраты и обеспечить экономическую целесообразность их использования. Методы исследования включают аналитический обзор существующих систем вентиляции и технологий повышения их энергоэффективности и про-

ведение сравнительного анализа альтернативных вариантов оборудования по критериям эффективности и стоимости. Достигнутые результаты: разработаны рекомендации по выбору наиболее энергоэффективного вентиляционного оборудования и выявлены экономически обоснованные решения для модернизации систем вентиляции.

Введение

Современные здания общеобразовательных организаций (**ЗОО**) и детских оздоровительных комплексов (**ДОК**) представляют собой сложные инженерные сооружения, обеспечивающие комфортное и безопасное пребывание детей. Одним из важнейших аспектов функционирования ЗОО является создание и поддержание оптимального микроклимата, что напрямую влияет на здоровье и самочувствие воспитанников. Ключевую роль в обеспечении благоприятных условий играет система вентиляции, задача которой – обеспечить непрерывный приток свежего, очищенного воздуха и эффективный отвод загрязненного. Однако функционирование систем вентиляции сопряжено с значительными энергозатратами, что делает актуальным вопрос их энергоэффективности.

В условиях постоянного роста цен на энергоресурсы и усиления внимания к проблемам экологии снижение энергопотребления становится важнейшей задачей при проектировании и эксплуатации зданий любого назначения и ЗОО не являются исключением. Выбор энергоэффективного оборудования вентиляции позволяет существенно сократить эксплуатационные расходы, снизить экологический след и обеспечить долгосрочную экономическую выгоду [1].

В рамках исследования будут проанализированы различные типы вентиляционных систем, их преимущества и недостатки с точки зрения энергоэффективности. Будет рассмотрен вопрос выбора оптимального оборудования, использование современных энергосберегающих технологий. Кроме того, будет проведено детальное экономическое обоснование выбора оборудования, включающее оценку капитальных и эксплуатационных затрат, срока окупаемости инвестиций и сравнительный анализ различных вариантов с применением современных методов оценки эффективности инвестиций.

Понятие энергоэффективности в контексте вентиляции

Энергоэффективность стала важной темой в современном строительстве и эксплуатации зданий, особенно в учреждениях, где требуется особое внимание к условиям проживания и обучения. В контексте вентиляции зданий, особенно детских оздоровительных комплексов (ДОК), понятие энергоэффективности включает в себя оптимизацию потребления энергии при обеспечении необходимого уровня комфорта и здоровья для детей [2].

Энергоэффективность – это способность системы или оборудования выполнять свои функции с минимальными затратами энергии. В контексте вентиляции это означает возможность обеспечить необходимый воздухообмен и качество воздуха при оптимальных затратах электроэнергии.

Энергоэффективные системы вентиляции позволяют снижать потребление энергии и уменьшать эксплуатационные расходы.

Для достижения энергоэффективности в системах вентиляции применяются несколь-

ко ключевых принципов.

- Рекуперация тепла. Использование теплообменников позволяет извлекать тепло из вытяжного воздуха и передавать его приточному, что значительно снижает затраты на отопление зимой и охлаждение летом.
- Регулирование воздухообмена. Современные системы вентиляции могут автоматически регулировать объем подаваемого воздуха в зависимости от уровня загрязненности или количества людей в помещении. Это позволяет избежать избыточного воздухообмена и, как следствие, снизить энергозатраты.
- Использование высокоэффективных вентиляторов. Применение вентиляторов с высоким КПД позволяет уменьшить потребление электроэнергии без потери производительности.
- Интеграция с другими системами. Энергоэффективные системы вентиляции могут быть интегрированы с системами отопления, кондиционирования и автоматизации зданий, что позволяет оптимизировать общую работу всех систем.

Экономическое обоснование энергоэффективности

Инвестиции в энергоэффективные технологии вентиляции могут требовать значительных первоначальных затрат, однако они быстро окупаются за счет снижения эксплуатационных расходов [3]:

- 1) снижение затрат на электроэнергию: энергоэффективные системы позволяют сократить потребление электроэнергии на 30–50 %, что существенно снижает ежемесячные счета за электричество;
- 2) увеличение срока службы оборудования: правильно спроектированные и установленные системы вентиляции имеют меньшую нагрузку и работают более эффективно, что увеличивает срок их службы и уменьшает необходимость в ремонте или замене.

Энергоэффективные системы вентиляции способствуют снижению углеродного следа зданий за счет уменьшения потребления энергии, что, в свою очередь, снижает выбросы парниковых газов. Использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели для питания вентиляционных систем, также способствует устойчивому развитию и охране окружающей среды [4].

Экономические аспекты внедрения энергоэффективных решений

Необходимо рассмотреть экономическое обоснование выбора энергоэффективных систем вентиляции для детского оздоровительного комплекса (ДОК), учитывая капитальные и операционные затраты, методы расчета экономической эффективности и сравнение традиционных и энергоэффективных решений [5].

1. Оценка затрат на проектирование и эксплуатацию вентиляционных систем.

а) Капитальные затраты – это разовые затраты, связанные с первоначальным внедрением системы.

б) Проектирование: работы по теплотехническому, аэродинамическому и гидравлическому расчету, разработка чертежей и спецификаций оборудования и воздуховодов, а также работы по согласованию проекта с надзорными органами.

в) Закупка оборудования: вентиляторы (с учетом их мощности, КПД и типа – осевые, центробежные), воздуховоды (с учетом материала, диаметра и длины), теплообменники (пластинчатые, ротационные, с учетом эффективности рекуперации), фильтры (различ-

ных классов очистки – грубой, тонкой, *HEPA*), звукоглушители, датчики, автоматика и система управления (включая программируемые логические контроллеры (*ПЛК*), датчики температуры, влажности, давления), клапаны и другие компоненты. Энергоэффективные системы (например, с рекуперацией тепла), как правило, имеют более высокую начальную стоимость.

г) Монтажные работы: работы по установке оборудования, прокладке воздуховодов, подключение к инженерным сетям (электроснабжение, отопление), герметизации соединений и проведение испытаний на герметичность. Сложность монтажа зависит от архитектуры здания и сложности системы вентиляции.

д) Пуско-наладочные работы: проверка работы всего оборудования, наладка системы автоматики и управления, проведение тестовых запусков и настройка параметров работы системы в соответствии с требованиями проекта.

2. Операционные расходы – это постоянные затраты на эксплуатацию системы в течение всего срока службы.

а) Потребление электроэнергии: затраты на электроэнергию для работы вентиляторов, нагревателей, системы автоматики. Значительная часть эксплуатационных расходов приходится именно на этот пункт. Энергоэффективные системы значительно снижают эти затраты.

б) Потребление теплоносителя (при необходимости): затраты на подогрев приточного воздуха в зимний период. Системы с рекуперацией тепла значительно снижают эти затраты.

в) Замена фильтров: периодическая замена воздушных фильтров (с учетом их класса и режима эксплуатации).

г) Техническое обслуживание и ремонт: регулярное техническое обслуживание (профилактические работы, чистка воздуховодов) и ремонт оборудования (в случае неисправностей). Стоимость зависит от типа и сложности системы.

Для сравнения затрат на традиционные и энергоэффективные системы необходимо рассчитать все затраты для нескольких вариантов систем вентиляции: традиционной и нескольких энергоэффективных (например, с рекуперацией тепла, с частотным регулированием вентиляторов). Следует учитывать разницу в начальных инвестициях: энергоэффективные системы часто имеют более высокую начальную стоимость; экономию на эксплуатационных расходах: энергоэффективные системы значительно снижают затраты на электроэнергию и теплоноситель; срок службы оборудования; стоимость обслуживания: энергоэффективные системы могут требовать более частого обслуживания (например, очистки теплообменников), что необходимо учитывать в расчетах.

Рекомендации по организации вентиляции в ЗОО и ДОЗ

Организация эффективной вентиляции в детских оздоровительных комплексах (ДОК) играет ключевую роль в обеспечении комфортной и безопасной среды для детей. Правильная вентиляция не только поддерживает оптимальные климатические условия, но и способствует улучшению здоровья и благополучия детей.

Перед проектированием вентиляционной системы необходимо провести оценку потребностей в воздухе для различных зон комплекса. Это включает анализ количества детей, их активности, а также специфики использования помещений (учебные классы, игровые зоны, медицинские кабинеты). На основе этих данных можно определить необходимый объем приточного и вытяжного воздуха.

Современные технологии позволяют автоматизировать управление вентиляционными системами. Установка датчиков CO₂, температуры и влажности поможет автоматически регулировать работу системы в зависимости от текущих условий. Это не только повышает комфорт, но и снижает энергозатраты.

При выборе оборудования для вентиляции рекомендуется отдавать предпочтение устройствам с высоким классом энергоэффективности (например, с маркировкой A++). Это касается как вентиляторов, так и рекуператоров тепла.

Правильная изоляция воздуховодов и герметизация соединений помогут снизить потери энергии и избежать утечек воздуха. Это особенно важно для длинных участков воздуховодов, где потери могут быть значительными.

Важно рассчитать срок окупаемости инвестиций в энергоэффективные системы вентиляции. Учет снижения расходов на отопление и кондиционирование воздуха может существенно повысить экономическую привлекательность проекта.

Следуя представленным рекомендациям, можно создать безопасную и здоровую атмосферу для детей, что является основной целью любого детского оздоровительного учреждения.

Заключение

Исследование теоретических основ энергоэффективности вентиляционных систем подтвердило важность применения современных технологий и оборудования для снижения энергопотребления. Ключевыми факторами энергоэффективности являются высокий КПД вентиляторов, эффективная рекуперация тепла, герметичность воздуховодов, а также применение интеллектуальных систем управления вентиляцией. Выбор оптимального типа системы (приточно-вытяжная, с рекуперацией тепла и т.д.) непосредственно зависит от климатических условий региона расположения ЗОО и ДОК. В холодном климате применение систем с рекуперацией тепла является особенно актуальным, поскольку позволяет значительно снизить затраты на подогрев приточного воздуха.

В результате проведенного исследования были сформулированы рекомендации по выбору энергоэффективного оборудования вентиляции для здания ДОК. Эти рекомендации включают в себя не только технические параметры системы, но и экономическое обоснование выбранного решения. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и строительстве новых ДОК, а также при реконструкции существующих объектов с целью повышения их энергоэффективности. Важно подчеркнуть, что применение энергоэффективных решений в ДОК способствует не только снижению эксплуатационных расходов, но и созданию более комфортных и здоровых условий для детей, что является основной целью функционирования этих учреждений. Дальнейшие исследования могут быть направлены на более глубокий анализ влияния различных факторов на энергоэффективность вентиляционных систем и разработку еще более оптимальных решений для зданий ДОК с учетом индивидуальных особенностей каждого конкретного объекта.

Литература

1. Кокорин, О.Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования : научное издание / О.Я. Кокорин. – М. : АСВ, 2013. – 256 с.
2. Пилипенко, Н.В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей : учебное пособие / Н.В. Пилипенко, И.А. Сиваков. – СПб. :

НИУ ИТМО, 2013. – 274 с.

3. Яншина, Э.Р. Пути повышения энергоэффективности систем вентиляции / Э.Р. Яншина, А.А. Брацук // Молодой ученый. – 2016. – № 10(114). – С. 333–337.

4. Капсудина, А.Ю. Исследование эффективности использования энергии системами вентиляции и кондиционирования воздуха с помощью эксергетических показателей / А.Ю. Капсудина // Молодой ученый. – 2018. – № 3. – С. 49–52.

5. Кирпичева, Е.М. Инновационные подходы к созданию систем отопления в спортивных комплексах / Е.М. Кирпичева, Г.А. Медведева // Components of Scientific and Technological Progress. – 2026. – № 1(115). – С. 18–24.

References

1. Kokorin, O.YA. Energoberezhenie v sistemakh otopleniya, ventilyatsii, konditsionirovaniya : nauchnoe izdanie / O.YA. Kokorin. – M. : ASV, 2013. – 256 s.

2. Pilipenko, N.V. Energoberezhenie i povyshenie energeticheskoy effektivnosti inzhenernykh sistem i setej : uchebnoe posobie / N.V. Pilipenko, I.A. Sivakov. – SPb. : NIU ITMO, 2013. – 274 s.

3. YAnshina, E.R. Puti povysheniya energoeffektivnosti sistem ventilyatsii / E.R. YAnshina, A.A. Bratsuk // Molodoj uchenyj. – 2016. – № 10(114). – S. 333–337.

4. Kapsudina, A.YU. Issledovanie effektivnosti ispolzovaniya energii sistemami ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha s pomoshchyu eksergeticheskikh pokazatelej / A.YU. Kapsudina // Molodoj uchenyj. – 2018. – № 3. – S. 49–52.

5. Kirpicheva, E.M. Innovatsionnye podkhody k sozdaniyu sistem otopleniya v sportivnykh kompleksakh / E.M. Kirpicheva, G.A. Medvedeva // Components of Scientific and Technological Progress. – 2026. – № 1(115). – S. 18–24.

Energy Efficiency and Economic Justification of Ventilation Equipment in Buildings of General Educational Organizations

E.M. Kirpicheva¹, G.A. Medvedeva², D.I. Korotikhin²

¹ *Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI;*

² *Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan (Russia)*

Key words and phrases: optimization; heat exchangers; design solutions; energy savings; heating systems.

Abstract. This article provides a comprehensive analysis of the energy efficiency and economic feasibility of selecting and using ventilation systems in general education institution buildings. It examines the theoretical foundations of ventilation system energy efficiency, the influence of climatic conditions on the selection of optimal equipment, and provides a detailed economic justification for various options, including an assessment of capital and operating costs and a comparative analysis of performance evaluation methods.

The goal of the study is to develop and validate methods for improving the energy efficiency of ventilation systems in educational institutions. The objectives of the study include analyzing existing ventilation systems in general education institution buildings to identify their energy

efficiency and shortcomings and researching modern ventilation technologies and equipment that provide increased energy efficiency. The study hypothesis assumes that: improving the energy efficiency of ventilation systems in general education institution buildings is possible through the implementation of modern energy-efficient technologies and equipment, which will reduce operating costs and ensure the economic feasibility of their use. The research methods include an analytical review of existing ventilation systems and technologies for improving their energy efficiency and a comparative analysis of alternative equipment options based on efficiency and cost criteria. Results achieved: recommendations for selecting the most energy-efficient ventilation equipment were developed and economically viable solutions for upgrading ventilation systems were identified.

© Е.М. Кирпичева, Г.А. Медведева, Д.И. Коротихин, 2026

УДК 620.91:697.4

Энергоэффективная система теплоснабжения, паро и водоснабжения нефтегазоконденсатных месторождений

В.М. Фокин¹, С.В. Нестеренко², В.В. Федоров²,
С.И. Голуб²

¹ ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет»;

² ООО «Волгограднефтепроект»,
г. Волгоград (Россия)

Ключевые слова и фразы: водоснабжение; нефтегазоконденсатное месторождение; пароснабжение; теплоснабжение.

Аннотация. В статье рассматривается работа схемы многоконтурной системы теплоснабжения. Целью статьи является разработка принципиальной схемы многоконтурной системы теплоснабжения, паро и водоснабжения на объектах морских нефтегазоконденсатных месторождений. Задача – повысить энергоэффективность сооружений на объектах морских нефтегазоконденсатных месторождений. Гипотеза: возможность одновременного использования в системе теплоснабжения, паро и водоснабжения объектов морских нефтегазоконденсатных сооружений паровых теплогенерирующих установок, пяти контуров циркуляции, незамерзающего флюида в системе теплоснабжения и теплового насоса. Метод исследования: обобщение существующих систем теплоснабжения, пароснабжения и водоснабжения на объектах нефтегазоконденсатных месторождений. Достигнутые результаты: разработаны новые, перспективные и энергоэффективные схемы и решения системы теплоснабжения, паро и водоснабжения на объектах морских нефтегазоконденсатных месторождений.

Авторами статьи разработана энергоэффективная многофункциональная теплоэнергетическая система теплоснабжения, паро- и водоснабжения объектов нефтегазоконденсатных месторождений, предназначенная для повышения энергетической эффективности и расширения технологических возможностей существующих систем теплоснабжения.

Многоконтурная система теплоснабжения, паро- и водоснабжения объектов нефтегазоконденсатных месторождений позволяет повысить эффективность работы на нефтегазоконденсатном месторождении (НГКМ) за счет использования одновременно действующих добывающих нефтегазоконденсатных скважин (ДС) и артезианской скважины

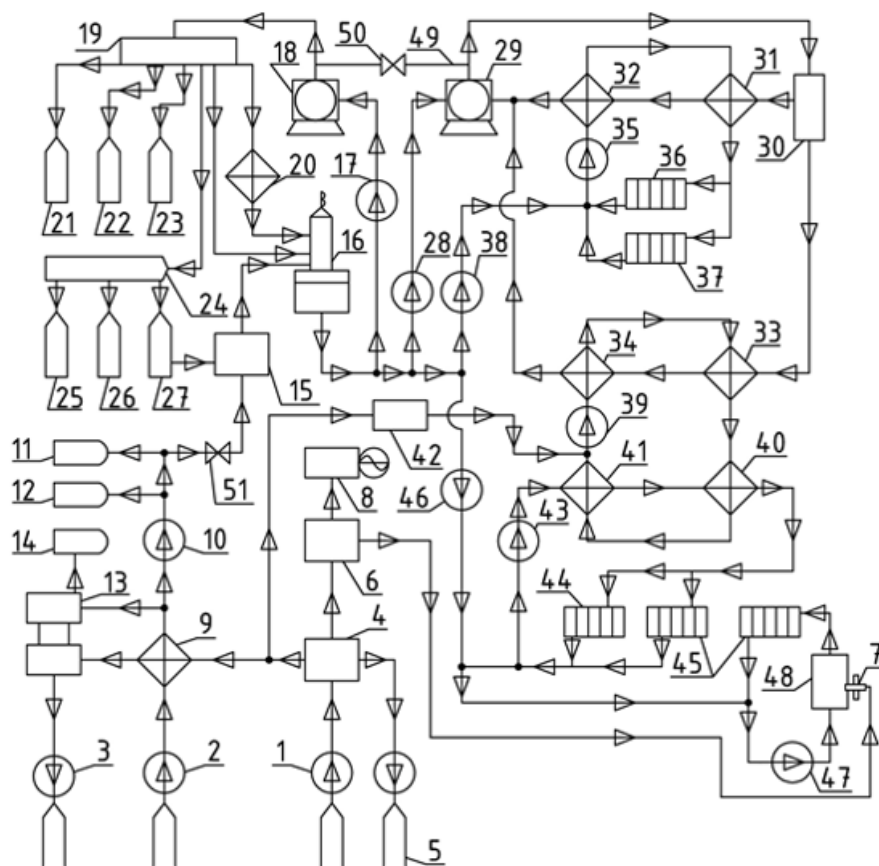


Рис. 1. Принципиальная схема системы теплоснабжения, паро- и водоснабжения нефтегазоконденсатных месторождений

(АС), а также за счет одновременного использования системы теплоснабжения, паро- и водоснабжения для технологического оборудования, включающей в себя паровые теплогенерирующие установки, пять контуров циркуляции, незамерзающий флюид в системе теплоснабжения, тепловой насос, использующий флюид как энергию низкого потенциала, и другие энергоэффективные схемы и решения.

Приведенные решения за счет расширения технологических возможностей, являются перспективными для повышения энергетической эффективности теплоэнергетической системы паро- и теплоснабжения на нефтегазоконденсатных месторождениях, в особенности на морских платформах.

На рис. 1 приведена принципиальная схема энергоэффективной multifunctional теплоэнергетической системы теплоснабжения, паро- и водоснабжения объектов нефтегазоконденсатных месторождений: 1 – действующая нефтегазоконденсатная добывающая скважина (ДС); 2 – артезианская скважина (АС); 3 – поглощающая скважина (ПС); 4 – установка сепарации флюида нефтегазоконденсатной скважины (сепаратор); 5 – цистерна сепарированного топлива (нефтехранилище); 6 – газоаккумулирующее устройство (газгольдер); 7 – газовая горелка; 8 – дизель-генератор для выработки тока; 9 – теплообменник для нагрева холодной воды из артезианской скважины 2 и одновременного охлаждения раствора флюида после сепаратора 4; 10 – циркуляционный насос для закачки артезианской питьевой воды в цистерны (11 и 12); 11 – цистерны для нужд холодной платформой; 12 – цистерны для нужд жилого модуля; 13 – тепловой насос для

получения нагретой артезианской воды; 14 – цистерны нагретой артезианской воды; 15 – установка (**ХВО**) умягчения воды; 16 – атмосферный деаэратор; 17 – питательный насос; 18 – паровая теплогенерирующая установка (**ТГУ 1**); 19 – паровой коллектор первого контура циркуляции; 20 – паровые подогреватели (теплообменники); 21 – буровое технологическое оборудование холодостойкой свайной платформы (**ХСП**); 22 – тепловая установка подготовки топливного газа; 23 – система подачи пара для удаления льда и снега; 24 – паровая дистилляционная опреснительная установка; 25 – цистерны холодостойкой платформы; 26 – цистерны платформы жилого модуля; 27 – цистерны пресной технической воды для паровых теплогенерирующих установок; 28 – питательный насос для паровой теплогенерирующей установки (**ТГУ 2**); 29 – паровая теплогенерирующая установка (**ТГУ 2**); 30 – паровой коллектор второго контура циркуляции; 31 и 32 – паровые подогреватели (теплообменники) третьего контура циркуляции; 33 и 34 – паровые подогреватели (теплообменники) второго контура циркуляции; 35 – циркуляционный насос третьего контура циркуляции сетевой воды; 36 – потребители теплоты на отопление, вентиляцию, кондиционирование воздуха; 37 – теплообменник для нагрева холодной воды на горячее водоснабжение холодостойкой свайной платформы (**ХСП**); 38 – подпиточный насос для подпитки теплосети третьего контура циркуляции; 39 – циркуляционный насос четвертого контура циркуляции флюидной системы теплоснабжения; 41 и 40 – теплообменники для нагрева флюидом обратной сетевой воды системы теплоснабжения пятого контура; 42 – устройство для подготовки и подпитки флюидной системы теплоснабжения четвертого контура; 43 – циркуляционный насос пятого контура циркуляции; 44 – потребители теплоты платформы жилого модуля (**ПЖМ**) на нужды отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха; 45 – потребители теплоты на горячее водоснабжение; 46 – подпиточный насос для подпитки теплосети пятого контура циркуляции; 47 – циркуляционный насос для газового котла; 48 – газовый котел встроенный в систему теплоснабжения пятого контура циркуляции; 49 – перемычка между паровыми теплогенерирующими установками 18 (**ТГУ 1**) и 29 (**ТГУ 2**); 50 и 51 – регулирующие вентили.

Многоконтурная теплоэнергетическая система теплоснабжения, паро- и водоснабжения работает следующим образом. Пластовая жидкость – флюид – из действующей нефтегазоконденсатной добывающей скважины 1 поступает на установку сепарации флюида (сепаратор) 4, где происходит разделение пластовой жидкости на раствор флюида, топливный газ и нефтепродукты. Нефтепродукты отводятся в цистерну сепарированного топлива (нефтехранилище) 5. Топливный газ поступает в газоаккумулирующее устройство (газгольдер) 6, откуда отводится в газовую горелку 7 для газового котла 47 и в дизель-генератор 8 для выработки тока. Раствор флюида из сепаратора 4 разделяется на два потока: малая часть поступает на устройство 42 для подготовки и подпитки флюидной системы теплоснабжения четвертого контура циркуляции, а большая часть раствора флюида поступает в теплообменник 9 для нагрева холодной воды из артезианской скважины 2. После теплообменника 9 охлажденный раствор флюида используется в тепловом насосе 13 как источник низкого потенциала, а после отработки из теплового насоса раствор флюида дожимным насосом закачивается в поглощающую скважину 3.

Пластовая вода погружным насосом из артезианской скважины 2 по трубопроводу подается в теплообменник 9, где вода нагревается раствором флюида, поступающего из сепаратора 4. После теплообменника 9 артезианская питьевая вода циркуляционным насосом 10 закачивается в цистерны 11 для нужд холодостойкой платформы и цистерны 12 для нужд жилого модуля. Часть артезианской питьевой воды поступает в тепловой насос 13, откуда нагретая артезианская вода закачивается в цистерны 14 для бытовых нужд и

горячего водоснабжения для холодостойкой свайной платформы в летнем режиме эксплуатации. Часть артезианской воды, по необходимости и при открытом вентиле 51, может использоваться для умягчения воды в системе химводоочистки 15. Далее умягченная вода подается в колонку атмосферного деаэратора 16 для дегазации воды, после чего из бака деаэратора 16 питательным насосом 17 питательная вода нагнетается в паровую теплогенерирующую установку 18 (ТГУ 1) первого контура циркуляции для выработки пара.

Первый контур циркуляции. Сухой насыщенный пар из парогенератора 18 поступает в паровой коллектор 19 первого контура циркуляции, откуда распределяется по паропроводам:

- в колонку и бак атмосферного деаэратора 16 для деаэрации воды;
- в паровые подогреватели (теплообменники) 20 на нагрев пресной технической воды, используемой для тепловых завес и обслуживания рабочих зон на открытых и полукрытых пространствах бурового модуля, верхнего строения платформы, газлифтного манифольда, емкости и цистерны различного назначения; конденсат от паровых теплообменников возвращается в бак деаэратор;
- к буровому технологическому оборудованию холодостойкой свайной платформы (ХСП), цистернам, емкостям, участкам трубопроводов различного назначения с целью очистки паром 21;
- в тепловую установку подготовки топливного газа 22, а полученный газ используется в теплогенерирующих паровых установках 18 (ТГУ 1) и 29 (ТГУ 2);
- в систему эпизодической подачи пара 23 для удаления льда и снега с настила путей перемещения или эвакуации персонала на открытых пространствах и переходной галерее в зимнее время эксплуатации;
- в паровую дистилляционную опреснительную установку 24 для получения пресной бытовой воды питьевого качества и последующей закачки в цистерны холодостойкой платформы 25, платформы жилого модуля 26 и цистерны пресной технической воды 27, откуда используется для умягчения воды в системе химводоочистки 15 при закрытом вентиле 51;
- все системы пароснабжения первого контура циркуляции работают по однотрубной разветвленной схеме без возврата конденсата.

Второй контур циркуляции. Из бака деаэратора 16 часть питательной воды питательным насосом 28 нагнетается в паровую теплогенерирующую установку 29 (ТГУ 2) второго контура циркуляции для выработки пара. Сухой насыщенный пар из парогенератора 29 поступает в паровой коллектор 30 второго контура циркуляции, откуда распределяется по паропроводам:

- в паровые подогреватели (теплообменники) 31 и 32 для нагрева сетевой воды третьего контура циркуляции с последующим возвратом конденсата от теплообменников в паровую теплогенерирующую установку 29 (ТГУ 2);
- в паровые подогреватели (теплообменники) 33 и 34 для нагрева незамерзающего теплоносителя флюидной системы теплоснабжения четвертого контура циркуляции с последующим возвратом конденсата от теплообменников в паровую теплогенерирующую установку 29 (ТГУ 2).

Третий контур циркуляции сетевой воды представляет собой замкнутую систему централизованного теплоснабжения, где пресная техническая вода обратной системы теплоснабжения циркуляционным насосом 35 нагнетается в паровые подогреватели (теплообменники) 32 и 31, где нагревается паром второго циркуляционного контура. Нагретая сетевая вода после теплообменников 32 и 31 централизованно подается к потребителям

теплоты холодостойкой свайной платформы (ХСП) на отопление, вентиляцию, кондиционирование воздуха 36 и в теплообменник 37 для нагрева холодной воды на горячее водоснабжение холодостойкой свайной платформы (ХСП). Подпитка системы теплоснабжения третьего контура циркуляции производится из питательного бака деаэратора 16 подпиточным насосом 38 в обратную магистраль теплосети.

Четвертый контур циркуляции представляет собой систему трубопроводов флюидного теплоснабжения с незамерзающим теплоносителем, проложенными по переходной галерее (ПГ) для доставки теплоносителя от холодостойкой свайной платформы (ХСП) до теплообменников платформы жилого модуля (ПЖМ). Флюид нагнетательным насосом 39 подается в паро-водяные теплообменники второго контура циркуляции 34 и 33, откуда нагретый флюид поступает в теплообменники жилого модуля 40 и 41, а охлажденный флюид возвращается по обратной магистрали переходной галереи в теплообменники 34 и 33 для последующего нагрева флюида и подачи его в систему флюидного теплоснабжения. Подпитка системы четвертого контура производится из устройства 42 для подготовки и подпитки флюидной системы теплоснабжения, проложенной по переходной галерее.

Пятый контур циркуляции с трубопроводами и теплообменниками, расположенными на платформе жилого модуля (ПЖМ), представляет замкнутую систему централизованного теплоснабжения, где пресная техническая вода циркуляционным насосом 43 нагнетается в теплообменники 41 и 40 системы теплоснабжения, где нагревается от незамерзающего флюида системы теплоснабжения четвертого контура. Нагретая вода централизованно подается к потребителям теплоты жилого модуля на нужды отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха 44 и горячего водоснабжения 45. Подпитка системы теплоснабжения пятого контура производится из питательного бака деаэратора 16 подпиточным насосом 46 в обратную магистраль теплосети.

Следует отметить, что потребление теплоты для систем теплоснабжения на нужды отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха на холодостойкой свайной платформе (ХСП) и платформе жилого модуля (ПЖМ) имеют сезонный зимний режим эксплуатации. Поэтому паровая теплогенерирующая установка 29 второго контура циркуляции и соответственно система теплоснабжения третьего контура, система флюидного теплоснабжения четвертого контура циркуляции, а также система теплоснабжения пятого контура циркуляции в летнем режиме не эксплуатируются. В летнем режиме нагрев воды на горячее водоснабжение жилого модуля (ПЖМ) проводится газовым котлом 48 (ГК) с использованием циркуляционного насоса 47, встроенного в пятый контур циркуляции системы теплоснабжения; система горячего водоснабжения на холодостойкой свайной платформе (ХСП) в летний период обеспечивается из цистерн горячей воды 14, полученной тепловым насосом.

Следует также отметить, что перемычка 49 с регулирующим вентилем 50 между паровыми теплогенерирующими установками 18 и 29 обеспечивает надежный круглогодичный и безопасный режим работы всех теплоэнергетических систем теплоснабжения на нефтегазоконденсатном месторождении. В случае установки вместо парового котла 29 водогрейного теплогенератора (во втором контуре циркуляции) потребуются сложное и дорогостоящее оборудование, трудно эксплуатируемое при низких отрицательных температурах наружного воздуха, а также потребует установки дополнительного оборудования, такого как:

- отдельный вакуумный деаэратор с эжектором, баком и циркуляционным насосом; в предлагаемой блок-схеме достаточно одного атмосферного деаэратора;
- линия рециркуляции с дорогим рециркуляционным насосом и подмешивающей пе-

ремычкой для обеспечения надежной работы водогрейного теплогенератора;

– при работе на жидком топливе теплогенерирующих установок, которое возможно использовать на нефтегазоконденсатном месторождении, требуется обеспечение высоких и необоснованных параметров работы водогрейного теплогенератора с температурой теплоносителя на выходе и входе 150/110 °С, что повышает температуру уходящих топочных газов и соответственно снижает КПД водогрейного котла, увеличивает расход топлива и повышает энтропию атмосферы.

Вопросами разработки схем системы теплоснабжения, пароснабжения и водоснабжения занимались следующие авторы [1–7].

Энергоэффективная многофункциональная теплоэнергетическая система теплоснабжения, паро и водоснабжения позволяет повысить эффективность работы нефтегазоконденсатных месторождений (НГКМ) за счет использования одновременно действующих добывающих нефтегазоконденсатных скважин (ДС) и артезианской скважины (АС).

Многофункциональная гибридная теплоэнергетическая система теплоснабжения, паро и водоснабжения позволяет повысить эффективность работы различного технологического оборудования, включающая в себя паровые теплогенерирующие установки, пять контуров циркуляции, незамерзающий флюид в системе теплоснабжения, тепловой насос, использующий флюид как энергию низкого потенциала, и другие энергоэффективные схемы и решения.

Литература

1. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / [сост. : П.П. Безруких и др.] ; под ред. П.П. Безруких. – М. : Энергия, 2007. – 272 с.
2. Безруких, П.П. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии / П.П. Безруких, Д.С. Стребков ; под ред. Д.С. Стребкова ; Рос. акад. с.-х. наук, Гос. науч. учреждение Всерос. науч.-исслед. ин-т электрификации сел. хоз-ва (ГНУ ВИЭСХ). – М. : ГНУ ВИЭСХ (Тип. Россельхозакадемии), 2005. – 263 с.
3. Лобков, А.М. Сбор и обработка нефти и газа на промысле / А.М. Лобков. – М. : Недра, 1968. – 284 с.
4. Фокин, В.М. Геотермальные устройства в системах теплоснабжения : монография / В.М. Фокин, Е.В. Бодрова. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. – 100 с.
5. 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.
6. Будикин, А.Е. Технические решения по устройству систем отопления и основные эксплуатационные проблемы в малоэтажных жилых зданиях в Арктической полосе Республики Саха (Якутия) / А.Е. Будикин, Е.Г. Слободчиков // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 12(90). – С. 14–18.
7. Иванов, В.Н. Влияние параметров климата на эксплуатацию систем теплообеспечения зданий / В.Н. Иванов, А.Н. Колодезникова // Перспективы науки. – 2021. – № 11(146). – С. 90–93.

References

1. Spravochnik po resursam vozobnovlyaemykh istochnikov energii Rossii i mestnym vidam

топлива (показатели по территориям) / [сост. : P.P. Bezrukikh i dr.] ; pod red. P.P. Bezrukikh. – M. : Energiya, 2007. – 272 s.

2. Bezrukikh, P.P. Vozobnovlyаемая энергетика: strategiya, resursy, tekhnologii / P.P. Bezrukikh, D.S. Strebkov ; pod red. D.S. Strebkova ; Ros. akad. s.-kh. nauk, Gos. nauch. uchrezhdenie Vseros. nauch.-issled. in-t elektrifikatsii sel. khoz-va (GNU VIESKH). – M. : GNU VIESKH (Tip. Rosselkhozakademii), 2005. – 263 s.

3. Lobkov, A.M. Sbor i obrabotka nefi i gaza na promysle / A.M. Lobkov. – M. : Nedra, 1968. – 284 s.

4. Fokin, V.M. Geotermalnye ustrojstva v sistemakh teplosnabzheniya : monografiya / V.M. Fokin, E.V. Bodrova. – Volgograd : VolgGASU, 2011. – 100 s.

5. 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.

6. Budikin, A.E. Tekhnicheskie resheniya po ustroystvu sistem otopeniya i osnovnye ekspluatatsionnye problemy v maloetazhnykh zhilykh zdaniyakh v Arkticheskoy polose Respubliki Sakha (Yakutiya) / A.E. Budikin, E.G. Slobodchikov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 12(90). – S. 14–18.

7. Ivanov, V.N. Vliyaniye parametrov klimata na ekspluatatsiyu sistem teploobespecheniya zdaniy / V.N. Ivanov, A.N. Kolodeznikova // Perspektivy nauki. – 2021. – № 11(146). – S. 90–93.

Energy-Efficient System of Heat Supply, Steam and Water Supply of Oil and Gas Condensate Fields

V.M. Fokin¹, S.V. Nesterenko², V.V. Fedorov², S.I. Golub²

¹ *Volgograd State Technical University;*

² *Volgogradnefteproekt LLC,
Volgograd (Russia)*

Key words and phrases: heat supply; steam supply; water supply; oil and gas condensate field.

Abstract. The article discusses the operation of a multi-circuit heating supply system. The purpose of the article is to develop a schematic diagram of a multi-circuit heating, steam and water supply system at offshore oil and gas condensate fields. The objectives are to increase the energy efficiency of facilities at offshore oil and gas condensate fields. The hypothesis of the study is the possibility of simultaneous use of steam heat generating units, five circulation circuits, non-freezing fluid in the heat supply system and a heat pump in the heat supply system, steam and water supply facilities of offshore oil and gas condensate facilities. The research method is a generalization of existing heat supply, steam supply and water supply systems at oil and gas condensate fields. The results achieved are the development of new, promising and energy — efficient schemes and solutions for heat supply, steam and water supply systems at offshore oil and gas condensate fields.

© В.М. Фокин, С.В. Нестеренко, В.В. Федоров, С.И. Голуб, 2026

УДК 691.533

Оценка эффективности химических добавок для гипсовых вяжущих

Г.А. Корольков, Д.К. Тимохин

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
г. Саратов (Россия)

Ключевые слова и фразы: водогипсовое соотношение; гипсовое вяжущее; нормальная густота; прочность; сроки схватывания; строительный гипс; суперпластификатор.

Аннотация. В настоящее время весьма актуальны вопросы импортозамещения химических добавок в рецептурах гипсовых строительных композиций. Целью исследования является анализ влияния химических добавок различного рода на свойства гипсовых вяжущих и оценка свойств гипсовых композиций с суперпластифицирующей добавкой КРАТАСОЛ FC российского производителя химической продукции АО «Пигмент», представляющей собой модифицированный поликарбоксилатный сополимер в форме порошка. Для достижения поставленной цели решались задачи по определению показателей подвижности и сроков схватывания гипсового теста, водогипсового соотношения, прочностных характеристик гипсовых композитов при различной дозировке указанной добавки. В исследованиях использовался строительный гипс марки Г-5 Б II. Результаты исследования практического характера показали, что введение добавки КРАТАСОЛ FC в гипсовое вяжущее при относительно небольших дозировках (0,05–0,3 % по массе вяжущего) приводит к значительному снижению водогипсового соотношения с приростом прочности композитов порядка 70 %.

Гипсовые вяжущие и изделия на их основе издавна и широко используются в строительной индустрии. Можно выделить следующие факторы, обуславливающие целесообразность и эффективность их применения, рассматривая с позиции современного развития строительной промышленности, для которой характерна тенденция роста экологически безопасных и высокоэкономичных изделий, вовлечения вторичного сырья и различных промышленных отходов в технологический процесс получения [1]:

— нетоксичность гипсового вяжущего по химическому составу, при переработке которого не выделяется углекислый газ в окружающую среду;

- распространенность гипсового сырья как природного, так и техногенного;
- относительно низкая энергоемкость получения как гипсового вяжущего, так и материалов на его основе;
- относительно низкие удельные капиталовложения и металлоемкость оборудования гипсовых предприятий.

Однако изделиям на основе строительного гипса присуща низкая водостойкость, которая обусловлена с одной стороны высокой растворимостью двугидрата сульфата кальция, с другой стороны высокой проницаемостью кристаллической структуры и расклинивающим действием молекул воды при проникании в межкристаллические полости. В связи с чем, их, как правило, применяют только внутри зданий с относительной влажностью не более 60–70 %.

Гипсовые вяжущие характеризуются целым комплексом свойств, позволяющих оценить их качество, и улучшение которых достигается введением различных химических и минеральных добавок. В связи с этим намечаются тенденции к расширению области и масштабы применения гипсовых материалов в строительстве.

С учетом номенклатуры гипсовых строительных материалов из многообразия химических добавок в их рецептурах можно выделить основные:

- пластифицирующие добавки, применение которых не только увеличивает подвижность гипсового теста и снижает водопотребность, но и способствует повышению прочности, морозостойкости и других свойств;
- замедлители сроков схватывания, способствующие увеличению «живучести» растворной гипсовой смеси (в основном цитраты кальция и натрия, лимонная и винная кислоты);
- редиспергируемые полимерные порошки, способствующие увеличению эластичности растворов, их адгезии к основанию, улучшают гидрофобность и водостойкость (порошки сополимеров винилацетата с этиленом, акрилатом, стирол-акрилатом и др.);
- гидрофобизирующие добавки (для наружной и объемной гидрофобизации).

Исследования в направлении повышения технологических и физико-механических свойств гипсовых вяжущих, смесей и бетонов на их основе ведутся многими научными коллективами.

В работе [2] представлены результаты исследования влияния добавок разных видов промышленных пластификаторов (водорастворимых ПАВ), широко применяемых в цементных бетонах – C-3, *Melflux*, *Stachement 2280*, на технологические и физико-механические свойства гипсового вяжущего. Авторами работы показано, что введение их в гипсовое тесто приводит к существенному водоредуцирующему эффекту, зависящему от химического строения и концентрации добавки. Показано, что пластификаторы оказывают различное влияние на сроки схватывания: C-3 уменьшает время начала и конца сроков схватывания монотонно, *Melflux* существенно замедляет, а влияние *Stachement 2280* на процесс схватывания незначительно, но где авторы отмечают корреляцию между изменениями сроков схватывания и водогипсового отношения. Показано, что введение пластификаторов до 0,6 % увеличивает прочность при сжатии отвержденного гипсового вяжущего в 5 раз и при изгибе в 3,5 раза по сравнению с немодифицированным вяжущим. Авторы отмечают, что это открывает возможность снижения расхода гипса в единице объема изделий при сохранении их потребительских свойств.

В работе [3] представлены результаты исследования по влиянию поликарбоксилатного пластификатора на физико-технические параметры гипса. Авторами показано, что введение пластификатора в гипсовое вяжущее в количестве 1 % способствует увеличению

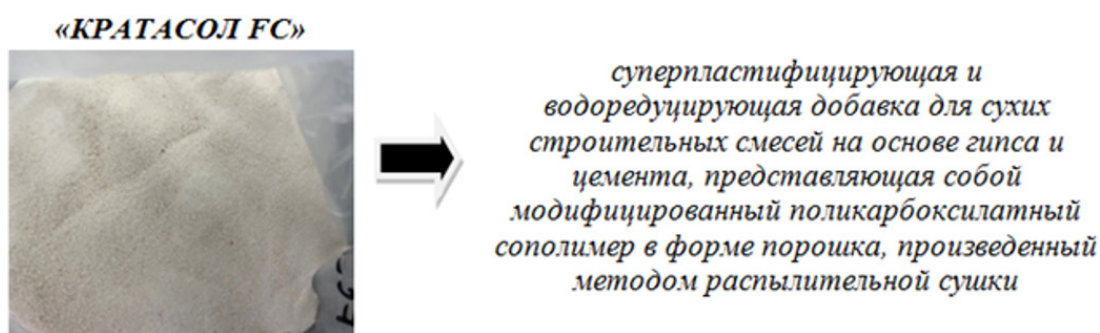


Рис. 1. Фото и описание добавки «KPATACOL FC»

прочности на сжатие до 72 % на 28 суток. При этом отмечается, что использование рационального количества пластификатора приводит не только к получению пластичной смеси и повышению прочности, но и снижается водопоглощение, повышается коэффициент размягчения, сокращаются сроки схватывания гипсовых материалов.

В работе [4] предоставлены данные по влиянию замедлителя схватывания *Retardan 225P*, представляющего собой кальциевую соль специальным образом модифицированной аминокислоты, на сроки схватывания гипсового вяжущего, на прочность при изгибе и сжатии гипсовых материалов. Автор отмечает, что особенностью *Retardan 225* является то, что он практически не изменяет время от начала и до окончания схватывания гипсового раствора, т.е. этот промежуток близок к такому же, как у чистого гипса и составляет не более 10 мин. Кроме этого, приведены результаты сравнения с другими замедлителями схватывания. Отмечается, что лимонная кислота также дает результат, близкий к этому показателю, а винная кислота значительно увеличивает время между началом и окончанием твердения – более чем на 40 мин. Рекомендовано использование замедлителя схватывания *Retardan 225P* для наливных полов на основе гипса, гипсовых шпатлевок, при производстве гипсокартонных листов и гипсовых блоков.

Авторами работы [5] показано, что использование малых дозировок редиспергируемых полимерных порошков является действенным средством увеличения физико-механических свойств гипсовых изделий. Представлены результаты испытаний с дисперсионными латексными порошками марок *DLP 110* и *Dairen 1200*, введение которых даже в малом количестве от 0,25 до 1 % от массы вяжущего улучшает деформативные свойства гипсового камня.

В работе [6] представлены результаты исследований влияния различных по составу гидрофобизаторов на свойства бетона на основе смешанного гипсового вяжущего. Авторами работы рассмотрены достаточно большое количество добавок: «ГКЖ 136-157М», представляющий собой метилгидросилоксановый полимер; кремнийорганическое соединение «ФЭС-50» (полифенилэтоксисилоксан); кремнийорганическая жидкость «ГКЖ-11К»; кремнийорганический суперконцентрат «Типром Д»; *Sikagard-703 W* – водная эмульсия на основе комбинации силана и силоксана; кремнийорганическое соединение *Dow Corning® MN 1107* (полиметилгидридсилоксан); гидрофобизатор *SHP 50*; *ProtectGuard* – добавка, представляющая собой водный раствор фторсодержащего акрилового сополимера; *METACRETE Hydrofob O* – кремнийорганический материал на органическом растворителе. Авторы отмечают, что поверхностная гидрофобизация незначительно увеличивает сред-

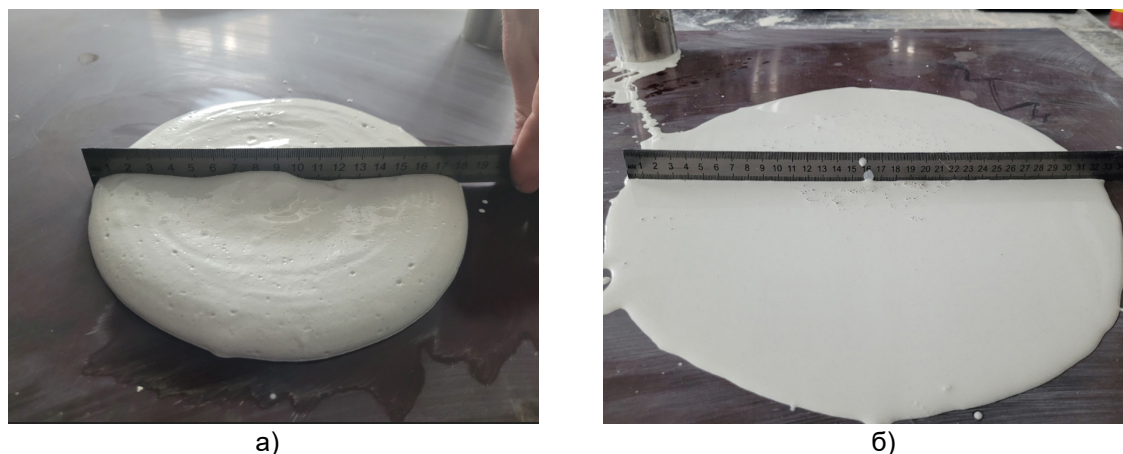


Рис. 2. Расплав гипсового теста: а) без добавки; б) с добавкой КРАТАСОЛ FC

ную плотность бетона, рост прочности при сжатии составляет 6 %, а при изгибе – 28 % относительно контрольных образцов, увеличение коэффициента размягчения на 7 % и снижение водопоглощения на 53 %, в то время как объемная гидрофобизация позволила повысить коэффициент размягчения изделий до единицы, снизить водопоглощение до 79 %, увеличить прочность на сжатие на 15 %, а при изгибе – на 41 %.

При разработке и подборе составов гипсовых строительных материалов следует отметить актуальность вопроса импортозамещения модифицирующих добавок в их рецептурах. В данном направлении на кафедре «Строительные материалы, конструкции и технологии» СГТУ имени Гагарина Ю.А. проведена научно-исследовательская работа [7; 8], где использовалась суперпластифицирующая и водоредуцирующая добавка КРАТАСОЛ FC для сухих строительных смесей (рис. 1). По своим потребительским свойствам КРАТАСОЛ FC (АО «Пигмент» – российский производитель химической продукции под торговой маркой КРАТА, г. Тамбов) соответствует требованиям ГОСТ 24211, EN934-2, предъявляемым к суперпластифицирующим и водоредуцирующим добавкам.

В исследованиях использовался строительный гипс марки Г-5 Б II со следующими техническими характеристиками: предел прочности при сжатии – 5 МПа, предел прочности при изгибе – 2,5 МПа, начало схватывания – не ранее 6 мин, конец схватывания – не позднее 30 мин; остаток на сите 0,2 мм – не более 14 %.

Добавка КРАТАСОЛ FC вводилась в гипсовое вяжущее в количестве от 0,05 до 0,3 % по его массе. Первоначально определялся диаметр расплава гипсового теста с добавкой со значением водогипсового соотношения как у бездобавочного состава ($B/G = 0,57$) и определялись сроки схватывания с помощью иглы прибора Вика. Далее приготавливалось гипсовое тесто с водогипсовым соотношением, соответствующим диаметру расплава из вискозиметра Суттарда – 180 мм. На основе гипсового теста с подобранным водогипсовым соотношением изготавливались образцы-балочки с размером 40×40×160 мм, испытание по определению предела прочности при изгибе и сжатии проводилось через 24 часа.

При введении добавки КРАТАСОЛ FC при рациональных дозировках наблюдается значительное увеличение диаметра расплава гипсового теста (рис. 2). В табл. 1 представлены результаты исследования, иллюстрирующие влияние различной дозировки добавки КРАТАСОЛ FC на жизнеспособность и расплав гипсового теста, водогипсовое соотношение, прочностные характеристики гипсовых композитов.

Результаты экспериментальных данных показывают, что добавка КРАТАСОЛ FC при

Таблица 1. Свойства гипсовых композиций в зависимости от содержания добавки

№	Содержание добавки КРАТАСОЛ FC от массы гипсового вяжущего, %	Диаметр расплыва гипсового теста при водогипсовом соотношении 0,57, мм	Начало схватывания, мин-с	Водогипсовое соотношение при диаметре расплыва гипсового теста 180 мм	Предел прочности при изгибе/сжатии, МПа
1	–	180	20-00	0,57	3,1/7,8
2	0,05	295	24-00	0,48	3,8/9,6
3	0,1	325	25-30	–	–
4	0,2	350	33-00	0,35	5,4/13,4
5	0,3	370	43-00	–	–

рациональных дозировках, рекомендованных производителем (0,05-0,3%):

- позволяет значительно увеличить расплав гипсового теста (до 370 мм относительно контрольного состава 180 мм) и время начала схватывания практически в два раза (при равнозначным В/Г с контрольным составом);
- способствует снижению водогипсового соотношения (до В/Г = 0,34 относительно контрольного состава В/Г = 0,57);
- оказывает положительное влияние на прочностные характеристики затвердевшего материала (прирост прочности при изгибе и сжатии порядка 70 %).

Таким образом, выявлена эффективность добавки КРАТАСОЛ FC по критериям жизнеспособности смеси, увеличения ее подвижности и снижения водопотребности, прироста прочности композитов. Полученные результаты показывают перспективность применения исследуемых гипсовых композиций как основы в создании сухих строительных смесей различного назначения, а также декоративных и архитектурных элементов, малых архитектурных форм.

Литература

1. Справочник. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) / под общ. ред. проф., д-ра техн. наук А.В. Ферронской. – М. : ABC, 2004. – 485 с.
2. Хозин, В.Г. Влияние химической природы пластификаторов на свойства гипсового теста и камня / В.Г. Хозин, Н.В. Майсурадзе, А.Р. Мустафина, М.Е. Корнянен // Construction materials. – 2019. – №10. – С. 35–39.
3. Поторочина, С.А. Влияние поликарбоксилатного пластификатора на технические параметры гипса / С.А. Поторочина, В.А. Новикова, А.Ф. Гордина // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – №3. – С. 14–19.
4. Литвиненко, С.В. Применение замедлителя схватывания для гипсовых вяжущих Retardan 225p / С.В. Литвиненко // Construction materials. – 2012. – № 7. – С. 26–27.
5. Панферова, А.Ю. Модифицирование гипсовых систем малыми добавками полимеров / А.Ю. Панферова, М.С. Гаркави // Construction materials. – 2011. – № 6. – С. 8–9.
6. Кайс, Х.А. Гипсоцементно-пуццолановый бетон с гидрофобизирующими добавками / Х.А. Кайс, Н.Н. Морозова, Р.К. Низамов // Известия КГАСУ. – 2024. – № 4(70). – С. 19–32. – DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.2. – EDN: BZCPBD.

7. Кочергина, М.П. Оценка эффективности применения комплекса поликарбоксилатный пластификатор – тонкодисперсные минеральные добавки / М.П. Кочергина, Д.К. Тимохин, К.А. Сотскова, Г.А. Корольков // *Components of Scientific and Technological Progress*. – № 12(102). – 2024. – С. 8–14.

8. Сотскова, К.А. К вопросу оценки эффективности модификаторов в строительных композициях / К.А. Сотскова, Г.А. Корольков, С.А. Евстигнеев, Д.К. Тимохин // *Components of Scientific and Technological Progress*. – № 3(105). – 2025. – С. 38–44.

References

1. *Spravochnik. Gipsovy materialy i izdeliya (proizvodstvo i primeneniye) / pod obshch. red. prof., d-ra tekhn. nauk A.V. Ferronskoj.* – M. : ABC, 2004. – 485 s.

2. KHzozin, V.G. Vliyaniye khimicheskoy prirody plastifikatorov na svoystva gipsovogo testa i kamnya / V.G. KHzozin, N.V. Majsuradze, A.R. Mustafina, M.E. Kornyanen // *Construction materials*. – 2019. – № 10. – S. 35–39.

3. Potorochina, S.A. Vliyaniye polikarboksilatnogo plastifikatora na tekhnicheskie parametry gipsa / S.A. Potorochina, V.A. Novikova, A.F. Gordina // *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. – 2015. – № 3. – S. 14–19.

4. Litvinenko, S.V. Primeneniye zamedlitelya skhvatyvaniya dlya gipsovykh vyazhushchikh Retardan 225p / S.V. Litvinenko // *Construction materials*. – 2012. – № 7. – S. 26–27.

5. Panferova, A.YU. Modifitsirovaniye gipsovykh sistem malymi dobavkami polimerov / A.YU. Panferova, M.S. Garkavi // *Construction materials*. – 2011. – № 6. – S. 8–9.

6. Kajs, KH.A. Gipsotsementno-puttsolanovyy beton s gidrofobiziruyushchimi dobavkami / KH.A. Kajs, N.N. Morozova, R.K. Nizamov // *Izvestiya KGASU*. – 2024. – № 4(70). – S. 19–32. – DOI: 10.48612/NewsKSUA/70.2. – EDN: BZCPBD.

7. Kochergina, M.P. Otsenka effektivnosti primeneniya kompleksa polikarboksilatnyy plastifikator – tonkodispersnye mineralnye dobavki / M.P. Kochergina, D.K. Timokhin, K.A. Sotskova, G.A. Korolkov // *Components of Scientific and Technological Progress*. – № 12(102). – 2024. – S. 8–14.

8. Sotskova, K.A. K voprosu otsenki effektivnosti modifikatorov v stroitelnykh kompozitsiyakh / K.A. Sotskova, G.A. Korolkov, S.A. Evstigneev, D.K. Timokhin // *Somponents of Scientific and Technological Progress*. – № 3(105). – 2025. – S. 38–44.

Evaluating the Efficiency of Chemical Additives for Gypsum Binders

G.A. Korolkov, D.K. Timokhin

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov (Russia)

Key words and phrases: gypsum binder; construction gypsum; superplasticizer; water-gypsum ratio; normal consistency; setting time, strength.

Abstract. Import substitution of chemical additives in gypsum building composite formulations is currently a pressing issue. The aim of this study was to analyze the effect of various chemical additives on the properties of gypsum binders and evaluate the properties of gypsum composites containing the superplasticizing additive KRATASOL FC, produced by the Russian chemical manufacturer Pigment JSC. KRATASOL FC is a modified polycarboxylate copolymer in powder

form. To achieve this goal, the following tasks were performed: determining the flowability and setting time of gypsum paste, the water-gypsum ratio, and the strength properties of gypsum composites at various dosages of this additive. G-5 B II building gypsum was used in the study. The results of a practical study showed that the introduction of the KRATASOL FC additive into a gypsum binder at relatively small dosages (0,05–0,3 %) by weight of the binder) leads to a significant reduction in the water-gypsum ratio with an increase in the strength of composites of about 70 %.

© Г.А. Корольков, Д.К. Тимохин, 2026

УДК 69.05

Краткий опыт применения технологий искусственного интеллекта в строительной отрасли

А.М. Калимуллин, С.А. Синенко

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

Ключевые слова и фразы: искусственный интеллект; нейросети; строительные процессы; технологии; цифровое строительство; эффективность.

Аннотация. Приведены результаты оценки состояния применения технологий искусственного интеллекта в строительной отрасли.

Цель исследования – оценка возможности применения технологий искусственного интеллекта и нейросетей для рационализации организационно-технологических решений возведения конструкций здания.

Задача: анализ опыта применения технологий искусственного интеллекта и нейросетей в строительстве.

Гипотеза: строительные задачи эффективно решаются с использованием искусственного интеллекта и нейронной сети.

Методы: в ходе исследования применялись методы обобщения, системного анализа, методы логического и сравнительного анализа.

Сделан вывод о том, что искусственный интеллект и нейросети успешно решают задачи в строительстве и эксплуатации.

Интеграция искусственного интеллекта в инженерные дисциплины определяет конкурентоспособность отраслей. Однако современная строительная отрасль характеризуется низким уровнем цифровизации, что подтверждается данными исследования *McKinsey*: индекс цифровизации в строительстве составляет менее 10 % [1], активно используется ИИ для управления рисками и в IT-задачах, но в целом внедрение технологий происходит медленнее, чем в цифровых или финансовых секторах [1]. Это свидетельствует о том, что значительная часть процессов в данной сфере все еще выполняется вручную или с использованием устаревших методов. Текущие технологии и подходы в строительстве включают стандартные программные решения для проектирования, такие как CAD-системы (*Autodesk Revit*, *ArchiCAD*, *RENGA*), а также традиционные методы управления проектами (*MsProject*). При этом недостаток интеграции этих инструментов с современными цифровыми платформами приводит к значительным потерям времени и ресурсов, что

Таблица 1. Виды искусственного интеллекта

Критерий сравнения	Символьный ИИ (<i>Symbolic AI</i>)	Субсимвольный ИИ (<i>Subsymbolic AI</i>)
Основная идея	Представление знаний через явные символы (логические правила)	Представление знаний через распределенные неявные структуры (веса связей)
Базовая единица	Символ (понятие, правило)	Нейрон/вес связи /вектор
Представление знаний	Явное (правила, логика)	Неявное (веса нейросети)
Обработка	Поиск, логический вывод	Математические операции
Примеры	Экспертные системы	Нейросети (<i>CNN</i> , <i>Transformer</i>)
Обучение	Добавление правил вручную	На данных (градиентный спуск)
Интерпретируемость	Высокая (прозрачные решения)	Низкая
Вероятность риска принятия неверных решений	Низкая $\approx 0\%$	Средняя 5–27 %
Данные	Не требует больших данных	Требуется больших объемов данных
Ресурсы	Низкие (<i>CPU</i>)	Высокие (<i>GPU/TPU</i>)
Сильные стороны	Прозрачность, экспертные знания	Устойчивость к шуму, масштабируемость
Слабые стороны	Трудоемкость	Неинтерпретируемость, требовательность к данным
Применение	Диагностика, семантический веб	Компьютерное зрение, генеративный дизайн
Пример в строительстве	Выбор фундамента по правилам	Оптимизация крана

негативно сказывается на общей эффективности строительных проектов.

И все же, несмотря на консервативность отрасли, она демонстрирует растущий интерес к технологиям ИИ для решения проблем оптимизации, прогнозирования и автоматизации. отрасли. Согласно отчету *Deloitte*, внедрение технологий искусственного интеллекта позволяет сократить сроки выполнения проектов на 20 % и снизить затраты на 15 % [2]. Эти технологии включают использование алгоритмов машинного обучения для прогнозирования сроков и стоимости строительства, автоматизацию процессов управления проектами, а также применение робототехники для выполнения сложных строительных операций. Такие тенденции открывают возможности для значительного повышения эффективности и качества строительных процессов за счет современных цифровых решений. С другой стороны, активное внедрение технологий искусственного интеллекта в различные сферы жизнедеятельности современного человека ставит на повестку дня вопрос – не вытеснит ли в ближайшее время искусственный интеллект человека, сможет ли человек быть конкурентоспособным. Это подчеркивает важность комплексного подхода к внедрению новых технологий, который должен учитывать как их потенциальные преимущества, так и вызовы, возникающие для работников отрасли.

Ключевые компоненты и технологии «цифрового строительства» уже применяются в строительстве для реализации развития информационных систем поддержки принятия решений и включают в себя интернет вещей (*IoT*) и сенсорные сети (*WSN*), большие дан-

Таблица 2. Статистика применения технологий ИИ в строительстве

Технология	Ключевые данные	Результат
Компьютерное зрение	Обнаружение объектов	33 % [7]
	Безопасность строительства	28 % [7]
	Обнаружение повреждений	22 % [7]
	Качество строительства	9 % [7]
	Анализ производительности	8 % [7]
Предиктивная аналитика	Модель для прогнозирования отклонений от графика:	
	точность прогноза MAE (средняя абсолютная ошибка)	1,24 % [8]
	коэффициент точности (R^2)	0,96 [8]
	объем данных	164 проекта [8]
	прогнозирование стоимостных отклонений и освоенного объема в проектах реконструкции дорог	Учитывает внешние факторы (погода, наличие ресурсов)
Оптимизация снабжения	Сокращение затрат на хранение запасов	20–30 % [9]
	Снижение прямых затрат на материалы	10–15 % [9]
	Повышение процента своевременных поставок	15 % [9]
Диагностика и мониторинг состояния	Компьютерное зрение для инспекций	
	Анализ данных сенсоров систем мониторинга	
	Прогнозирование деградации и рисков	
	Интеграция ИИ с ультразвуковыми методами неразрушающего контроля бетона:	
	повышает диагностическую чувствительность по сравнению с традиционными методами	до 30 % [10]
	улучшает точность локализации дефектов	25 % [10]
	сокращает затраты на обслуживание	20–40 % [10]
Общая статистика внедрения ИИ. Рыночные показатели	Рост за 2025г.	\$ 0,74 млрд [11]
	Прогноз к 2030г.	\$ 9,48 млрд [11]
	Среднегодовой темп роста в 2025г.	32,8 % [11]
	Среднегодовой темп роста прогноз к 2030г.	33,1 % [11]
Опрос о внедрении ИИ среди подрядных организаций в мире	Уже внедрили ИИ в свои процессы	12 % [12]
	Еще не используют ИИ	35 % [12]
	Используют ИИ, встроенный в существующее ПО	59 % [12]
	Основные барьеры:	
	нехватка обучения	44 % [12]
	сложность интеграции	44 % [12]
	сложность понимания	38 % [12]
	неясная окупаемость инвестиций	37 % [12]

ные (*Big Data*), облачные и мобильные технологии, робототехнику и автоматизацию[3; 4]. В этой сложной, насыщенной разрозненными данными системе искусственный интеллект способен выступить в роли организатора, способного анализировать разнородные потоки данных, выявлять аномалии, причинно-следственные связи, прогнозировать вероятное развитие ситуаций и предлагать оптимальные решения для принятия инженерных и управленческих решений и, конечно же, автоматизировать рутинные расчетные и поисковые задачи, которые в реальной жизни занимают большую долю рабочего времени.

Системы поддержки принятия решений на базе искусственного интеллекта в будущем станут ключевым инструментом, помогающим человеку разобраться в сложной цифровой среде инвестиционно-строительного проекта и принять адекватные, обоснованные инженерные и управленческие решения [4; 5; 6].

Таким образом, современный процесс строительства представляет собой целостную систему, где информационная модель, данные, поставляемые датчиками из реального мира, и алгоритмы искусственного интеллекта могут объединиться для достижения целей качества управления, эффективности и предсказуемости строительных процессов [САПР]. Задача автоматизированного подбора ресурсов, является органичной и востребованной составной частью этой системы.

Искусственный интеллект (*Artificial Intelligence, AI*) – область науки и техники, рассматривающая технические системы, выполняющие поставленные человеком задачи по восприятию визуальной и речевой информации, обучению, решению проблем, планированию и принятию решений. Виды искусственного интеллекта представлены в таблице 1.

Практическая ценность и осуществимость применения ИИ в строительстве подтверждается уже реализованными проектами, исследованиями и технологиями, данные по применению приведены в таблице 2.

Таким образом, можно сделать вывод что искусственный интеллект и нейросети успешно решают задачи в строительстве и эксплуатации, умеют работать как со структурированными, так и разрозненными данными, автоматизировать, анализировать и строить прогнозы развития ситуации, помогают принимать рациональные решения в условиях неопределенности, сокращая риски.

Литература

1. McKinsey. The state of AI in 2025: Agents, innovation, and transformation [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai>.
2. Deloitte's. State of AI in the Enterprise, 2026 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.deloitte.com/global/en/issues/generative-ai/state-of->.
3. Peng Haimin. Application of Intelligent Construction Technology in Prefabricated Project Construction / Peng Haimin // Urban Architecture and Development. – 2025. – Vol. 6. – No. 16.
4. Pan, Y. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends / Y. Pan, L. Zhang // Automation in Construction. – 2021. – Vol. 122. – P. 103517. – DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103517.
5. Лapidус, А.А. Метод возведения монолитных конструкций в условиях Арктики с применением технологий нейронного моделирования и искусственного интеллекта / А.А. Лapidус, А.О. Хубаев, Т.Х. Бидов, Д.В. Топчий ; под ред. А.А. Лapidуса. – М. : ACB, 2024. – 122 с.
6. He, W. Developing a Resource Allocation Approach for Resource-Constrained

Construction Operation under Multi-Objective Operation / W. He, W. Li, W. Wang // Sustainability. – 2021. – No. 13(13). – DOI: 10.3390/su13137318.

7. Prasad Perera. Deep learn-ing – enabled visual computing in construction: application and digital technolo-gy integration / Prasad Perera, Srinath Perera, Xiaohua Jin, Maria Rashidi, Samudaya Nanayakkara, Gina Yazbek, Andrew Yazbek // Frontiers in Built Environment. – 2025 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/395163034_Deep_learning_-_enabled_visual_computing_in_construction_application_and_digital_technology_integration.

8. Lagos Camilo. Predicting construction schedule performance with last planner system and machine learning / Lagos Camilo, F. Herrera Rodrigo, Cawley Alejandro, Alarcon Luis // Automation in Construction. – 2024 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/383239659_Predicting_construction_schedule_performance_with_last_planner_system_and_machine_learning.

9. Construction Tech Review. The ROI of AI in Construction Supply Chains, 2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.constructiontechrevieweurope.com/news/the-roi-of-ai-in-construction-supply-chains-nwid-2324.html>.

10. Angiulli Giovanni. Advances in the Integration of Artificial Intelligence and Ultrasonic Techniques for Monitoring Concrete Structures: A Comprehensive Review / Angiulli Giovanni, Burrascano Pietro, Ricci Marco, Mario Versaci // Journal of Composites Science. – 2024 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/387096138_Advances_in_the_Integration_of_Artificial_Intelligence_and_Ultrasonic_Techniques_for_Monitoring_Concrete_Structures_A_Comprehensive_Review.

11. The Business Research Company. AI In Construction Global Market Report 2026 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/ai-in-construction-global-market-report>.

12. ServiceTitan. 2026 State of AI in the Trades [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.servicetitan.com/blog/state-of-ai-in-the-trades>.

References

5. Lapidus, A.A. Metod vozvedeniya monolitnykh konstruktsij v usloviyakh Arktiki s primeneniem tekhnologij nejronnogo modelirovaniya i iskusstvennogo in-tellekta / A.A. Lapidus, A.O. KHubaev, T.KH. Bidov, D.V. Topchij ; pod red. A.A. Lapidusa. – M. : ASV, 2024. – 122 s.

A Brief Overview of the Application of Artificial Intelligence Technologies in the Construction Industry

A.M. Kalimullin, S.A. Sinenko

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

Key words and phrases: artificial intelligence; neural networks; construction processes; technologies; digital construction; efficiency.

Abstract. The results of an assessment regarding the current state of artificial intelligence technologies in the construction industry are presented.

The aim of the research is to evaluate the feasibility of using artificial intelligence technologies and neural networks to rationalise organisational and technological solutions for building construction.

The objectives are to analyse the experience of implementing artificial intelligence technologies and neural networks in construction.

The hypothesis is based on the assumption that construction tasks are effectively solved using artificial intelligence and neural networks.

The study utilised methods of generalisation, systems analysis, and logical and comparative analysis.

It is concluded that artificial intelligence and neural networks successfully address challenges in construction and facility management.

© А.М. Калимуллин, С.А. Синенко, 2026

УДК 69.05

**Модель и методика подбора
башенного крана для возведения
конструкций зданий
с использованием технологий
искусственного интеллекта и нейросетей**

А.М. Калимуллин, С.А. Синенко

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

Ключевые слова и фразы: башенный кран; искусственный интеллект; методика; модель; нейросеть; оптимизация; технологии.

Аннотация. Цель исследования – разработка методики по оптимизации организационно-технологических решений возведения конструкций здания с применением технологий искусственного интеллекта (**ИИ**) и нейросетей.

Задача: выбор и разработка моделей, наиболее востребованных практикой строительного производства, алгоритмов решения задач с использованием технологий ИИ и нейросетей.

Гипотеза: задача подбора башенного крана по техническим параметрам эффективно решается с использованием ИИ.

Методы: в ходе исследования применялись методы обобщения, системного анализа, методы логического и сравнительного анализа.

Выбрана и разработана модель, алгоритмы и методика решения задачи подбора башенного крана с использованием технологий ИИ и нейросетей.

Модель системы и методика оптимального выбора башенного крана для разработки и рационализации организационно-технологических решений (**ОТР**) по возведению конструкций здания с применением технологий искусственного интеллекта (**ИИ**) и нейросетей разрабатывается с целью их применения при организации возведения конструкций зданий для оптимизации за счет повышения эффективности ОТР.

В существующей нормативно-технической базе есть ключевые документы для решения задачи подбора башенного крана [1; 2]. Нормативно-техническая документация образует область с границами, внутри которых должна работать любая программа автоматизированного подбора, и предоставляет необходимые правила и данные, следовательно, первым шагом является анализ и адаптация ее положений в формальный язык, понятный

вычислительной системе.

Правилами, определяющими факторы решения задачи подбора башенного крана, являются формулы (1)–(4) и график на рис. 1 [2]. Для каждой из формул и указанных в них требований выведем параметрические ряды-данные и правила для решения задачи:

- паспортная грузоподъемность крана в тоннах не может быть меньше массы поднимаемого груза с учетом массы грузозахватного приспособления, навесных монтажных приспособлений и конструкций усиления жесткости поднимаемого элемента в тоннах – это условие для алгоритма по формуле (1) [2];

- паспортный максимальный вылет стрелы крана в метрах не может быть меньше расстояния по горизонтали от вертикальной оси грузозахватного органа в месте установки этого элемента до оси вращения поворотной части крана с учетом радиуса поворотной части, половины крановой колеи, габарита приближения и выступающих частей здания – это условие для алгоритма по рис. 1 [2];

- паспортная максимальная высота подъема крюка стрелы крана в метрах не может быть меньше высоты здания от нулевой отметки здания с учетом разности отметок установки кранов, запаса по высоте, максимальной высоты перемещаемого груза (в положении, при котором производится его перемещение), высоты закрепленных на грузе монтажных приспособлений, конструкций усиления и высоты грузозахватного приспособления в рабочем положении – это условие для алгоритма по формуле (2) [2].

Задача выбора башенного крана – задача поиска наилучшего решения в ситуации, когда выбор ограничен, при этом соблюдаются строгие технические ограничения и правила, а главным критерием является цена.

Пусть имеется множество возможных кранов:

$$K_p = \{K_{p_1}, K_{p_2}, \dots, K_{p_m}\}. \quad (1)$$

Для каждого крана K_{p_x} известен набор A_x его характеристик:

$$A_x = (h_x^{max}, R_x^{max}, Q_x^{Rп}, Ц_x), \quad (2)$$

где h_x^{max} – максимальная высота подъема крюка в метрах; R_x^{max} – максимальный вылет стрелы в метрах; $Q_x^{Rп}$ – грузоподъемность в определенном вылете стрелы в тоннах; $Ц_x$ – стоимость аренды крана в сутки;

Кроме того, имеются параметры объекта строительства и элементов

$$Эл = \{Эл_1, Эл_2, \dots, Эл_m\}, \quad (3)$$

каждый из которых имеет набор определенных характеристик:

$$P_x = (P_{гр_x}, R_{гр_x}, h_{м.гр_x}, h_{гр_x}, x_{гр_x}, y_{гр_x}), \quad (4)$$

где $P_{гр_x}$ – вес в тоннах; $R_{гр_x}$ – требуемый вылет в метрах; $h_{м.гр_x}$ – требуемая высота монтажа в метрах; $h_{гр_x}$ – требуемая высота в метрах; $x_{гр_x}, y_{гр_x}$ – координаты в метрах.

Заданы условия площадки (размеры, место возможной установки крана).

Условия для экономической эффективности использования крана:

$$Ст_x = Ц_x \times T_x + Ст_{м/д_x} + Ст_{трансп_x} \rightarrow min, \quad (5)$$

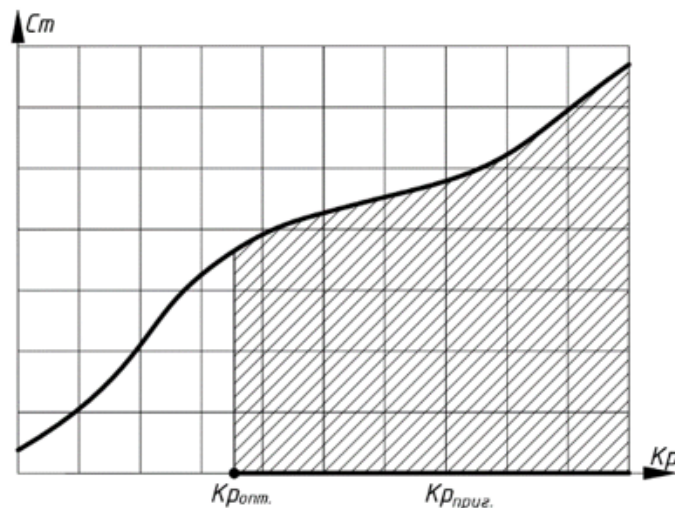


Рис. 1. Геометрическое представление модели подбора башенного крана по техническим и стоимостным показателям

где T_x – плановая продолжительности работы крана в сутках; $C_{тм/дх}$ – стоимость монтажа и демонтажа крана; $C_{трансп.х}$ – стоимость доставки и вывоза крана со стройплощадки.

Имеются также ограничения по высоте подъема (формула 6), вылету стрелы (формула 7) и грузоподъемности крана (формула 8):

$$h_x^{max} \geq (h_{з.} \pm h_{п.}) + h_{зап.} + h_{гр.} + h_{гр.пр.} + h_{к.у.}, \quad (6)$$

$$R_x^{max} \geq b \times x + a + (R_{п.} - 0,5K + п_2) \geq b \times x + a + п_1, \quad (7)$$

$$Q_x^{Rp} \geq P_{гр.} + P_{гр.пр.} + P_{н.м.пр.} + P_{к.у.} \quad (8)$$

при

$$R_x = \sqrt{(x_x - x_0)^2 + (y_x - y_0)^2}. \quad (9)$$

Условия по формулам (6)–(8) необходимо проверить для каждого элемента, что при большом количестве элементов и кранов приводит к необходимости выполнения большого объема проверок.

Необходимо определить оптимальный кран:

$$Kp_{опт} \in Kp^{приг} \subseteq Kp, \quad (10)$$

где $Kp^{приг}$ – подмножество технически пригодных кранов.

Таким образом, задача сводится к поиску

$$Kp_{опт} = \arg \min_{Kp_x \in Kp^{приг}} C_{т_x}(Kp_x), \quad (11)$$

где принадлежность Kp_x множеству $Kp^{приг}$ определяется проверкой системы неравенств для всех монтируемых элементов.

Это и есть модель оптимального выбора башенного крана. Представим ее в виде про-

стого графика (рис. 1): $Ст$ – стоимость аренды с учетом монтажа, демонтажа и перебазировки, $Кр$ – множество башенных кранов, $Кр_{\text{приг}}$ – множество технически подходящих кранов, $Кр_{\text{опт}}$ – оптимальный технически подходящий башенный кран.

Формирование методики подбора башенного крана

Первым этапом задачи является сбор и систематизация исходных данных. Для выбора башенного крана необходимы сведения о двух группах параметров: характеристиках монтируемых элементов и условиях строительной площадки.

Ведомость монтажных элементов представляет собой таблицу, содержащую для каждого элемента, подлежащего монтажу, данные о наименовании, габаритах, весе, координатах установки. Такие ведомости экспортируются из ЦИМ модели объекта в формате *MsExcel*, *IFC* или формируются вручную. Предлагаемая методика предусматривает возможность загрузки ведомости непосредственно из *Excel*-файла, что исключает необходимость ручного переноса данных, хотя возможность ручного ввода также сохраняется для вариативности пользователя.

Параметры строительной площадки включают координаты предполагаемого места стоянки крана, габариты здания в плане, наличие препятствий, ограничивающих работу крана, планируемую продолжительность монтажных работ (количество смен).

На втором этапе – геометрического анализа – выполняется расчет двух ключевых параметров, определяющих принципиальную возможность использования крана: требуемой высоты подъема и требуемого вылета стрелы. Таким образом, из дальнейшего рассмотрения исключаются все краны, паспортная высота подъема которых меньше рассчитанной.

После выполнения геометрического анализа формируется список кранов, потенциально пригодных для использования на объекте, этот список может составлять 30–40 % от общего числа моделей в базе.

На третьем, наиболее трудоемком, этапе технического анализа выполняется проверка грузоподъемности крана для каждого элемента. В отличие от высоты и вылета, которые оцениваются по максимальным значениям, грузоподъемность требует индивидуальной проверки, поскольку вес элемента и требуемый вылет для его установки могут различаться.

Для каждого крана из списка, полученного на предыдущем этапе, выполняется последовательная проверка всех элементов по условию пригодности формулы (8). Так как требуемый рабочий вылет редко совпадает с точками, приведенными в грузовысотном графике, используется метод линейной интерполяции и между двумя известными точками грузового графика грузоподъемность будет изменяться линейно.

Если вес элемента с учетом массы грузозахватного приспособления, навесных монтажных приспособлений и конструкций усиления жесткости поднимаемого элемента не превышает это значение, условие выполнено.

После того как определены все технически пригодные краны, наступает четвертый этап – экономический анализ. В исследовании критерием эффективности принят критерий минимизации себестоимости работы крана, которым является стоимость машино-смены аренды с учетом приведенных к стоимости машино-смены затрат на монтаж, демонтаж и перебазировку. На практике поиск арендных компаний, запрос коммерческих предложений и сравнение цены занимает значительное время и не гарантирует получения наиболее выгодного предложения. Предлагаемая методика автоматизирует также и этот процесс экономического подбора крана. Система собирает информацию с открытых интернет-ре-



Рис. 2. Методика разработки и оптимизации ОТС по возведению конструкций здания с применением технологий ИИ и нейросетей

сурсов, содержащих предложения по аренде кранов, и для каждого технически пригодного крана из базы определяется актуальная рыночная цена.

После определения цен для всех пригодных кранов производится расчет суммарных затрат $Ст_{сумм}$ за планируемый период монтажа:

$$Ст_{сумм} = Ц_x \times T_x + Ст_{м/д_x} + Ст_{трансп._x}. \quad (12)$$

Краны автоматически ранжируются системой по возрастанию суммарных затрат и оптимальным признается кран с самой низкой стоимости аренды. Помимо оптимального варианта, система предоставляет информацию о двух-трех альтернативных кранах, которые выше по стоимости.

Особенностью разработанной методики является использование большой языковой модели (LLM) для дополнительной проверки решения задачи, когда модель выступает в роли виртуального эксперта, способного оценить факторы, которые трудно формализовать в виде алгоритмов, например, генерация пояснений, когда нейросеть может сформулировать на естественном языке, почему выбран тот или иной кран. Для этого модели в виде кода передается промпт, содержащий инструкцию о ее роли (эксперт по подбору кранов), правила проверки на естественном языке, данные о кране и об элементе. Модель анализирует информацию и выдает ответ в виде одного слова: «ДА» (Подходит) или «НЕТ» (Не подходит). Параметры генерации настроены таким образом, чтобы одинаковые входные данные давали одинаковый результат.

Завершающий этап – формирование отчета с рекомендациями, который должен быть понятен пользователю и содержать всю информацию, необходимую для принятия окончательного решения. Структура отчета включает данные по оптимальному крану, альтернативным вариантам и статистику подбора. Результаты могут быть сохранены в формате JSON для дальнейшего использования или экспортированы в Excel.

Разработанная методика предполагает последовательное выполнение семи этапов, от

сбора исходных данных до получения решения задачи подбора башенного крана для ОТП.

Литература

1. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» : Приказ Ростехнадзора № 461 от 26.11.2020 ; зарегистрировано в Минюсте России № 61983 от 30.12.2020 (ред. от 22.01.2024) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373321.
2. РД-11-06-2007. Методические рекомендации о порядке разработки проектов производства работ грузоподъемными машинами и технологических карт погрузочно-разгрузочных работ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200049202/titles>.
3. СП 49.13330.2010. Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/901794520>.

References

1. Ob utverzhdenii federalnykh norm i pravil v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh obektov, na kotorykh ispolzuyutsya podemnye sooruzheniya» : Prikaz Rostekhnadzora № 461 ot 26.11.2020 ; zaregistrirovano v Minyuste Rossii № 61983 ot 30.12.2020 (red. ot 22.01.2024) [Electronic resource]. – Access mode : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373321/.
2. RD-11-06-2007. Metodicheskie rekomendatsii o poryadke razrabotki proektov proizvodstva rabot gruzopodemnymi mashinami i tekhnologicheskikh kart pogruzочно-razgruzochnykh rabot) [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/1200049202/titles>.
3. SP 49.13330.2010. Bezopasnost truda v stroitelstve. CHast 1. Obshchie trebovaniya [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/901794520>.

A Model and Methodology for Tower Crane Selection for the Installation of Building Structures Using Artificial Intelligence and Neural Networks

A.M. Kalimullin, S.A. Sinenko

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

Key words and phrases: model; methodology; tower crane; technologies; artificial intelligence; neural network; optimisation.

Abstract. The aim of the research is to develop a methodology for optimising organisational and technological solutions for the installation of building structures using artificial intelligence (AI) technologies and neural networks.

The objectives are to select and develop the models most in demand within construction practice, alongside algorithms for problem-solving using AI technologies and neural networks.

The study is based on the hypothesis that the task of selecting a tower crane based on

technical parameters is effectively solved through the use of AI.

During the study, methods of generalisation, systems analysis, and logical and comparative analysis were applied.

The study resulted in the selection and development of a model, algorithms and methodology for solving the tower crane selection problem using AI technologies and neural networks.

© А.М. Калимуллин, С.А. Синенко, 2026

УДК 69.003:005.8

Аспекты управления проектами при реализации жилых комплексов

С.С. Михайлов, В.В. Лучкина

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

Ключевые слова и фразы: автоматизация управления; жилой комплекс; инвестиционно-строительный проект; «умный дом»; управление проектами, управление рисками, цифровые технологии; эксплуатация недвижимости; эффективность реализации; *CAFM*.

Аннотация. Целью данного исследования является анализ ключевых аспектов управления проектами при реализации жилых комплексов с акцентом на управление рисками и применение современных цифровых технологий в сфере недвижимости. В задачи исследования входит изучение теоретических подходов к управлению проектами на основе международных стандартов (*PMBOK*, *DIN 69901* и практики английской ассоциации менеджеров проектов), выявление особенностей управления проектами в сфере недвижимости, анализ основных групп рисков при реализации инвестиционно-строительных проектов, а также оценка роли автоматизированных систем управления, включая *CAFM* и технологии «умного дома».

Гипотеза исследования заключается в том, что применение системного подхода к управлению проектами в сочетании с эффективным управлением рисками и внедрением цифровых технологий способствует значительному повышению эффективности, качества и своевременности реализации жилых комплексов.

Методологическую основу исследования составляют общенаучные и специальные методы, включая анализ и синтез научной литературы, сравнительный анализ зарубежной и отечественной практики, классификацию рисков, а также методы качественной и количественной оценки рисков, в том числе *SWOT*-анализ и план-фактный анализ.

В результате исследования установлено, что управление проектами в сфере жилищного строительства представляет собой сложный и многоуровневый процесс,

требующий постоянного мониторинга и координации на всех стадиях жизненного цикла проекта. Доказано, что управление рисками играет ключевую роль в обеспечении успешной реализации проектов, при этом наибольшее влияние оказывают финансовые, технические, правовые и организационные риски. Также подтверждена возрастающая значимость цифровых решений, таких как системы *CAFM* и технологии «умного дома», которые позволяют повысить эффективность управления, оптимизировать бизнес-процессы и улучшить качество обслуживания жителей. Полученные результаты обосновывают необходимость комплексного подхода к управлению проектами, сочетающего традиционные методы с современными цифровыми инструментами.

Термин «управление проектом» можно рассматривать как область профессиональной деятельности, связанной с организацией, руководством и координацией человеческих и материальных ресурсов при реализации конкретного проекта.

В научной и специализированной литературе существует множество трактовок данного понятия. Например, согласно американскому Своду знаний по управлению проектами (*PMBOK*), управление проектами представляет собой искусство руководства и координации человеческих и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла проекта. При этом используются современные методы и инструменты управления, позволяющие достичь поставленных результатов по объему работ, стоимости, срокам реализации и качеству.

По мнению Английской ассоциации менеджеров проектов, управление проектом рассматривается как управленческая деятельность, направленная на завершение проекта в установленные сроки, в пределах предусмотренного бюджета и в соответствии с заданными техническими требованиями и спецификациями.

В немецком стандарте *DIN 69901* управление проектами определяется как совокупность управленческих задач, организационных мероприятий, методов и технических средств, применяемых для успешной реализации проектов.

Управление проектами развития объектов недвижимости представляет собой самостоятельную область управленческой деятельности, которая, с одной стороны, опирается на значительный практический опыт, накопленный в отечественной практике, а с другой – остается относительно новой для российской экономики.

Особенно это касается вопросов, связанных с так называемой рыночной спецификой реализации проектов. При этом проектные, строительные и технологические аспекты являются привычной сферой производственной деятельности специалистов.

В целом управление проектами нельзя рассматривать как простую совокупность методов и инструментов. Оно представляет собой особую проектную философию и специфическое профессиональное мировоззрение. На сегодняшний день значительная часть этих подходов и концепций заимствована из зарубежной практики. В связи с этим управление проектами развития недвижимости можно рассматривать как относительно новое направление управленческой деятельности для России.

Управление недвижимостью представляет собой комплекс мероприятий, связанных с эксплуатацией зданий и сооружений, организацией обслуживания объектов, координаци-

ей работы персонала, созданием комфортных условий для пользователей и арендаторов, а также управлением арендными отношениями и финансовыми потоками. Основная цель такой деятельности заключается в максимально эффективном использовании объекта недвижимости в интересах собственника при обеспечении безопасной эксплуатации и сохранении его потребительских характеристик на длительный период.

Сфера недвижимости стала одной из первых отраслей, в которых начали применяться системы автоматизации управления. Уже в 1970–1980 годы появились первые информационные системы, направленные на оптимизацию эксплуатации объектов и снижение затрат на их содержание. Такие решения получили название *CAFM (Computer Aided Facility Management)*. В дальнейшем на их основе были разработаны и другие системы управления недвижимостью, однако большинство современных решений по-прежнему рассматриваются как развитие концепции *CAFM*.

В систему управления недвижимостью вовлечены различные участники рынка: крупные компании – владельцы корпоративной недвижимости, девелоперы и инвесторы, управляющие и сервисные компании, организации жилищно-коммунального хозяйства, а также арендаторы. Несмотря на различия в целях и задачах, для всех участников характерна потребность в повышении эффективности обработки больших объемов информации и оптимизации сложных бизнес-процессов, связанных с управлением зданиями, площадями, оборудованием и персоналом.

Современный рынок предлагает широкий спектр решений по автоматизации управления недвижимостью. Их можно классифицировать по уровням: пользователь (житель), квартира, дом, жилой комплекс и управляющая компания. Наиболее распространены решения, направленные либо на автоматизацию управления деятельностью управляющих компаний, либо на внедрение технологий «умного дома», повышающих комфорт, безопасность и энергоэффективность жилья.

Основными потребителями таких технологий являются физические лица, управляющие компании и застройщики. Большая часть программных и программно-аппаратных решений ориентирована именно на управляющие компании, поскольку автоматизация позволяет существенно упростить управление домами, оптимизировать бизнес-процессы и повысить качество обслуживания жителей. Одновременно активно развивается сегмент бытовой автоматизации, включающий системы управления освещением, отоплением, вентиляцией, бытовыми приборами и системами безопасности.

В целом рынок автоматизации недвижимости характеризуется разнообразием программных и программно-аппаратных решений. Однако большинство существующих продуктов направлено либо на управление жильем, либо на автоматизацию деятельности управляющих компаний. Комплексные системы, объединяющие управление объектом недвижимости и бизнес-процессами управляющих организаций, пока представлены в ограниченном количестве, однако именно такие решения рассматриваются как перспективное направление развития отрасли.

Оценка рисков в процессе строительства жилых комплексов представляет собой комплексную и системно организованную деятельность, направленную на выявление, анализ и прогнозирование потенциальных угроз, способных оказать влияние на реализацию инвестиционно-строительного проекта. В рамках данной процедуры определяется вероятность возникновения различных рисков ситуаций, их возможный масштаб, а также степень воздействия на ключевые параметры проекта: сроки выполнения строительных работ, общую стоимость и качество возводимого жилого комплекса. Эффективная система управления рисками основывается на использовании актуальных данных, оператив-

ном реагировании на изменения внешней и внутренней среды проекта и своевременном принятии управленческих решений. В связи с этим строительные организации, реализующие проекты жилой застройки, применяют различные инструменты контроля и анализа, включая план-фактный анализ выполнения строительных работ, систему формирования управленческой отчетности по объектам строительства, а также механизмы мониторинга затрат и использования материальных и трудовых ресурсов.

В условиях реализации проектов строительства жилых комплексов оценка рисков выступает одним из ключевых элементов системы управления проектом. Эффективность инвестиционно-строительного проекта традиционно оценивается по трем основным критериям: времени, стоимости и качеству реализации. Соответственно, большинство потенциальных угроз рассматривается с точки зрения их возможного воздействия именно на эти показатели. Следует отметить, что строительство жилых комплексов осуществляется в условиях значительной неопределенности, что обусловлено влиянием различных внешних факторов. К наиболее существенным из них относятся экономическая нестабильность, последствия эпидемиологических ограничений, ограниченность трудовых, материальных и технических ресурсов, сокращение программ льготного ипотечного кредитования, изменения нормативно-правового регулирования, а также дефицит квалифицированных специалистов в строительной отрасли.

Наряду с внешними факторами значительное влияние на реализацию проектов жилой застройки оказывают внутренние риски, возникающие непосредственно в процессе подготовки и выполнения строительных работ. К таким рискам относятся ошибки, допущенные на этапах планирования и проектирования жилого комплекса, неточности в расчетах стоимости строительных работ, сроков их выполнения, а также объемов необходимых строительных материалов. Подобные просчеты могут привести к превышению запланированного бюджета проекта, задержкам в оформлении закрывающей документации, несвоевременному проведению расчетов между участниками инвестиционно-строительного процесса и возникновению проблем, связанных с качеством выполняемых строительных работ.

Следует подчеркнуть, что управление рисками в проектах строительства жилых комплексов не ограничивается лишь прогнозированием возможных угроз. Данный процесс носит непрерывный и циклический характер и предполагает регулярный анализ текущих результатов реализации проекта, корректировку планов и принятие управленческих решений на протяжении всего жизненного цикла проекта, начиная со стадии планирования и проектирования и заканчивая завершением строительных работ и вводом жилого комплекса в эксплуатацию.

В сфере строительства жилых комплексов можно выделить несколько ключевых групп рисков. Финансовые риски связаны с вероятностью превышения установленного бюджета проекта, что может быть вызвано непредвиденным ростом цен на строительные материалы, увеличением затрат на оплату труда или недостатком финансовых ресурсов, необходимых для завершения строительства. Снижение подобных рисков достигается посредством тщательного финансового планирования, формирования резервных фондов и систематического контроля за расходованием денежных средств.

Технические риски обусловлены возможными ошибками в проектной документации, использованием строительных материалов ненадлежащего качества или применением неэффективных строительных технологий. Для минимизации подобных угроз необходимо привлечение квалифицированных специалистов, осуществление технического надзора и проведение регулярного контроля качества строительных работ на всех этапах возведе-

ния жилого комплекса.

Правовые риски могут возникать вследствие несоблюдения требований действующего законодательства в области градостроительной деятельности, появления конфликтных ситуаций между участниками инвестиционно-строительного процесса или внесения изменений в нормативно-правовые акты. Для их снижения требуется квалифицированное юридическое сопровождение проекта, а также систематический мониторинг изменений в законодательстве, регулирующем строительство и эксплуатацию объектов жилой недвижимости.

Организационные риски связаны с недостатками системы управления проектом строительства жилого комплекса, неэффективным взаимодействием между заказчиком, подрядными организациями и другими участниками проекта, нехваткой квалифицированных кадров, а также возможными перебоями в поставках строительных материалов и оборудования. Минимизация подобных рисков предполагает формирование четкой организационной структуры управления проектом и постоянный контроль выполнения работ на всех стадиях реализации строительного проекта.

Одним из важнейших этапов системы управления рисками является их своевременная идентификация. Для выявления потенциальных угроз применяются различные методы, включая коллективные обсуждения и мозговые штурмы с участием членов проектной команды и заинтересованных сторон, анализ опыта реализации ранее осуществленных проектов строительства жилых комплексов, а также использование метода SWOT-анализа, позволяющего определить сильные и слабые стороны проекта, а также внешние возможности и потенциальные угрозы.

После выявления рисков осуществляется их оценка и ранжирование по степени значимости. На данном этапе применяются методы качественного и количественного анализа. Качественный анализ направлен на определение вероятности возникновения риска и оценку его возможного воздействия на ключевые параметры проекта. Количественный анализ, в свою очередь, основывается на использовании числовых показателей, позволяющих определить вероятность наступления рискованного события и оценить возможные финансовые последствия для проекта строительства жилого комплекса.

Следующим этапом управления рисками является разработка стратегии реагирования на выявленные угрозы. В зависимости от характера риска могут применяться различные подходы. Одним из них является избегание риска, предполагающее изменение параметров проекта с целью устранения потенциальной угрозы. Другой подход заключается в снижении риска путем реализации мероприятий, направленных на уменьшение вероятности его возникновения или смягчение возможных негативных последствий. Кроме того, риск может быть передан третьей стороне, например посредством страхования или заключения соответствующих договоров с подрядными организациями. В отдельных случаях допускается принятие риска, если его невозможно полностью устранить, при условии разработки мер по реагированию на возможные последствия.

Эффективное управление рисками при строительстве жилых комплексов невозможно без систематического мониторинга и контроля. В практике управления инвестиционно-строительными проектами используются различные инструменты, такие как план-фактный анализ, позволяющий сопоставлять запланированные и фактические показатели реализации проекта, регулярное формирование отчетности о текущем состоянии рисков и мерах по их минимизации, а также проведение внутренних аудитов и проверок эффективности функционирования системы управления рисками.

Современные информационные технологии существенно расширяют возможности

управления рисками в строительной отрасли. Применение специализированных программных продуктов и цифровых систем управления проектами позволяет автоматизировать процессы сбора и обработки информации, формировать аналитические отчеты и прогнозы, а также обеспечивать прозрачность и доступность данных для всех участников проекта строительства жилого комплекса.

Таким образом, управление рисками является важнейшим элементом эффективной реализации проектов строительства жилых комплексов и требует комплексного, системного подхода. В условиях динамично изменяющейся экономической и нормативно-правовой среды строительные компании должны быть готовы к различным вызовам, способным повлиять на сроки реализации проекта, его стоимость и качество строительства. Использование современных методов анализа, внедрение цифровых инструментов управления и развитие культуры риск-менеджмента позволяют значительно снизить уровень неопределенности, повысить эффективность управления инвестиционно-строительными проектами и обеспечить успешную реализацию проектов жилой застройки.

Литература

1. Аньшин, В.М. Управление проектами: фундаментальный курс : учебник для вузов ; 2-е изд., перераб. и доп. / В.М. Аньшин, О.Н. Ильина, А.А. Дагаев. – М. : Издательский дом НИУ ВШЭ, 2023. – 800 с.
2. Балашов, А.И. Управление проектами : учебник и практикум для вузов / А.И. Балашов, Е.М. Рогова, М.В. Тихонова, Е.А. Ткаченко; под ред. Е.М. Роговой. – М. : Юрайт, 2024. – 383 с.
3. Гусакова, Е.А. Управление проектами в строительстве : учебник для вузов ; 3-е изд., перераб. и доп. / Е.А. Гусакова, А.С. Павлов. – М. : Юрайт, 2025. – 266 с.
4. Железнов, М.М. Информационное моделирование на этапе строительства : учебно-методическое пособие / М.М. Железнов, Л.А. Адамцевич. – М. : МИСИ-МГСУ, 2021. – 51 с.
5. Цителадзе, Д.Д. Управление проектами : учебник / Д.Д. Цителадзе. – М. : ИНФРА-М, 2022. – 361 с.

References

1. Anshin, V.M. Upravlenie proektami: fundamentalnyj kurs : uchebnik dlya vuzov ; 2-e izd., pererab. i dop. / V.M. Anshin, O.N. Ilina, A.A. Dagaev. – M. : Izdatelskij dom NIU VSHE, 2023. – 800 s.
2. Balashov, A.I. Upravlenie proektami : uchebnik i praktikum dlya vuzov / A.I. Balashov, E.M. Rogova, M.V. Tikhonova, E.A. Tkachenko; pod red. E.M. Rogovoj. – M. : YUrajt, 2024. – 383 s.
3. Gusakova, E.A. Upravlenie proektami v stroitelstve : uchebnik dlya vuzov ; 3-e izd., pererab. i dop. / E.A. Gusakova, A.S. Pavlov. – M. : YUrajt, 2025. – 266 s.
4. ZHeleznov, M.M. Informatsionnoe modelirovanie na etape stroitelstva : uchebno-metodicheskoe posobie / M.M. ZHeleznov, L.A. Adamtsevich. – M. : MISI-MGSU, 2021. – 51 s.
5. TSiteladze, D.D. Upravlenie proektami : uchebnik / D.D. TSiteladze. – M. : INFRA-M, 2022. – 361 s.

Aspects of Project Management in the Implementation of Residential Complexes

S.S. Mikhailov, V.V. Luchkina

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

Key words and phrases: project management; residential complex; investment and construction project; risk management; property operation; management automation; CAFM, smart home; digital technologies; implementation efficiency.

Abstract. The purpose of this study is to analyze the key aspects of project management in the implementation of residential complexes, with a particular focus on risk management and the use of modern digital technologies in real estate management. The objectives of the research include examining theoretical approaches to project management based on international standards (PMBOK, DIN 69901, and practices of the UK project management association), identifying the specifics of project management in the real estate sector, analyzing risk categories in residential construction projects, and evaluating the role of automation systems, including CAFM and smart home technologies.

The research hypothesis is that the application of a systematic approach to project management, combined with effective risk management and the integration of digital technologies, significantly increases the efficiency, quality, and timeliness of residential complex implementation.

The methodological framework of the study is based on a combination of general scientific and specialized methods, including analysis and synthesis of scientific literature, comparative analysis of international and domestic practices, classification of risks, and methods of qualitative and quantitative risk assessment, including SWOT analysis and plan-fact analysis.

The results of the study demonstrate that project management in residential construction is a complex, multi-level process that requires continuous monitoring and coordination at all stages of the project life cycle. It has been established that risk management plays a central role in ensuring project success, with financial, technical, legal, and organizational risks having the greatest impact on project outcomes. The study also confirms the growing importance of digital solutions, such as CAFM systems and smart home technologies, which improve operational efficiency, optimize business processes, and enhance the quality of services for residents. The findings support the need for an integrated management approach that combines traditional project management tools with modern digital technologies to achieve optimal project performance.

© С.С. Михайлов, В.В. Лучкина, 2026

УДК 69.003:005.334:519.876

Оценка эффективности применения имитационного моделирования в управлении рисками строительных проектов жилых комплексов

С.С. Михайлов, В.В. Лучкина

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

Ключевые слова и фразы: инновационная деятельность; жилой комплекс; метод оценки риска – Монте-Карло; риск.

Аннотация. Статья посвящена оценке эффективности применения имитационного моделирования при управлении рисками инвестиционно-строительных проектов жилых комплексов. Цель исследования заключается в обосновании целесообразности использования метода Монте-Карло для повышения качества анализа и управления проектными рисками. Гипотеза исследования состоит в предположении, что применение имитационного моделирования позволяет повысить точность оценки неопределенности и обеспечить более обоснованные управленческие решения по сравнению с традиционными методами изучения рисков.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проведена классификация рисков инвестиционно-строительных проектов, рассмотрены основные методы их оценки, разработан алгоритм применения метода Монте-Карло, а также выполнена оценка вероятностных отклонений ключевых показателей эффективности проекта.

В качестве методов исследования использованы методы экономико-статистического анализа, имитационного моделирования, вероятностного анализа и метод Монте-Карло, реализованный с использованием инструментов *MS Excel*.

Результаты исследования показали, что применение метода Монте-Карло позволяет формировать множество сценариев реализации проекта, учитывать взаимосвязь факторов риска и получать количественную оценку вероятности достижения целевых показателей (*NPV*, *IRR*, сроки реализации). Установлено, что использование дан-

ного подхода повышает обоснованность управленческих решений, способствует снижению уровня неопределенности и позволяет разрабатывать эффективные меры по минимизации рисков.

В условиях современной экономики инновационная деятельность приобретает все более значимую роль. В конкурентной рыночной среде внедрение инноваций выступает важнейшим фактором, обеспечивающим устойчивое развитие организаций и повышение их конкурентных преимуществ. Особую актуальность это имеет для инвестиционно-строительной отрасли, где реализация проектов по строительству жилых комплексов требует применения современных технологий, эффективных управленческих решений и новых организационных подходов. Использование инноваций позволяет формировать новые потребности на рынке недвижимости, снижать издержки строительства, привлекать дополнительные инвестиционные ресурсы, укреплять деловую репутацию застройщиков и осваивать новые сегменты рынка.

Однако инновационная деятельность, в отличие от многих других направлений хозяйственной деятельности, характеризуется более высоким уровнем неопределенности и риска. Это связано с тем, что получение ожидаемого результата при внедрении инноваций не может быть полностью гарантировано. Подобная неопределенность нередко усложняет процесс привлечения инвестиций и требует проведения более детального анализа возможных угроз. В рамках инвестиционно-строительных проектов, включая проекты строительства жилых комплексов, риск рассматривается как вероятность возникновения финансовых потерь или отклонений от запланированных параметров проекта. В связи с этим оценка рисков становится одним из ключевых элементов инвестиционно-проектного анализа и важным инструментом принятия управленческих решений.

При исследовании инвестиционных проектов в сфере строительства жилых комплексов существенное значение имеют различные категории рисков. В первую очередь это риски, обусловленные нестабильностью экономической среды, изменениями в законодательстве, а также колебаниями условий инвестирования и распределения прибыли. Значительное влияние оказывают и внешнеэкономические факторы, включая возможные ограничения на поставку строительных материалов и оборудования, а также изменения в сфере международной торговли. Кроме того, важную роль играют политические и социально-экономические риски, связанные с вероятными изменениями государственной политики или региональной социально-экономической ситуации.

Существенными являются также риски, возникающие из-за недостатка или недостоверности информации о технико-экономических характеристиках проекта, применяемых технологиях и строительных решениях. На реализацию проектов строительства жилых комплексов могут влиять колебания рыночной конъюнктуры, изменения цен на строительные ресурсы, колебания валютных курсов, природно-климатические факторы и вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций. Важное значение имеют производственно-технологические риски, неопределенность целей и интересов участников проекта, а также возможная неполнота сведений о финансовом положении и деловой репутации партнеров, что может привести к задержкам платежей или банкротству участников проекта.

Для выбора наиболее рациональных методов оценки инвестиционно-строительных проектов необходимо провести систематизацию и классификацию существующих рисков. Традиционно методы изучения рисков подразделяются на качественные и количественные. К качественным методам относятся экспертные оценки, анализ целесообразности



Рис. 1. Блок–схема метода Монте-Карло (оценка проектных рисков) (создано автором)

затрат и метод аналогий. Количественные методы предполагают использование более формализованных инструментов, таких как корректировка нормы дисконта, анализ чувствительности показателей эффективности проекта, сценарный анализ, исследование вероятностных распределений денежных потоков, построение деревьев решений, применение нечетко-множественного анализа и метод Монте-Карло (имитационное моделирование). Использование данных методов позволяет более точно оценить уровень неопределенности и принять обоснованные управленческие решения при реализации проектов строительства жилых комплексов.

Метод Монте-Карло, основанный на имитационном моделировании, позволяет определить вероятностные изменения ключевых показателей проекта в случае возникновения непредвиденных или кризисных ситуаций. Основная цель данного метода заключается в комплексной оценке проектных рисков посредством многократного моделирования различных сценариев реализации инновационного проекта при разных комбинациях случайных значений исходных факторов.

Существенным преимуществом метода Монте-Карло является то, что в процессе моделирования каждого сценария одновременно изменяются значения всех факторных показателей. Это позволяет рассматривать влияние различных факторов на показатели эффективности проекта в совокупности и получать более объективную оценку уровня риска.

Применение методики оценки вероятностей рисков инновационных проектов с использованием метода Монте-Карло включает несколько последовательных этапов. В общем виде процесс работы с моделью можно представить в виде укрупненной схемы (рис. 1).

На первом этапе осуществляется определение ключевых переменных инвестиционного проекта и установление возможных диапазонов их изменения. Как правило, выделяются наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на уровень риска инвестиционно-инновационных проектов. К таким факторам относятся риск нереализации новых

Таблица 1. Вероятностные интервалы изменения показателя NPV

Вероятность попадания значения NPV	Интервал возможных значений
68,2 %	$NPV_{cp} - \sigma \leq NPV \leq NPV_{cp} + \sigma$
95,4 %	$NPV_{cp} - 2\sigma \leq NPV \leq NPV_{cp} + 2\sigma$
99,7 %	$NPV_{cp} - 3\sigma \leq NPV \leq NPV_{cp} + 3\sigma$

технологий и продуктов, коммерческие риски (маркетинговые и деловые), риск ошибочного прогнозирования рыночной ситуации и использования некорректных исходных данных, риск невозврата заемных средств, эксплуатационные или производственные риски, а также риск усиления конкурентной среды и другие возможные угрозы.

На втором этапе устанавливаются границы вероятностного распределения факторов – определяется минимальное и максимальное значение их возможного изменения на протяжении всего расчетного периода. С использованием математических функций формируются случайные значения рассматриваемых параметров. Поскольку применение метода Монте-Карло связано со значительным объемом вычислений, генерация случайных значений факторов осуществляется с помощью стандартных инструментов *MS Excel*.

Далее моделируются различные варианты развития проекта. При этом параметры, влияющие на показатели его эффективности, рассматриваются как случайные величины, что позволяет получить множество возможных сценариев реализации.

В качестве итогового показателя используется NPV (чистая приведенная стоимость проекта). Реализация метода Монте-Карло в среде *MS Excel* позволяет сформировать таблицу, содержащую значения NPV , полученные в ходе каждой имитации. После проведения моделирования рассчитываются основные статистические характеристики – математическое ожидание и стандартное отклонение NPV .

Для инвестора математическое ожидание отражает ожидаемый уровень доходности инвестиционного проекта, тогда как стандартное отклонение характеризует степень его устойчивости и уровень риска. Соответственно, мероприятия по управлению рисками направлены на снижение величины стандартного отклонения, что способствует повышению вероятности получения стабильной прибыли.

Одним из статистических показателей оценки риска выступает коэффициент вариации. Согласно статистическому правилу трех сигм, значение NPV с определенной вероятностью будет находиться в следующих интервалах (табл. 1).

Величина проектного риска оценивается на основе значения коэффициента вариации, который выступает относительным показателем неопределенности. В зависимости от его значения проводится ранжирование анализируемого проекта и определяется соответствующий класс риска.

Оценка и управление рисками инвестиционно-строительных проектов жилых комплексов позволяет не только минимизировать потенциальные финансовые потери, но и повысить эффективность планирования и реализации проекта в целом. На основании полученных данных о вероятностных интервалах NPV и классах проектных рисков руководство застройщика может принимать обоснованные решения о выборе источников финансирования, оптимизации сроков строительства и распределении ресурсов между различными этапами проекта.

Применение метода Монте-Карло в контексте жилых комплексов особенно важно для

Таблица 2. Классы проектных рисков

Уровень риска	Коэффициент вариации	Класс риска
Слабый риск	$< 0,1$	1
Умеренный риск	$0,1-0,2$	2
Сильный риск	$0,2-0,5$	3
Критический риск	$> 0,5$	4

анализа проектов с высокой долей инноваций, например, внедрения энергосберегающих технологий, «умных» систем управления зданиями, модульного строительства или современных архитектурных решений. Благодаря имитационному моделированию можно заранее оценить влияние технологических и финансовых неопределенностей на конечные показатели проекта, а также выявить наиболее уязвимые элементы инвестиционной стратегии.

Дополнительно результаты моделирования позволяют формировать комплекс мер по управлению рисками. Так, для снижения вероятности потерь инвестор может использовать страхование строительных рисков, заключение долгосрочных контрактов с поставщиками материалов, контроль финансовой дисциплины подрядчиков и оптимизацию маркетинговой стратегии продаж квартир. Также важным инструментом является проведение регулярного мониторинга ключевых показателей проекта с последующей корректировкой стратегии в зависимости от изменения внешней и внутренней среды.

Таким образом, интеграция методов количественной оценки рисков, включая метод Монте-Карло, в систему управления инвестиционно-строительными проектами жилых комплексов позволяет:

- 1) обеспечить прозрачность и предсказуемость финансовых результатов проекта;
- 2) снизить уровень неопределенности и минимизировать вероятность возникновения критических ситуаций;
- 3) обосновать управленческие решения по распределению ресурсов и выбору оптимальной стратегии реализации проекта;
- 4) повысить доверие инвесторов и других заинтересованных сторон за счет использования объективных аналитических методов.

В совокупности это способствует устойчивому развитию застройщиков на рынке недвижимости, позволяет более эффективно внедрять инновационные решения и создавать конкурентоспособные жилые комплексы, отвечающие современным требованиям качества, комфорта и энергоэффективности.

Литература

1. Вардомацкая, Е.Ю. Имитационное моделирование инвестиционных рисков методом Монте Карло / Е.Ю. Вардомацкая // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2022. – № 4. – С. 45–52 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-investitsionnyh-riskov-metodom-monte-karlo>.
2. Гарматина, И.А. Применение метода Монте Карло для имитационного моделирования в управлении рисками инновационного проекта / И.А. Гарматина // Вестник совре-

менных исследований. – 2021. – Т. 12. – № 2. – С. 23–31 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metoda-monte-karlo-dlya-imitatsionnogo-modelirovaniya-v-upravlenii-riskami-innovatsionnogo-proekta>.

3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (2-я редакция) Министерство экономики РФ, Министерство финансов РФ, Государственный комитет РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике № ВК 477 от 21.06.1999.

4. Маринина, О.А. Анализ методов оценки инвестиционных рисков / О.А. Маринина // Экономический анализ: теория и практика. – 2013. – № 1. – С. 25–31.

5. Малых, Е.Б. Мировой опыт управления рисками инвестиционных проектов в области строительства многоквартирных домов по методу Монте-Карло с использованием приложения для Microsoft Excel Oracle Crystal Ball / Е.Б. Малых // Экономика и управление. – 2018. – № 11. – С. 92–97.

References

1. Vardomatskaya, E.YU. Imitatsionnoe modelirovanie investitsionnykh riskov metodom Monte Karlo / E.YU. Vardomatskaya // Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy. – 2022. – № 4. – С. 45–52 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-investitsionnykh-riskov-metodom-monte-karlo>.

2. Garmatina, I.A. Primenenie metoda Monte Karlo dlya imitatsionnogo modelirovaniya v upravlenii riskami innovatsionnogo proekta / I.A. Garmatina // Vestnik sovremennykh issledovaniy. – 2021. – Т. 12. – № 2. – С. 23–31 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metoda-monte-karlo-dlya-imitatsionnogo-modelirovaniya-v-upravlenii-riskami-innovatsionnogo-proekta>.

3. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh projektov (2-ya redaktsiya) Ministerstvo ekonomiki RF, Ministerstvo finansov RF, Gosudarstvennyi komitet RF po stroitel'noy, arkhitekturnoy i zhilishchnoy politike № ВК 477 от 21.06.1999.

4. Marinina, O.A. Analiz metodov otsenki investitsionnykh riskov / O.A. Marinina // Ekonomicheskiy analiz: teoriya i praktika. – 2013. – № 1. – С. 25–31.

5. Malykh, E.B. Mirovoj opyt upravleniya riskami investitsionnykh projektov v oblasti stroitelstva mnogokvartirnykh domov po metodu Monte-Karlo s ispolzovaniem prilozheniya dlya Microsoft Excel Oracle Crystal Ball / E.B. Malykh // Ekonomika i upravlenie. – 2018. – № 11. – С. 92–97.

Evaluating the Effectiveness of Simulation Modeling in Risk Management of Residential Construction Projects

S.S. Mikhailov, V.V. Luchkina

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

Key words and phrases: innovation activity; risk; Monte Carlo risk assessment method; residential complex.

Abstract. This article is devoted to evaluating the effectiveness of simulation modeling in the risk management of investment and construction projects of residential complexes. The

purpose of the study is to substantiate the feasibility of using the Monte Carlo method to improve the quality of project risk analysis and management. The research hypothesis assumes that the application of simulation modeling increases the accuracy of uncertainty assessment and ensures more well-founded managerial decisions compared to traditional risk analysis methods.

To achieve this goal, the following objectives were addressed: classification of risks in investment and construction projects was carried out, the main methods of their assessment were analyzed, an algorithm for applying the Monte Carlo method was developed, and probabilistic deviations of key project performance indicators were evaluated.

The research methods include economic and statistical analysis, simulation modeling, probabilistic analysis, and the Monte Carlo method implemented using MS Excel tools.

The results of the study demonstrate that the application of the Monte Carlo method makes it possible to generate multiple project implementation scenarios, take into account the interdependence of risk factors, and obtain a quantitative assessment of the probability of achieving target indicators (NPV, IRR, and project duration). It has been established that the use of this approach improves the validity of managerial decisions, reduces the level of uncertainty, and enables the development of effective risk mitigation measures.

© С.С. Михайлов, В.В. Лучкина, 2026

УДК 69.05; 656.615

Автоматизированные технологии контроля качества и повышение надежности конструкций при строительстве портовых сооружений

В.А. Муря, А.Ю. Пономарев

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

Ключевые слова и фразы: автоматизированные системы; вибрационный анализ; контроль качества; мониторинг технического состояния; морская среда; надежность конструкций; неразрушающий контроль; портовые сооружения; ультразвуковой контроль.

Аннотация. Целью исследования является анализ современных автоматизированных технологий контроля качества, применяемых при возведении портовых сооружений, а также оценка их потенциала в повышении надежности строительных конструкций на стадиях строительства и ранней эксплуатации.

В качестве гипотезы исследования выдвинуто положение о том, что интеграция автоматизированных систем неразрушающего контроля и мониторинга в процесс строительства портовых сооружений позволяет повысить полноту, объективность и оперативность выявления дефектов по сравнению с традиционными методами, основанными преимущественно на визуальном осмотре и выборочных измерениях.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проанализированы ограничения традиционных методов контроля качества при строительстве портовых сооружений; систематизированы современные автоматизированные методы неразрушающего контроля, включая ультразвуковой, вибрационный, акустико-эмиссионный, оптоволоконный контроль и цифровое компьютерное зрение; исследованы возможности их практического применения для диагностики скрытых дефектов в железобетонных и металлических элементах; предложена концепция интеграции автоматизированных систем мониторинга в процесс возведения портовых сооружений.

Методологическую основу исследования составили:

анализ научно-технической литературы, сравнительный анализ методов контроля, систематизация существующих технологий автоматизированной диагностики, а также концептуальное моделирование архитектуры системы мониторинга.

В результате исследования установлено, что традиционные методы контроля качества не обеспечивают достаточной эффективности при своевременном выявлении внутренних и скрытых дефектов в строительных конструкциях портовых сооружений. Показано, что автоматизированные технологии контроля обладают высоким потенциалом для повышения достоверности и непрерывности диагностирования. Разработана авторская концепция интеграции автоматизированных систем мониторинга, основанная на модульном принципе, трехуровневой архитектуре обработки данных и комбинированном применении разнотипных датчиков. Сформулированы практические рекомендации по поэтапному внедрению автоматизированного контроля в строительный цикл. Сделан вывод о целесообразности использования автоматизированных систем как инструмента повышения надежности, качества и безопасности портовых сооружений.

Введение

Повышение требований к безопасности, долговечности и эксплуатационной устойчивости портовой инфраструктуры обуславливает необходимость совершенствования методов контроля качества строительных работ. Портовые сооружения функционируют в условиях агрессивной морской среды, циклических нагрузок, швартовочных воздействий, коррозии и переменных климатических факторов. В этих условиях начальные технологические дефекты, сформировавшиеся на стадии возведения, могут в дальнейшем приводить к ускоренному снижению несущей способности конструкций гидротехнических сооружений [1] и росту затрат на ремонт.

Традиционные методы контроля качества в портовом строительстве, включающие визуальный осмотр, ручные измерения и локальные инструментальные проверки, сохраняют практическое значение, однако обладают ограниченной чувствительностью к скрытым дефектам и не обеспечивают непрерывности наблюдения. В связи с этим возрастает интерес к автоматизированным системам неразрушающего контроля [5] и мониторинга, позволяющим фиксировать изменения технического состояния конструкций на более ранних стадиях.

Целью статьи является анализ современных автоматизированных технологий контроля качества, применяемых при возведении портовых сооружений, а также разработка авторской концепции их интеграции в строительный процесс для повышения надежности конструкций.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- проанализированы ограничения традиционных методов контроля;
- систематизированы автоматизированные технологии неразрушающего контроля;

Таблица 1. Сравнительная характеристика автоматизированных методов контроля портовых сооружений

Метод	Контролируемые параметры	Основные выявляемые дефекты	Преимущества	Ограничения
Ультразвуковой контроль	Скорость прохождения волн, отраженный сигнал	Пустоты, расслоения, трещины, дефекты швов	Высокая информативность при контроле внутренних зон	Зависимость от качества контакта и геометрии
Вибрационный анализ	Частоты, амплитуды, резонансные характеристики	Снижение жесткости, повреждения свай, усталостные дефекты	Эффективен для динамически нагруженных элементов	Требуется базового эталонного состояния
Акустическая эмиссия	Импульсы упругих волн при развитии дефекта	Активные трещины, зоны концентрации напряжений	Возможность раннего выявления активных повреждений	Сложность фильтрации шумов
Компьютерное зрение	Фото- и видеоданные	Коррозия, трещины, сколы, отклонения геометрии	Высокая скорость и дистанционный формат обследования	Ограничено поверхностной диагностикой
Волоконно-оптические и тензометрические датчики	Деформации, перемещения, напряжения	Локальные деформационные аномалии, усталостные зоны	Высокая чувствительность и возможность длительного мониторинга	Повышенные требования к монтажу и защите

- предложена концептуальная модель интеграции систем мониторинга в процесс возведения портовых сооружений;
- сформулированы практические рекомендации по внедрению данных технологий.

Материалы и методы

Исследование носит научно-обзорный и концептуально-методический характер. Объектом исследования являются железобетонные и металлические конструкции портовых сооружений. Предмет исследования – автоматизированные технологии контроля качества и мониторинга технического состояния конструкций на стадии возведения.

В работе использованы методы анализа научной литературы, сравнительного сопоставления технологий неразрушающего контроля, структурно-функционального моделирования архитектуры мониторинга и обобщения практических рекомендаций по внедрению систем автоматизированного контроля.

Следует отметить, что статья не содержит натурной экспериментальной апробации на конкретном объекте; представленные положения носят обзорно-аналитический и концептуальный характер.

Ограничения традиционных методов контроля качества

Контроль качества в портовом строительстве традиционно базируется на визуальном обследовании, механических измерениях, простукивании, проверке геометрических пара-



Рис. 1. Авторская модель интеграции автоматизированного контроля

метров и локальных испытаниях материалов. Данные методы просты в организации и не требуют сложной инфраструктуры, однако имеют ряд существенных ограничений.

Прежде всего, традиционные способы контроля ориентированы преимущественно на выявление поверхностных дефектов и не позволяют достоверно обнаруживать скрытые повреждения, включая внутренние пустоты, микротрещины, расслоения, локальную коррозию арматуры и дефекты сварных соединений. Кроме того, ручной характер обследования [6] повышает трудоемкость работ, снижает скорость получения информации и увеличивает зависимость результатов от квалификации специалиста.

Для портовых сооружений эти ограничения особенно существенны, поскольку скрытые дефекты в условиях морской среды способны быстро прогрессировать под действием влаги, солей, переменных нагрузок и вибраций. Следовательно, повышение достоверности контроля качества требует перехода от преимущественно выборочных обследований к более системному и технологически оснащенному подходу.

Современные автоматизированные технологии контроля

Автоматизированные технологии контроля качества включают совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих сбор, передачу, обработку и интерпретацию данных о состоянии конструкций. Их преимущество заключается в возможности повышения объективности и оперативности контроля.

Наиболее распространенные методы, представляющие интерес для портового строительства, приведены в табл. 1.

Автоматизированные методы целесообразно использовать не изолированно, а в составе комбинированной системы контроля. Для железобетонных конструкций приоритетными являются ультразвуковые, акустико-эмиссионные и коррозионные методы, а для

Таблица 2. Функции уровней системы автоматизированного контроля

Уровень	Состав	Основные функции
Сенсорный	Ультразвуковые, вибрационные, акустико-эмиссионные, тензометрические, оптоволоконные датчики, камеры	Измерение параметров состояния конструкций
Уровень агрегации	Локальные контроллеры, шлюзы, модули связи	Сбор, буферизация, фильтрация, синхронизация и передача данных
Аналитический	Сервер обработки, программные модули анализа, интерфейс оператора	Выявление аномалий, интерпретация данных, поддержка принятия решений

металлических конструкций – ультразвуковые, вибрационные, тензометрические и оптоволоконные средства.

Авторская концепция интеграции автоматизированного контроля

На основе проведенного анализа предлагается авторская концепция интеграции автоматизированного контроля в процесс возведения портовых сооружений. Ее основой является переход от разовых локальных проверок к поэтапному многоканальному мониторингу, ориентированному на наиболее ответственные и дефектоопасные элементы.

Ключевые принципы концепции:

- модульность;
- этапность внедрения;
- комбинирование методов;
- непрерывность наблюдения;
- централизованная аналитическая обработка данных;
- использование результатов мониторинга для поддержки инженерных решений.

Предлагаемая модель позволяет встроить автоматизированный контроль в общий контур строительного управления без отказа от традиционных процедур строительного надзора. На стадии устройства оснований и фундаментов приоритет должен отдаваться контролю геометрии, целостности бетонных массивов и состояния свай. На стадии монтажа надземных и надводных элементов возрастает значение контроля сварных соединений, деформаций и коррозионно-опасных зон. На завершающем этапе формируется базовый цифровой профиль состояния объекта для последующего мониторинга при эксплуатации.

Архитектура системы мониторинга

С практической точки зрения рациональной является трехуровневая архитектура системы мониторинга.

На сенсорном уровне ключевое значение имеет устойчивость датчиков к воздействию влаги, солей, перепадов температур и вибраций. На уровне агрегации необходимо обеспечить синхронизацию данных от разнородных устройств. Аналитический уровень должен объединять статистические методы, пороговые критерии и, при наличии достаточной базы данных, алгоритмы машинного обучения.

Таблица 3. Матрица применимости методов контроля к типам конструкций и дефектов

Тип конструкции/ дефекта	УЗК	Вибрационный анализ	Акустическая эмиссия	Компьютерное зрение	Тензо-/ оптоволоконный контроль
Железобетонные массивы	+++	+	++	+	++
Свайные элементы	++	+++	++	–	++
Металлические конструкции	++	++	++	++	+++
Сварные соединения	+++	+	+	+	++
Коррозионные повреждения	+	+	+	+++	++
Микротрещины и активные дефекты	++	++	+++	+	++

Условные обозначения: +++ – высокая применимость; ++ – средняя применимость; + – низкая применимость.

Сравнительная матрица применимости методов

Для выбора рациональной комбинации технологий при возведении портовых сооружений целесообразно использовать сравнительную матрицу применимости методов (табл. 3).

Матрица показывает, что наибольшая эффективность достигается не за счет одного универсального метода, а благодаря их сочетанию с учетом типа конструкции и характера возможного повреждения.

Влияние автоматизированного контроля на надежность конструкций

Автоматизированный контроль [8] не увеличивает прочность конструкции непосредственно, однако позволяет повысить вероятность своевременного выявления дефектов и тем самым улучшить качество инженерных решений на стадии строительства. Это создает предпосылки для снижения вероятности пропуска опасных отклонений, локализации дефектных зон и принятия мер до ввода объекта в эксплуатацию.

С точки зрения обеспечения надежности автоматизированные системы наиболее полезны в следующих аспектах:

- выявление скрытых и развивающихся дефектов;
- сокращение временного интервала между возникновением повреждения и реакцией инженерной службы;
- накопление данных для последующей оценки остаточного ресурса;
- снижение влияния субъективного фактора при интерпретации состояния конструкций.

Таким образом, применение автоматизированного контроля целесообразно рассматривать как элемент риск-ориентированного обеспечения качества, особенно для ответственных элементов портовых сооружений, работающих в агрессивной среде.

Практические рекомендации по внедрению

Внедрение автоматизированных систем контроля качества при возведении портовых сооружений рекомендуется осуществлять поэтапно.

На первом этапе следует провести аудит технологических операций и выделить наиболее критические зоны контроля: свайные основания, массивные бетонные блоки, сварные соединения, участки возможной коррозии и элементы, работающие под динамическими нагрузками.

На втором этапе целесообразно организовать пилотное внедрение на ограниченном наборе конструктивных элементов. Это позволит оценить эффективность выбранных методов, требования к монтажу датчиков и устойчивость оборудования в реальных условиях.

На третьем этапе системы автоматизированного контроля должны интегрироваться в существующий контур строительного контроля, включая исполнительную документацию, процедуры технического надзора и регламенты принятия решений.

Важными сопутствующими условиями являются:

- подготовка персонала;
- периодическая калибровка оборудования;
- резервирование критических компонентов;
- адаптация нормативно-технической документации;
- защита датчиков и линий связи от воздействия морской среды [7].

Заключение

Проведенный анализ показал, что традиционные методы контроля качества при возведении портовых сооружений не обеспечивают достаточной полноты диагностики скрытых дефектов и должны быть дополнены автоматизированными средствами мониторинга. Наиболее перспективными для портового строительства являются ультразвуковые, вибрационные, акустико-эмиссионные, тензометрические, оптоволоконные и визуально-аналитические методы контроля.

Предложенная авторская концепция интеграции автоматизированных технологий основана на модульном подходе, трехуровневой архитектуре системы и комбинированном применении разнотипных датчиков. Такой подход позволяет повысить объективность и оперативность контроля, сформировать более полную информационную базу о состоянии конструкций и улучшить качество инженерных решений на стадии строительства.

Практическая реализация автоматизированного контроля требует поэтапного внедрения, подготовки персонала, обеспечения устойчивости оборудования к морской среде и дальнейшего развития нормативной базы. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой цифровых двойников портовых сооружений, совершенствованием алгоритмов обработки данных и расширением применения интеллектуальных систем мониторинга в морской инфраструктуре.

Литература

1. Вронская, Е.С. Расчет гидротехнических сооружений, допускающих их моделирование в виде призматических систем / Е.С. Вронская // Градостроительство и архитектура. – 2016. – № 4. – С. 59–63.

2. Запруднов, В.И. Методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций / В.И. Запруднов, Н.Г. Серегин // *Forestry Bulletin*. – 2019. – № 5. – С. 108–115.
3. Иванов, В.Г. Автоматизированный ультразвуковой контроль клеевых соединений и трехслойных конструкций из полимерных композиционных материалов / В.Г. Иванов, Г.П. Стариковский, А.А. Бойцов и др. // *NDT World*. – 2021. – № 1. – С. 34–39.
4. Ким, Л.В. Долговечность морских железобетонных конструкций / Л.В. Ким, С.Н. Леонovich // *Известия КГАСУ*. – 2025. – № 1. – С. 92–101.
5. Матюк, В.Ф. Влияние технологии производства листового проката низкоуглеродистых качественных сталей на их структурное состояние и взаимосвязь между механическими и магнитными свойствами (обзор) / В.Ф. Матюк // *Неразрушающий контроль и диагностика*. – 2011. – № 1. – С. 3–5.
6. Поликутин, А.Э. Правила обследования строительных конструкций зданий и сооружений : методические указания / А.Э. Поликутин. – Воронеж : Воронежский ГАСУ, 2015. – 8 с.
7. Савенков, Д.В. Защита морских сооружений от коррозии / Д.В. Савенков, В.В. Першуков, Е.Ю. Вахрушев // *Морские порты*. – 2012. – № 6. – С. 52–53.
8. Салихова, Э.В. Использование информационных технологий в строительстве, их роль на всех этапах жизненного цикла объекта / Э.В. Салихова, Л.Р. Зайдуллин, Э.И. Исламова и др. // *Вестник евразийской науки*. – 2024. – № 3. – С. 1–10.

References

1. Vronskaya, E.S. Raschet gidrotekhnicheskikh sooruzhenij, dopuskayushchikh ikh modelirovanie v vide prizmaticheskikh sistem / E.S. Vronskaya // *Gradostroitelstvo i arkhitektura*. – 2016. – № 4. – С. 59–63.
2. Zaprudnov, V.I. Metody i sredstva monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya stroitelnykh konstruksij / V.I. Zaprudnov, N.G. Seregin // *Forestry Bulletin*. – 2019. – № 5. – С. 108–115.
3. Ivanov, V.G. Avtomatizirovannyj ultrazvukovoj kontrol kleevykh soedinenij i trekhslojnykh konstruksij iz polimernykh kompozitsionnykh materialov / V.G. Ivanov, G.P. Starikovskij, A.A. Bojtsov i dr. // *NDT World*. – 2021. – № 1. – С. 34–39.
4. Kim, L.V. Dolgovechnost morskikh zhelezobetonnykh konstruksij / L.V. Kim, S.N. Leonovich // *Izvestiya KGASU*. – 2025. – № 1. – С. 92–101.
5. Matyuk, V.F. Vliyanie tekhnologii proizvodstva listovogo prokata nizkouglerodistykh kachestvennykh stalej na ikh strukturnoe sostoyanie i vzaimosvyaz mezhdru mekhanicheskimi i magnitnymi svojstvami (obzor) / V.F. Matyuk // *Nerazrushayushchij kontrol i diagnostika*. – 2011. – № 1. – С. 3–5.
6. Polikutin, A.E. Pravila obsledovaniya stroitelnykh konstruksij zdaniy i sooruzhenij : metodicheskie ukazaniya / A.E. Polikutin. – Voronezh : Voronezhskij GASU, 2015. – 8 s.
7. Savenkov, D.V. Zashchita morskikh sooruzhenij ot korrozii / D.V. Savenkov, V.V. Pershukov, E.YU. Vakhrushev // *Morskie porty*. – 2012. – № 6. – С. 52–53.
8. Salikhova, E.V. Ispolzovanie informatsionnykh tekhnologij v stroitelstve, ikh rol na vsekh etapakh zhiznennogo tsikla obekta / E.V. Salikhova, L.R. Zajdullin, E.I. Islamova i dr. // *Vestnik evrazijskoj nauki*. – 2024. – № 3. – С. 1–10.

Automated Quality Control Technologies and Enhancing the Reliability of Structures During the Construction of Port Facilities

V.A. Murya, A.Yu. Ponomarev

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

Key words and phrases: port facilities; quality control; non-destructive testing; technical condition monitoring; automated systems; structural reliability; marine environment; ultrasonic testing; vibration analysis.

Abstract. The purpose of the study is to analyze modern automated quality control technologies used in the construction of port facilities, as well as to assess their potential in improving the reliability of building structures at the stages of construction and early operation.

The hypothesis of the study is that the integration of automated non-destructive testing and monitoring systems into the construction of port facilities makes it possible to increase the completeness, objectivity and efficiency of defect detection compared with traditional methods based mainly on visual inspection and sample measurements.

To achieve this goal, the following problems were solved: the limitations of traditional quality control methods in the construction of port facilities were analyzed; modern automated methods of non-destructive testing, including ultrasonic, vibration, acoustic emission, fiber-optic control and digital computer vision, were systematized; the possibilities of their practical application for the diagnosis of hidden defects in reinforced concrete and metal elements were investigated.; The concept of integrating automated monitoring systems into the construction of port facilities is proposed.

The methodological basis of the study was the analysis of scientific and technical literature, comparative analysis of control methods, systematization of existing automated diagnostic technologies, as well as conceptual modeling of the monitoring system architecture.

As a result of the study, it was found that traditional quality control methods do not provide sufficient efficiency in timely detection of internal and hidden defects in the building structures of port facilities. It is shown that automated control technologies have a high potential to increase the reliability and continuity of diagnosis. The authors' concept of integration of automated monitoring systems has been developed, based on a modular principle, a three-level data processing architecture and the combined use of various types of sensors. Practical recommendations for the phased implementation of automated control in the construction cycle are formulated. It is concluded that it is advisable to use automated systems as a tool to improve the reliability, quality and safety of port facilities.

© В.А. Муря, А.Ю. Пономарев, 2026

УДК 692.232.44

Оптимизация организационно-технологических решений монтажа навесных вентилируемых фасадов при строительстве жилых комплексов

Д.А. Сапронов, В.В. Лучкина

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

Ключевые слова и фразы: календарное планирование; механизация работ; монтаж фасадов; навесные вентилируемые фасады, оптимизация ресурсов; организационно-технологические решения; производственный контроль.

Аннотация. Оптимизация организационно-технологических решений монтажа навесных вентилируемых фасадов в жилищном строительстве рассматривается как инструмент повышения управляемости сроков, ресурсов и качества фасадных работ. Акцент сделан на взаимосвязи выбора облицовочных материалов и подсистем с составом операций, механизацией, логистикой и организацией фронтов на захватках. Отдельно выделены вопросы нормативных ограничений и производственного контроля, влияющих на устойчивость технологической схемы. Обоснована необходимость согласования проектных решений с возможностями подрядчика и условиями площадки, а также применения индустриальных и модульных подходов для снижения трудоемкости и повышения предсказуемости выполнения работ на объектах жилых комплексов.

Навесные вентилируемые фасады (**НВФ**) применяются при реконструкции и новом строительстве как средство повышения энергоэффективности и улучшения микроклимата, отличаясь долговечностью и вариативностью облицовки при массовом использовании [1]. Вместе с тем эксплуатационная надежность системы зависит от корректного подбора и монтажа утеплителя: уменьшение его толщины и дефекты облицовки ведут к росту теплопотерь и увлажнению слоя, при этом за 16 лет эксплуатации минераловатные плиты могут увеличиваться в толщине до 40 %, а их теплопроводность возрастает почти вдвое, что снижает теплозащитные свойства. Дополнительные риски связаны с возможным выносом волокон утеплителя, высокой стоимостью импортных технологий – до трех раз выше традиционных решений – и нарушениями регламентов монтажа.

Универсальность навесных вентилируемых фасадов проявляется в возможности их



Рис. 1. Устройство НВФ с применением утеплителя

применения как при возведении новых жилых комплексов, так и при реконструкции существующих зданий, при этом монтажные работы допускается выполнять круглогодично [2]. К числу эксплуатационных преимуществ относятся: повышение теплозащитных характеристик за счет эффективного теплоизоляционного слоя, улучшение звукоизоляции, сравнительно небольшой собственный вес системы, разнообразие облицовочных материалов и цветовых решений, а также длительный срок службы конструкции.

Существенным ограничением применения навесных вентилируемых фасадов остается неполная и длительное время несистематизированная нормативная база: в проектной практике приходилось опираться на устаревшие СНиПы и ГОСТы, не отражающие специфику НВФ, при этом использование зарубежных стандартов было затруднено [3]. Лишь в последние годы появились отдельные регламенты, включая технические свидетельства ФЦС Госстроя России, рекомендации ЦНИИСК им. Кучеренко и региональные ТСН, а также уточнены требования по пожарным испытаниям с определением допустимой высоты применения. Одновременно разнообразие конструктивных решений и материалов усложняет контроль качества, а использование отдельных облицовочных элементов и ветрозащитных пленок при нарушении технологии монтажа может снижать вентиляционный зазор, ухудшать теплотехнические характеристики и повышать пожарные риски, что требует строгого соблюдения технических требований.

Индустриализация монтажа навесных вентилируемых фасадов основана на применении укрупненных железобетонных панелей заводской готовности с интегрированными элементами крепления, что позволяет перенести значительную часть операций в производственные условия и сократить объем работ на фасаде [4]. В отличие от традиционной схемы с высокой долей ручного труда и использованием лесов и подъемников, монтаж панелей выполняется башенными кранами с применением траверс и подкосов, что снижает трудоемкость в 4–6 раз, исключает ряд кладочных и отделочных операций и ускоряет общий темп строительства. При этом удельная стоимость фасадных работ, составляющая при классическом подходе 1500–6000 руб./м² при трудоемкости 0,5–2 чел.-дн., становится более стабильной и прогнозируемой, а заводской контроль обеспечивает точность монта-

жа в пределах 5–20 мм и снижение влияния человеческого фактора, что особенно актуально для жилых комплексов с жесткими сроками реализации.

Проектирование навесных вентилируемых фасадов начинается с визуализации, формирующей архитектурный облик и цветовые решения, после чего подключается рабочая группа – архитектор, конструктор, технолог и сметчик, разрабатывающие документацию и подбирающие материалы с учетом производственных возможностей, что отражает междисциплинарный характер процесса [5]. Современный рынок включает более двадцати видов облицовки, которые условно подразделяются на группы:

- каменные (натуральный и декоративный камень, керамогранит);
- кирпичные (клинкерная плитка, фиброцементные панели);
- металлические (сайдинг, кассеты и композитные панели, алюминий);
- пластиковые (полиэстеровые панели, виниловый сайдинг);
- древесные (термодерево, блок-хаус, планкен, керамогранит с древесной текстурой);
- стеклянные (ударопрочные стеклопакеты).

К инновационным фасадным решениям относится применение *ETFE* (этилен-тетрафторэтилен) – легкого фторполимерного материала, используемого в системе *Texlon* в виде многослойных пневматических панелей с воздушной прослойкой. Материал обладает высокой светопропускной способностью, химической и ультрафиолетовой стойкостью и допускает использование в ограждающих конструкциях больших пролетов при минимальной нагрузке на каркас. Вместе с тем внедрение *ETFE*-систем ограничено узкой специализацией проектных и монтажных организаций.

При оптимизации организационно-технологических решений монтажа НВФ ключевым фактором является масса и тип облицовочного материала, так как именно они определяют выбор подсистемы, шаг кронштейнов, требования к жесткости и состав механизации. Легкие решения с удельным весом порядка 10–11 кг/м² позволяют применять облегченные алюминиевые системы и увеличивать темп работ, тогда как средние и тяжелые материалы с нагрузкой 30–100 кг/м² и более требуют стальных подсистем, усиленных узлов и более строгой организации фронтов. Практика показывает, что при сопоставимых площадях производительность может варьироваться от 540–640 м² в месяц для традиционных схем до 800 м² и выше при использовании модульных решений, что напрямую влияет на календарный график строительства жилого комплекса [6]. Сравнение вариантов устройства фасада с утеплителем и без него демонстрирует различия по трудоемкости, срокам и стоимости. При наличии утеплителя увеличиваются объем операций и продолжительность выполнения работ, это отражается на трудозатратах и себестоимости, тогда как упрощенные решения позволяют сократить сроки до 1 недели на отдельной захватке и снизить удельные затраты на несколько сотен рублей за квадратный метр [7]. В условиях строительства жилых комплексов выбор такого решения должен рассматриваться как управляемый параметр проекта, влияющий на критический путь, потребность в ресурсах и финансовую модель.

Оптимизация монтажа НВФ должна основываться на увязке массы облицовки, конструкции, механизации и последовательности работ с календарным планом объекта. Рациональное сочетание подсистемы, типа облицовки и схемы монтажа позволяет сократить продолжительность работ и стабилизировать себестоимость проекта без снижения эксплуатационных характеристик ограждающих конструкций.

Литература

1. Баталов, С.К. Анализ существующих систем навесных вентилируемых фасадов и выявление недостатков фасадных конструкций / С.К. Баталов // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2020. – № 4. – С. 214–218.
2. Назаров, Х.Х. Особенности устройства навесных вентилируемых фасадов / Х.Х. Назаров // Вестник науки. – 2021. – № 3(36). – С. 112–115.
3. Обухова, А.А. Навесные вентилируемые фасады: проблемы состояния нормативов и вопросы применения некоторых материалов / А.А. Обухова // Вестник магистратуры. – 2015. – № 6-1(45). – С. 63–64.
4. Афанасьев, А.А. Инновационная технология возведения навесных вентилируемых фасадов в гражданском строительстве / А.А. Афанасьев, А.А. Жунин // Вестник МГСУ. – 2017. – № 9(108). – С. 981–989.
5. Кравцова, А.А. Инновационные решения при применении навесных вентилируемых фасадов / А.А. Кравцова, А.В. Цейко // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2022. – № 4. – С. 1101–1110.
6. Волков, М.Ю. Навесные фасадные системы. Влияние облицовочных материалов и архитектурных особенностей зданий и сооружений на организационно-технологические решения / М.Ю. Волков, Л.С. Сабитов // ИВД. – 2025. – № 4(124). – С. 1–17.
7. Лapidус, А.А. Сравнение организационно-технологических показателей при устройстве навесных вентилируемых фасадов с применением утеплителя и без него / А.А. Лapidус, С.Б. Синицына, К.А. Давлятшин, В.Д. Евстигнеев // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 4. – С. 360–363.

References

1. Batalov, S.K. Analiz sushchestvuyushchikh sistem navesnykh ventiliruemykh fasadov i vyyavlenie nedostatkov fasadnykh konstruksij / S.K. Batalov // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologij «Integral». – 2020. – № 4. – S. 214–218.
2. Nazarov, KH.KH. Osobennosti ustrojstva navesnykh ventiliruemykh fasadov / KH.KH. Nazarov // Vestnik nauki. – 2021. – № 3(36). – S. 112–115.
3. Obukhova, A.A. Navesnye ventiliruemye fasady: problemy sostoyaniya normativov i voprosy primeneniya nekotorykh materialov / A.A. Obukhova // Vestnik magistratury. – 2015. – № 6-1(45). – S. 63–64.
4. Afanasev, A.A. Innovatsionnaya tekhnologiya vozvedeniya navesnykh ventiliruemykh fasadov v grazhdanskom stroitelstve / A.A. Afanasev, A.A. ZHunin // Vestnik MGSU. – 2017. – № 9(108). – S. 981–989.
5. Kravtsova, A.A. Innovatsionnye resheniya pri primenenii navesnykh ventiliruemykh fasadov / A.A. Kravtsova, A.V. TSejko // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologij «Integral». – 2022. – № 4. – S. 1101–1110.
6. Volkov, M.YU. Navesnye fasadnye sistemy. Vliyanie oblitsovochnykh materialov i arkhitekturnykh osobennostej zdaniy i sooruzhenij na organizatsionno-tekhnologicheskie resheniya / M.YU. Volkov, L.S. Sabitov // IVD. – 2025. – № 4(124). – S. 1–17.
7. Lapidus, A.A. Sravnenie organizatsionno-tekhnologicheskikh pokazatelej pri ustrojstve navesnykh ventiliruemykh fasadov s primeneniem uteplitelya i bez nego / A.A. Lapidus, S.B. Sinitsyna, K.A. Davlyatshin, V.D. Evstigneev // Innovatsii i investitsii. – 2018. – № 4. – S. 360–363.

Optimization of Organizational and Technological Solutions for the Installation of Ventilated Curtain Wall Facades in Residential Complex Construction

D.A. Sapronov, V.V. Luchkina

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

Key words and phrases: ventilated curtain wall facades; organizational and technological solutions; facade installation; work mechanization; schedule planning; production quality control; resource optimization.

Abstract. Optimization of organizational and technological solutions for the installation of ventilated curtain wall facades in residential construction is considered as a tool for improving schedule, resource, and quality controllability of facade works. The focus is placed on the relationship between the selection of cladding materials and substructures and the work breakdown, mechanization, logistics, and work-front organization by zones. Regulatory constraints and production quality control affecting the stability of the technological scheme are highlighted. The need is substantiated to align design decisions with contractor capabilities and site conditions, as well as to apply industrialized and modular approaches to reduce labor intensity and increase predictability of execution in residential complex projects.

© Д.А. Сапронов, В.В. Лучкина, 2026

УДК 692.435

Формирование рациональной технологии устройства мембранных кровель на стадии реализации проекта

С.К. Харламов, В.В. Лучкина

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

Ключевые слова и фразы: кровельные материалы; мембранная кровля; организационно-технологическая надежность; плоские кровельные системы; реализация проекта; стоимость жизненного цикла; технология строительства.

Аннотация. В статье рассматриваются подходы к формированию рациональной технологии устройства мембранной кровли на этапе реализации строительного проекта. Кровельные системы анализируются как комплексные инженерные конструкции, эффективность которых определяется выбором материалов, уровнем организационно-технологических решений и качеством управления строительными процессами. Особое внимание уделено плоским кровлям, особенностям их конструктивных схем и требованиям к обеспечению надежности и долговечности. Рассматривается взаимосвязь технологических параметров, трудоемкости работ и эксплуатационных характеристик. Обоснована необходимость интеграции технических решений с инструментами проектного управления для повышения управляемости строительного процесса и обеспечения устойчивых результатов на протяжении жизненного цикла объекта.

Формирование рациональной технологии устройства мембранных кровель на стадии реализации проекта требует обоснованного выбора конструктивных и организационных решений с учетом влияния на сроки, стоимость и дальнейшую эксплуатацию здания. На этапе производства работ важно не только определить тип покрытия, но и обеспечить согласование технологической последовательности операций, состава слоев и системы контроля качества.

Плоская кровля многоэтажного здания представляет собой многослойную конструкцию, включающую пароизоляцию, утеплитель и гидроизоляционный слой на битумной либо полимерной основе, устраиваемый по железобетонному основанию или выравнивающей стяжке. Для обеспечения водоотвода формируют уклон 1–3 % и систему внутренних либо наружных водостоков; разуклонка выполняется засыпками или бетонными слоями,

Таблица 1. Состав сметной стоимости различных видов кровель, % [3]

Элемент затрат	Рулонная (битумная, антисептированная мастика)	Рулонная (битумно-полимерная мастика)	Мастичная (битумная)	Мастичная (битумно-резиновая)	ПВХ-мембрана
Материальные ресурсы	73,09	78,56	72,71	78,89	67,00
Эксплуатация машин	3,97	2,58	3,72	1,85	7,20
Трудовые затраты	8,35	6,87	8,58	7,00	9,90
Накладные расходы	8,99	7,38	9,24	7,56	9,50
Сметная прибыль	5,60	4,61	5,75	4,69	6,40

что отражается на нагрузке на перекрытие. При реализации мембранных систем особое значение имеют подготовка основания, просушка слоев, герметичность воронок и примыканий. Плоская схема позволяет использовать кровлю как эксплуатируемое пространство и оптимизировать сроки монтажа, однако при нарушении технологии возрастает риск дефектов: до 15–20 % ежегодных расходов на содержание жилфонда связано с ремонтом кровель [1].

Рациональная технология предполагает учет организационно-технологической надежности, под которой понимается способность системы сохранять заданные характеристики при внешних воздействиях. Наиболее уязвимыми остаются примыкания, деформационные швы и зоны водоотвода, поэтому при формировании технологии необходимо ранжировать узлы по степени риска и закреплять контрольные операции в составе ППР. Практика показывает, что дефицит квалификации, недостаточный контроль и упрощение конструктивных решений приводят к росту затрат [2].

В структуре рынка мягкие кровли занимают около 60 % общего объема работ, в промышленном строительстве – до 90 %. Традиционные рулонные материалы на картонной основе отличаются многослойностью и ограниченным ресурсом, тогда как битумно-полимерные композиты с АПП или СБС-модификацией демонстрируют более устойчивую работу в условиях низких температур; применяются материалы типа атаклон, изопласт, изоэласт, филизол [3]. Сокращение числа слоев с пяти до двух уменьшает продолжительность работ и расход материалов, а использование мастик с безвоздушным распылением обеспечивает давление до 200 атмосфер, подачу до 90 м и производительность 500–1000 м²/ч, что влияет на календарные показатели.

Полимерные мембранные покрытия характеризуются теплостойкостью до +150 °С, гибкостью при –65 °С, морозостойкостью 300–500 циклов и сроком службы 15–30 лет. Эти параметры определяют их устойчивость к климатическим воздействиям и позволяют формировать прогнозируемый жизненный цикл кровли. Упрощенная технология сварки полотен повышает скорость монтажа и снижает трудоемкость, что делает мембранные системы технологически обоснованным решением на стадии реализации проекта.

При реконструкции плоских крыш в скатные и капитальном ремонте многоквартирных домов применяют металлические листовые системы – профнастил, фальцевые покры-

тия, листовую и рулонную сталь. По классификации рынок делится на листовые, гибкие и штучные материалы; сопоставление по трудоемкости, массе, ресурсу и стоимости показывает, что металлические решения конкурентоспособны по жизненному циклу при условии качественной тепло- и шумоизоляции [4]. Для профнастила предусматривают несущие профили типов Н и НС с высотой гофры от 35 мм для восприятия нагрузок; при уклонах 6–11° требуется дополнительная герметизация стыков и продольные нахлесты не менее 200 мм. Обязательны гидро-ветрозащитная мембрана и организованный отвод конденсата.

Обоснование рациональной технологии на этапе реализации проекта целесообразно строить на формализованной многокритериальной процедуре выбора [5]. Последовательность принятия решения включает:

- формирование перечня альтернативных технологических решений;
- определение системы критериев оценки, как правило: трудоемкость, продолжительность работ, фонд оплаты труда, сметная стоимость, ожидаемый срок службы и эксплуатационные затраты;
- сбор и систематизацию исходных данных по каждому варианту;
- приведение показателей к сопоставимому виду и их нормализацию для исключения влияния различной размерности;
- установление весовых коэффициентов критериев с учетом приоритетов проекта;
- расчет интегрального показателя по аддитивной модели и ранжирование альтернатив.

Применение такого алгоритма позволяет заменить интуитивный выбор количественно обоснованным решением и закрепить его в составе проектной и организационной документации.

Металлические покрытия отличаются малой массой, технологичностью и продолжительным сроком службы, однако требуют решений по акустике, теплотехнике и защите от коррозии; на сложной геометрии возможен перерасход материала. Современные фальцевые системы с механизированным формированием шва повышают скорость и качество монтажа. В целом выбор кровли определяется сочетанием материала и организационно-технологических решений с учетом трудоемкости, ресурса и затрат на весь жизненный цикл; при этом до 15–20 % ежегодных расходов на содержание жилфонда связано с ремонтом кровель.

Литература

1. Латута, В.В. Плоская кровля жилых зданий технические решения конструкций кровли и их устройство / В.В. Латута, Ю.М. Ефимов // Colloquium-journal. – 2019. – № 22(46) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/ploskaya-krovlya-zhilyh-zdaniy-tehnicheskie-resheniya-konstruktsiy-krovli-i-ih-ustroystvo>.
2. Радкевич, А.В. Анализ существующих проблем организационно-технологической надежности кровельных систем / А.В. Радкевич, В.Ф. Худенко, В.М. Глущенко // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2015. – № 2(56) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyuschih-problem-organizatsionno-tehnologicheskoy-nadezhnosti-krovelnyh-sistem>.
3. Акимов, С.Ф. Оценка технико-экономической эффективности устройства мягкого кровельного покрытия на плоской крыше / С.Ф. Акимов, Э.Ш. Акимова // Экономика строи-

тельства и природопользования. – 2018. – № 4(69) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-tehniko-ekonomicheskoy-effektivnosti-ustroystva-myagkogo-krovelnogo-pokrytiya-na-ploskoy-kryshe>.

4. Гнедова, К.В. Сравнительный анализ видов кровельного материала и оценка технико-экономической эффективности устройства металлического покрытия / К.В. Гнедова // Шаг в науку. – 2024. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-vidov-krovelnogo-materiala-i-otsenka-tehniko-ekonomicheskoy-effektivnosti-ustroystva-metallichesкого-pokrytiya>

5. Шеина, С.Г. Моделирование выбора наиболее эффективного варианта устройства кровли / С.Г. Шеина, Н.В. Цопа // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 4(112). – С. 316–329 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-vybora-naibolee-effektivnogo-varianta-ustroystva-krovli>.

References

1. Latuta, V.V. Ploskaya krovlya zhilykh zdaniy tekhnicheskie resheniya konstruksij krovli i ikh ustrojstvo / V.V. Latuta, YU.M. Efimov // Colloquium-journal. – 2019. – № 22(46) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/ploskaya-krovlya-zhilykh-zdaniy-tehnicheskie-resheniya-konstruksiy-krovli-i-ih-ustrojstvo>.

2. Radkevich, A.V. Analiz sushchestvuyushchikh problem organizatsionno-tehnologicheskoy nadezhnosti krovelnykh sistem / A.V. Radkevich, V.F. KHudenko, V.M. Glushchenko // Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo natsionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta. – 2015. – № 2(56) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyuschih-problem-organizatsionno-tehnologicheskoy-nadezhnosti-krovelnykh-sistem>.

3. Akimov, S.F. Otsenka tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti ustrojstva myagkogo krovelnogo pokrytiya na ploskoy kryshe / S.F. Akimov, E.SH. Akimova // Ekonomika stroitelstva i prirodnopolzovaniya. – 2018. – № 4(69) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-tehniko-ekonomicheskoy-effektivnosti-ustroystva-myagkogo-krovelnogo-pokrytiya-na-ploskoy-kryshe>.

4. Gnedova, K.V. Sravnitelnyy analiz vidov krovelnogo materiala i otsenka tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti ustrojstva metallichesкого pokrytiya / K.V. Gnedova // SHag v nauku. – 2024. – № 1 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-vidov-krovelnogo-materiala-i-otsenka-tehniko-ekonomicheskoy-effektivnosti-ustroystva-metallichesкого-pokrytiya>

5. SHEina, S.G. Modelirovanie vybora naibolee effektivnogo varianta ustrojstva krovli / S.G. SHEina, N.V. TSopa // Inzhenerniy vestnik Dona. – 2024. – № 4(112). – С. 316–329 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-vybora-naibolee-effektivnogo-varianta-ustroystva-krovli>.

Formation of a Rational Technology for Membrane Roofing Installation at the Project Implementation Stage

S.K. Kharlamov, V.V. Luchkina

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

Key words and phrases: membrane roofing; flat roof systems; construction technology; organizational and technological reliability; life-cycle cost; project implementation; roofing material.

Abstract. The article discusses approaches to developing a rational technology for membrane roofing installation during the project implementation stage. Roofing systems are considered as complex engineering structures whose performance depends on material selection, organizational and technological solutions, and the quality of construction management. Particular attention is given to flat roof systems, their structural configurations, and requirements for ensuring reliability and durability. The interrelation between technological parameters, labor intensity, and operational performance is examined. The study substantiates the importance of integrating technical solutions with project management tools in order to enhance construction process control and achieve sustainable results throughout the life cycle of the facility.

© С.К. Харламов, В.В. Лучкина, 2026

УДК 331.45

Анализ несчастных случаев на объектах ремонта и строительства

В.В. Квашина, А.Р. Насирова

*БУ ВО «Сургутский государственный университет»,
г. Сургут (Россия)*

Ключевые слова и фразы: высота; комплекс мероприятий; оценка рисков; предотвращение несчастных случаев; система управления охраной труда; травматизм; управление профессиональными рисками.

Аннотация. Целью исследования является разработка комплекса мероприятий по совершенствованию системы управления профессиональными рисками при выполнении работ на высоте на объектах ремонта и строительства нефтегазодобывающего предприятия на основе анализа причин производственного травматизма за 2021–2025 гг. В рамках исследования решались задачи анализа материалов расследования 7 несчастных случаев, выявления повторяющихся сценариев травмирования, ранжирования причин методом учета «доминирующей причины», интерпретации отказов организационных, технологических, поведенческих барьеров и барьеров средств индивидуальной защиты, а также разработки комплекса корректирующих мер. Гипотеза исследования заключается в предположении, что повторяемость несчастных случаев при работах на высоте обусловлена не только индивидуальными поведенческими факторами, но и недостаточной устойчивостью организационных и технологических барьеров системы управления охраной труда, особенно на переходных операциях. В работе применены методы прикладного анализа несчастных случаев, группировки причин по доминирующему фактору, барьерного и сравнительного анализа сценариев травмирования, а также элементы риск-ориентированного подхода. В результате установлено, что большинство несчастных случаев связано с отказами организационных и поведенческих барьеров на переходных операциях, подтверждена повторяемость сценариев падения при подъеме и спуске, выявлена недостаточная надежность барьера применения средств индивидуальной защиты при отсутствии эффективного контроля и практических навыков непрерывной страховки. Разработан комплекс немедлен-

ных, среднесрочных и системных мероприятий, направленных на снижение вероятности реализации типовых сценариев травмирования и тяжести их последствий.

Нормативно управление профессиональными рисками определено как комплекс процедур выявления опасностей, оценки рисков, применения мер снижения, мониторинга и пересмотра [6]. Одновременно работодатель обязан обеспечить функционирование системы управления охраной труда (**СУОТ**), регулярную оценку рисков и контроль соблюдения требований охраны труда, включая правильность применения средств индивидуальной защиты (**СИЗ**) и наличие профилактических мероприятий обучения [5].

Анализ несчастных случаев при работах на высоте в логике СУОТ и управления профессиональными рисками позволяет сформулировать прикладную проблему: при наличии установленных требований по организации работ на высоте, обучению, обеспечению СИЗ и управлению рисками сохраняется возможность реализации опасных сценариев, что указывает на недостаточную «привязку» управления рисками к конкретным технологическим операциям и критическим этапам производства работ.

Целью данного исследования является разработка комплекса мероприятий по совершенствованию системы управления профессиональными рисками при проведении работ на высоте в тресте нефтегазодобывающего предприятия, ориентированного на снижение вероятности реализации ключевых сценариев несчастных случаев и тяжести их последствий, на основе анализа причин травматизма за 2021–2025 гг. и результатов производственного контроля.

По материалам предприятия установлено 7 несчастных случаев в период с 2021 по 2025 гг., из которых 4 несчастных случая (2 тяжелых и 2 легких) зарегистрированы в 2025 году. Наиболее повторяемый сценарий – падение при спуске/переходах (3 случая из 7).

На рис. 1 отображена динамика производственного травматизма в анализируемый период.

Ниже (табл. 2) представлен прикладной анализ по каждому несчастному случаю, с опорой на сценарии и технологические точки отказа (переходы/подъем/спуск, применение средств подмащивания, обращение с СИЗ, технологическая дисциплина, «внеоперационные» перемещения и т.п.).

В целях ранжирования причин был использован метод учета «доминирующей причины» по каждому несчастному случаю без выхода за пределы выборки.

Группировка выполнена по формулировкам расследований. Если в несчастном случае указано несколько причин, доминирующая группа принята по «ведущей» формулировке.

- Организационные причины (включая недостатки организации рабочих мест/производства работ): 3 из 7 (НС 1, НС 2, НС 7).

- Поведенческие причины («неосторожность/невнимательность/поспешность»): 3 из 7 (НС 3, НС 4, НС 5).

- Технологические причины («нарушение/несовершенство технологического процесса»): 1 из 7 (НС 6).

- Дисциплинарные причины (работа вне задания): 1 из 7 (НС 7 как доминирующий фактор в установленной причине).

- СИЗ (неприменение): 1 из 7 (НС 2 как доминирующий фактор в установленной причине).

По материалам 7 несчастных случаев барьеры предотвращения падения и травмирования оказались недостаточными прежде всего на переходных операциях (подъем/

Таблица 1. Краткое описание несчастных случаев

Дата	Описание обстоятельств, при которых произошел несчастный случай	Причина
12.08.2021	На объекте строительства «Здание производственное административное» при спуске с площадки монтажной оступился и упал монтажник по монтажу стальных и железобетонных конструкций 3 разряда строительно-монтажного управления. В результате получил травмы различной степени тяжести	1. Несовершенство технологического процесса. 2. Неудовлетворительная организация производства работ
18.11.2022	На объекте капитального ремонта «Здания инженерно-технических служб» при спуске с пожарной лестницы упал плотник 3 разряда ремонтно-строительного управления. В результате получил травмы различной степени тяжести	1. Неудовлетворительное содержание и недостатки в организации рабочих мест. 2. Неприменение работником средств индивидуальной защиты
01.04.2024	На объекте «Цех ремонта транспорта. База производственная центральная» при спуске со строительной вышки на обеденный перерыв оступилась, упала и получила травмы различной степени тяжести маляр 4 разряда строительно-монтажного управления треста	Неосторожность, невнимательность, поспешность пострадавшего
05.02.2025	На объекте «Здание производственное административное. База производственная» при переноске инструментального ящика монтажник систем вентиляции, кондиционирования воздуха, пневмотранспорта и аспирации специализированного управления споткнулся нога о ногу, упал и получил травму колена правой ноги	Неосторожность, невнимательность, поспешность пострадавшего
13.03.2025	На объекте «Здание», при подъеме на строительную вышку кровельщик по рулонным кровлям и по кровлям из штучных материалов строительно-монтажного управления ошибочно одновременно отцепил оба крюка двойного стропа, в этот момент у него соскользнула нога и он упал с высоты около 2,5 метров и получил травмы различной степени тяжести	Неосторожность, невнимательность, поспешность пострадавшего
12.05.2025	На объекте «Цех изоляции труб. База производственного обслуживания» при установке стеклопакета с использованием вакуумной присоски, предназначенной для переноски и установки оконных конструкций, произошло отсоединение вакуумной присоски, плотник участка потерял равновесие, прыгнул с алюминиевой вышки-туры «Cagsan» (высота 1,6 м), получил травмы спины и грудной клетки	Нарушение технологического процесса, в том числе неправильная эксплуатация оборудования, инструмента
17.05.2025	На объекте капитального строительства «Здание цеха ремонта оборудования» при выполнении работ в районе забитой сваи из труб произошел хлопок и монтажник по монтажу стальных и железобетонных конструкций участка получил ожоги лица и травму руки	1. Нарушение работником трудового распорядка и дисциплины труда. 2. Неудовлетворительная организация производства работ. 3. Нарушение работником трудового распорядка и дисциплины труда

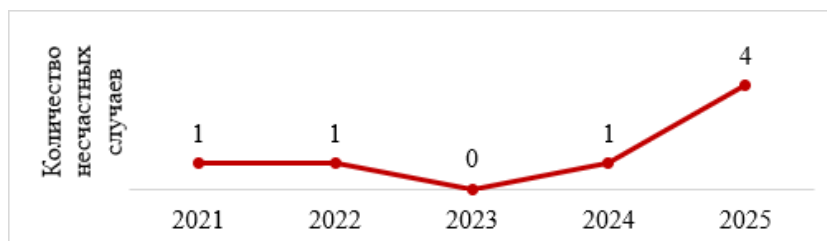


Рис. 1. Динамика производственного травматизма в период с 2021 по 2025 годы



Рис. 2. Распределение 7 несчастных случаев по доминирующим группам причин

Таблица 2. Соответствие причин несчастных случаев и недостатков мероприятий (барьеров)

НС	Установленная причина (по материалам)	Несработавший барьер (интерпретация)	Контур управления
НС-1 (2021)	Несовершенство технологического процесса; неудовлетворительная организация работ	Недостаточность технологического регламентирования и организационного контроля критической операции (спуск/переход)	Технология + организация
НС-2 (2022)	Недостатки в организации рабочих мест; неприменение СИЗ	Недостаточность барьера рабочего места и барьера СИЗ (контроль применения)	Организация + СИЗ
НС-3 (2024)	Неосторожность/поспешность	Недостаточность поведенческого/контрольного барьера на переходной операции (спуск)	Поведение + контроль
НС-4 (05.02.2025)	Неосторожность/поспешность	Недостаточность профилактики поведенческих ошибок при перемещении с инструментом	Поведение + организация
НС-5 (13.03.2025)	Неосторожность/поспешность	Отказ барьера непрерывности страховки при перемещении/перестроповке	СИЗ + компетенции + контроль
НС-6 (12.05.2025)	Нарушение технологического процесса (неправильная эксплуатация приспособления)	Отказ технологического барьера и контроля соблюдения технологии	Технология + контроль
НС-7 (17.05.2025)	Нарушение дисциплины (работа вне задания); неудовлетворительная организация	Отказ барьера задания/допуска и организационного надзора	Дисциплина + организация

Таблица 3. Комплекс мероприятий

Срок реализации	Уровень мер	Ключевые действия	Ответственные роли	Результирующие документы	Контроль результата
Немедленные (0–3 мес.)	Организация/ контроль	Стандарт наряда-допуска; осмотр места по чек-листу; запрет работ вне задания; оперативные инструктажи по «опасным точкам»	Руководитель работ; ответственный руководитель; специалист ОТ	Шаблон наряда-допуска; чек-листы; приказы/ распоряжения; журналы	Доля работ с чек-листом; число критических несоответствий
Среднесрочные (3–12 мес.)	Технология/ обучение/ СИЗ	Доработка ППР/ ТК (переходные операции/перестроповка); практические тренировки; реестр СИЗ и график осмотров	Техслужба; учебный центр/ комиссия; ответственные за СИЗ (3 группа)	Обновленные ППР/ТК; протоколы обучения; реестр СИЗ	Результаты наблюдений; KPI обучения; корректность применения СИЗ
Системные (1–3 года)	Инженерные решения/ СУОТ	Замена способов доступа (подъемники/ платформы); внедрение стандартных анкерных решений; цифровая фиксация допуска/ контроля	Технический руководитель; служба ОТ; закупки	Стандарты инженерных решений; перечни допускаемых средств; цифровые формы	Снижение показателей риска по сценариям; аудит СУОТ

спуск/перемещение), где фиксируются повторяемые сценарии падений и доминируют поведенческие/организационные причины. Установленные причины НС 1 и НС 6 («несовершенство/нарушение технологического процесса») показывают системный дефицит технологического барьера. НС 2 и НС 5 подтверждают, что наличие СИЗ не гарантирует предотвращение травмы без фактической реализуемости барьера (контроль применения, практический навык непрерывной страховки) [2]. НС 7 показывает, что контуры управления допуском и заданием (дисциплина, разграничение зон ответственности) являются частью управления опасностями на объекте и должны быть включены в причинный анализ как системная причина отказа организационных барьеров [3].

По результатам проведенного анализа предлагается следующий комплекс мероприятий по предотвращению повторения сценариев 7 несчастных случаев (табл. 3).

Таким, образом, в рамках достижения цели работы:

1) установлено, что для предприятия сохраняется значимый риск травматизма при работах повышенной опасности: в 2025 году зарегистрировано 4 несчастных случая, включая два тяжелых исхода, связанных с ошибками при применении страховочного оборудования и нарушением технологического процесса при использовании приспособлений/средств подмащивания;

2) по совокупности материалов 2021–2025 гг. подтверждена повторяемость сценариев травмирования на переходных операциях (подъем/спуск/перемещение), а также наличие сценариев высокой тяжести, требующих адресных мер (перестроповка/непрерывность страховки; технологическая дисциплина при применении приспособлений);

3) выявлено, что часть причин несчастных случаев формулируется как поведенческие (неосторожность/поспешность), однако в риск-ориентированной логике это свидетельствует о недостаточной устойчивости организационных и контрольных барьеров, не компенси-

рующих вероятность ошибки работника на критических этапах работ;

4) определено, что «барьер СИЗ» может быть формально присутствующим, но фактически недостаточно надежным без закрепления анкерных решений, практической отработки приемов непрерывного закрепления и управленческого контроля применения (что иллюстрируется тяжелым НС 13.03.2025).

Практическая значимость результатов заключается в применимости комплекса мероприятий, направленных на снижение вероятности повторения типовых сценариев и предупреждение тяжелых исходов в тресте нефтегазодобывающего предприятия для совершенствования процедур СУОТ при работах на высоте: актуализации проекта производства работ/технологических карт (включая переходные операции и порядок действий), усиления допуска и операционного контроля, развития практико-ориентированного обучения критическим операциям (спуск/переход, перестроповка, работа с приспособлениями), а также для внедрения системы ведущих показателей (*KPI*) и корректирующих действий (*SAPA*) по результатам наблюдений и проверок [1; 4].

Литература

1. ГОСТ Р 12.3.050-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Строительство. Работы на высоте. Правила безопасности, 2017.
2. Об утверждении порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, занятых на вредных и (или) опасных производственных факторах и работах : Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 782н от 16 ноября 2020 г.
3. Об утверждении Рекомендаций по классификации, обнаружению, распознаванию и описанию опасностей : Приказ Минтруда России от 31 января 2022 г. № 36.
4. Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте : Приказ Минтруда России № 155н от 28 марта 2014 г.
5. Обязанности работодателя в области охраны труда : Трудовой кодекс Российской Федерации Статья 214.
6. Трудовой кодекс Российской Федерации : федеральный закон №197-ФЗ от 30 декабря 2001 г. – ст. 3.

References

1. GOST R 12.3.050-2017. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Stroitelstvo. Raboty na vysote. Pravila bezopasnosti, 2017.
2. Ob utverzhdenii poryadka provedeniya obyazatelnykh predvaritelnykh i periodicheskikh meditsinskikh osmotrov rabotnikov, zanyatykh na vrednykh i (ili) opasnykh proizvodstvennykh faktorakh i rabotakh : Prikaz Ministerstva truda i sotsialnoj zashchity Rossijskoj Federatsii № 782n ot 16 noyabrya 2020 g.
3. Ob utverzhdenii Rekomendatsij po klassifikatsii, obnaruzheniyu, raspoznavaniyu i opisaniyu opasnostej : Prikaz Mintruda Rossii ot 31 yanvarya 2022 g. № 36.
4. Ob utverzhdenii Pravil po okhrane truda pri rabote na vysote : Prikaz Mintruda Rossii № 155n ot 28 marta 2014 g.
5. Obyazannosti rabotodatelya v oblasti okhrany truda : Trudovoj kodeks Rossijskoj Federatsii Statya 214.
6. Trudovoj kodeks Rossijskoj Federatsii : federalnyj zakon №197-FZ ot 30 dekabrya

2001. g. – st. 3.

Accident Analysis at Repair and Construction Sites

V.V. Kvashina, A.R. Nasirova

Surgut State University, Surgut (Russia)

Key words and phrases: occupational risk management; occupational safety management system; risk assessment; set of measures; accident prevention; injury; height.

Abstract. The purpose of the study is to develop a set of measures to improve the occupational risk management system when performing work at height at the facilities of repair and construction of an oil and gas producing enterprise based on an analysis of the causes of occupational injuries for 2021–2025. The study addressed the tasks of analyzing materials from the investigation of 7 accidents, identifying recurring injury scenarios, ranking causes by taking into account the “dominant cause”, interpreting failures of organizational, technological, behavioral barriers and barriers to personal protective equipment, as well as developing a set of corrective measures. The hypothesis of the study is that the recurrence of accidents at work at height is due not only to individual behavioral factors, but also to the insufficient stability of organizational and technological barriers of the occupational safety and health management system, especially in transitional operations. The paper uses methods of applied accident analysis, grouping of causes by the dominant factor, barrier and comparative analysis of injury scenarios, as well as elements of a risk-based approach. As a result, it was found that most accidents are associated with failures of organizational and behavioral barriers during transitional operations, the repeatability of fall scenarios during ascent and descent was confirmed, and insufficient reliability of the barrier of the use of personal protective equipment was revealed in the absence of effective control and practical skills of continuous insurance. A set of immediate, medium-term and systemic measures has been developed to reduce the likelihood of typical injury scenarios and the severity of their consequences.

© В.В. Квашина, А.Р. Насирова, 2026

УДК 351.853.1

**Деятельность научно-исследовательского
музея им. А.В. Щусева
по сохранению памятников
древнерусского деревянного зодчества
на открытых ландшафтах
современной России**

Т.В. Портнова

*ФГБОУ ВО «Российский государственный
аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: деревянное зодчество; консервация; культурное наследие; музеефикация; музей архитектуры; открытые ландшафты; памятники культуры; реставрация.

Аннотация. Статья посвящена комплексному изучению деятельности Государственного научно-исследовательского музея архитектуры имени А.В. Щусева в области сохранения памятников древнерусского деревянного зодчества. Рассматриваются основные направления работы музея по консервации, реставрации и музеефикации объектов народного деревянного зодчества на открытых территориях. Анализируются методы научного исследования памятников, особенности их адаптации к природным условиям, международный опыт сохранения деревянного наследия, а также проблемы сохранения архитектурного наследия в современных реалиях. Представлены конкретные примеры памятников, с которыми работал музей, включая церковные постройки, жилые усадьбы и хозяйственные сооружения из различных регионов России. Особое внимание уделено применению междисциплинарных подходов и современных технологий в практике сохранения деревянного зодчества.

Введение

Древнерусское деревянное зодчество представляет собой уникальное явление мировой архитектурной культуры, отражающее многовековые традиции народного строительства, художественные особенности различных регионов и историческое развитие архитектурной мысли на территории России. Как справедливо отмечает А. Маран-Стеванович, «сохранение архитектурного наследия в естественных ландшафтных условиях требует разработки специальных методологических подходов, объединяющих принципы музеоло-

гии и памятниковедения» [16, с. 12].

Актуальность изучения деятельности музея архитектуры имени А.В. Щусева по сохранению памятников деревянного зодчества обусловлена несколькими факторами. Во-первых, деревянные памятники подвержены интенсивному биологическому разрушению, воздействию климатических факторов и антропогенным угрозам, что требует незамедлительных мер по их защите. Во-вторых, размещение памятников на открытых ландшафтах многократно усиливает воздействие внешних разрушительных факторов. В-третьих, опыт ведущих российских музейных учреждений в области сохранения деревянного зодчества требует систематизации и научного анализа для выработки эффективных стратегий охраны культурного наследия.

Как отмечают исследователи, «музеи под открытым небом становятся важнейшими центрами сохранения не только материального наследия, но и традиционных знаний и технологий» [8, с. 123]. Зарубежный опыт показывает, что успешная деятельность таких музеев возможна лишь при условии комплексного научного подхода к изучению и сохранению памятников.

Проблема сохранения деревянного зодчества приобретает особую значимость в контексте глобальных климатических изменений и урбанизации, угрожающих существованию традиционных архитектурных ландшафтов. Д.В. Кепин справедливо указывает, что «естественнонаучное памятниковедение должно рассматривать недвижимые объекты природного и культурного наследия в единстве с окружающей ландшафтной средой» [5, с. 162].

Цель и задачи исследования

Цель исследования – комплексный анализ деятельности Государственного научно-исследовательского музея архитектуры имени А.В. Щусева по сохранению, изучению и музеефикации памятников древнерусского деревянного зодчества на открытых ландшафтных территориях с выявлением методологических основ и практических достижений музея в этой области.

Задачи исследования.

1. Проанализировать основные направления научно-исследовательской деятельности музея в области изучения памятников деревянного зодчества.
2. Выявить и описать конкретные памятники древнерусской деревянной архитектуры, с которыми работал и работает музей им. А.В. Щусева, включая их историко-архитектурную характеристику.
3. Исследовать методы научной фиксации, консервации и реставрации деревянных памятников, применяемые специалистами музея.
4. Рассмотреть опыт создания экспозиций под открытым небом и музеефикации памятников деревянного зодчества в контексте международной практики.
5. Проанализировать проблемы адаптации исторических памятников к природно-климатическим условиям и современным требованиям музейной эксплуатации.
6. Оценить вклад музея в развитие теоретических основ охраны и использования объектов деревянного зодчества как части культурного ландшафта.

Методы и материалы исследования

Методологическую основу исследования составил комплексный междисциплинарный подход, объединяющий методы искусствоведения, музеологии, архитектуроведения и па-

мятниковедения. Как отмечает Й. Бенеш, «изучение архитектурных памятников требует синтеза методов различных наук для получения объективной картины их исторического развития и современного состояния» [5, с. 162].

Основные методы исследования.

1. Историко-архивный метод использовался для изучения документации музея, включающей научные отчеты об археологических и архитектурных исследованиях, реставрационные паспорта памятников, протоколы научных заседаний и переписку с научными учреждениями. Архивные материалы позволили реконструировать историю формирования коллекции музея и эволюцию подходов к сохранению деревянного зодчества.

2. Сравнительно-типологический метод применялся для анализа конструктивных и декоративных особенностей памятников деревянного зодчества из различных регионов России, выявления общих закономерностей и региональной специфики архитектурных традиций.

3. Натурные исследования включали детальное обследование памятников с выполнением архитектурных обмеров, фотофиксации, изучения конструктивных особенностей и состояния сохранности деревянных конструкций. Как подчеркивают Г.-С. Афанасопулос, «точная геометрическая фиксация является основой для любых последующих реставрационных работ» [8, с. 125].

4. Дендрохронологический анализ использовался для определения времени создания памятников и отдельных конструктивных элементов, что особенно важно для объектов, подвергавшихся многократным перестройкам и ремонтам.

5. Метод трехмерного лазерного сканирования применялся для создания точных цифровых моделей архитектурных объектов, позволяющих проводить детальный анализ без физического контакта с хрупкими элементами конструкций.

6. Почвенные и биологические исследования проводились для оценки влияния природных факторов на сохранность памятников и разработки мер защиты. Как показывают исследования Е.А. Жуковой, «состояние почвенного покрова непосредственно влияет на сохранность фундаментов и нижних венцов деревянных построек» [2, с. 15].

Материалами исследования послужили:

- архивные документы музея архитектуры имени А.В. Щусева, включая научные отчеты, реставрационные паспорта, проектную документацию;
- памятники деревянного зодчества из коллекции музея различных типов: культовые постройки (церкви, часовни, колокольни), жилые сооружения (избы, усадебные комплексы), хозяйственные постройки (амбары, мельницы, бани);
- фотоматериалы и чертежи памятников из научного архива музея;
- данные обмерных работ и результаты инструментального обследования памятников;
- материалы международных конференций и научных публикаций по проблемам сохранения деревянного зодчества;
- опыт зарубежных музеев под открытым небом (Скансен в Швеции, музеи деревянной архитектуры в Норвегии, Финляндии, Канаде).

Примеры памятников деревянного зодчества в деятельности музея

Церковь Преображения Господня из села Козлятьево

Одним из выдающихся памятников в коллекции музея является церковь Преображения Господня, первоначально находившаяся в селе Козлятьево Костромской губернии.

Храм датируется 1756 годом и представляет собой характерный пример клетского типа церковного зодчества Русского Севера. Как отмечает Н.В. Углева, «деревянные храмы клетского типа составляют наиболее древнюю и распространенную группу культовых построек, сохранивших архаичные формы народного жилища» [6, с. 48].

Церковь имеет традиционную трехчастную композицию: алтарь, собственно храм (четверик) и трапезная с папертью расположены по оси восток-запад. Сруб выполнен из сосновых бревен методом «в обло» с остатком. Высота основного четверика составляет 6,5 метров, размеры в плане 6×6 метров. Храм увенчан восьмигранным барабаном с луковичной главкой, покрытой лемехом – традиционной деревянной черепицей, имитирующей рыбу чешую.

Музеем были проведены комплексные исследования памятника, включавшие архитектурные обмеры, дендрохронологический анализ, который подтвердил датировку постройки, а также изучение строительных и плотницких приемов. Особый интерес представляет система безвозвездного крепления кровельных конструкций и декоративные элементы – резные причелины и полотенца, украшающие фронтоны. Реставрационные работы, выполненные специалистами музея, включали замену нижних венцов, пораженных гнилью, восстановление кровельного покрытия с использованием традиционных технологий и воссоздание утраченных резных деталей на основе сохранившихся фрагментов.

Часовня Архангела Михаила из деревни Леликозеро

Часовня Архангела Михаила, происходящая из деревни Леликозеро Карельского Поморья, датируется концом XVII века и является редким образцом древнейшего типа клетских часовен. Согласно международной практике классификации деревянного зодчества, предложенной норвежскими исследователями, подобные постройки относятся к архаичному типу *stave church* в их восточнославянской интерпретации [13, с. 45].

Постройка представляет собой простой сруб размером 4×5 метров с двускатной кровлей, увенчанной небольшой главкой на восьмигранном барабане. Особенностью данного памятника является использование в конструкции стен комбинированной техники: нижние венцы выполнены «в обло», верхние – «в лапу», что свидетельствует о позднейших перестройках. Дендрохронологический анализ показал, что нижние четыре венца относятся к первоначальному периоду строительства (1680-е гг.), в то время как верхняя часть сруба была возведена в середине XVIII века.

Музей провел детальное исследование конструктивных особенностей часовни, выявившее уникальную систему соединения углов, характерную для поморского зодчества. Как отмечают К. Хьелльмо и О. Кристенсен, «изучение региональных особенностей плотницких технологий позволяет точнее определить происхождение и датировку памятников деревянной архитектуры» [12, с. 178]. Реставрационные работы включали укрепление конструкций, замену поврежденных элементов кровли и воссоздание иконостаса на основе архивных фотографий и аналогов.

Усадьба крестьянина Ошевнева из деревни Ошевнево

Жилой дом крестьянина Ошевнева из Каргопольского уезда Олонецкой губернии (современная Архангельская область), датируемый 1876 годом, представляет собой выдающийся образец северорусской жилой архитектуры типа «брус» или «кошель». Как указывает А.Б. Пермиловская, «дома-комплексы северорусского типа объединяли под одной крышей жилые и хозяйственные помещения, что было обусловлено суровыми климатическими условиями» [1, с. 88].

Усадьба представляет собой двухэтажную постройку общей длиной 38 метров, объединяющую избу, горницу, сени, хозяйственный двор и хлев. Жилая часть размещается во

втором этаже, первый этаж частично заглублен и используется для хозяйственных нужд. Фасад украшен резными наличниками окон, балконом с резным ограждением и причелинами с изображением солярных знаков.

Музеем была проведена комплексная исследовательская работа по изучению планировки, конструктивных особенностей и системы отопления усадьбы. Особый интерес представляет печной комплекс, включающий три печи различного назначения: русскую печь в избе, отопительную печь в горнице и хлебную печь в сенях. Исследование показало эволюцию жилого пространства: первоначальная постройка 1876 года была расширена в 1890-х годах пристройкой горницы, что типично для развития северных крестьянских усадеб в период экономического подъема конца XIX века.

Реставрационные работы потребовали применения традиционных технологий обработки древесины. Как отмечают канадские исследователи, «аутентичность реставрации деревянных памятников достигается только при использовании исторических плотницких технологий и инструментов» [10, с. 203]. Специалистами музея были воссозданы утраченные элементы резного декора, восстановлена система водоотведения с кровли и проведена противопожарная обработка конструкций с использованием составов, допущенных для применения на памятниках деревянного зодчества.

Мельница-столбовка из деревни Волкостров

Ветряная мельница из деревни Волкостров на Онежском озере, датируемая 1850-ми годами, представляет собой редкий сохранившийся образец ветряной мельницы столбового типа. Конструкция мельницы позволяла поворачивать весь корпус вокруг центрального столба для ориентации на ветер. Как указывают финские исследователи, «столбовые мельницы представляют собой древнейший тип ветряных мельниц в Северной Европе, появившийся в Средние века» [20, с. 92].

Корпус мельницы представляет собой сруб размером 4×4 метра, установленный на массивном бревне-столбе диаметром 60 см, которое опирается на систему диагональных подпорок. Механизм мельницы включает четыре крыла размахом 12 метров, систему передачи вращения через деревянные зубчатые колеса и мельничные жернова диаметром 1,2 метра из местного песчаника.

Музей провел детальное исследование механизма мельницы, что потребовало привлечения специалистов в области истории техники. Были выполнены точные обмеры всех конструктивных элементов, создана трехмерная компьютерная модель, позволяющая визуализировать работу механизма. Особую сложность представляла консервация деревянных зубчатых колес, изготовленных из твердых пород древесины (дуб, граб) и подвергшихся значительному износу. Реставрация потребовала изготовления отдельных зубьев по историческим технологиям с учетом направления волокон древесины.

Баня по-черному из деревни Усть-Кубенское

Традиционная русская баня «по-черному» из деревни Усть-Кубенское Вологодской губернии, датируемая концом XVIII века, представляет собой небольшую однокамерную постройку размером 3×4 метра. Баня срублена из сосновых бревен «в лапу», имеет односкатную кровлю и небольшой предбанник. Как отмечает А.М. Зайцева, «традиционные хозяйственные постройки являются важной частью культурного ландшафта исторических поселений и требуют такого же внимания при сохранении, как и жилые или культовые сооружения» [3, с. 405].

Особенностью бани является отсутствие дымохода: дым от каменки выходит непосредственно в помещение и далее через приоткрытую дверь, что создает особый микроклимат и обеспечивает прогрев стен. Каменка выложена из валунов без связующего рас-

твора, что типично для архаичных конструкций. Музеем было проведено исследование теплотехнических характеристик бани и особенностей функционирования системы отопления.

Консервация памятника потребовала учета специфики его эксплуатации: постоянного воздействия высоких температур и влажности. Нижние венцы были заменены на лиственничные, более устойчивые к воздействию влаги. Была воссоздана традиционная система водоотведения и восстановлена конструкция каменки с соблюдением исторических принципов укладки камней.

Амбар на сваях из деревни Южная

Амбар для хранения зерна из деревни Южная Архангельской губернии, датируемый 1820-ми годами, представляет собой характерный пример хозяйственных построек севера России. Амбар установлен на высоких сваях (около 1,5 метров), что защищало зерно от грызунов и весенних паводков. Конструкция амбара включает систему венцов с плотной подгонкой бревен, обеспечивающей защиту от влаги и необходимую вентиляцию.

Музеем было проведено исследование конструктивных особенностей амбара, выявившее уникальную систему соединений, обеспечивающую устойчивость постройки. Как отмечают шведские исследователи, «хозяйственные постройки на сваях представляют собой древнюю традицию, уходящую корнями в эпоху викингов» [Eriksson, 2018, p. 156]. Реставрация включала замену отдельных свай, укрепление конструкции пола и восстановление двускатной кровли с традиционным гонтовым покрытием.

Методология сохранения и реставрации памятников

Научно-исследовательский музей имени А.В. Щусева разработал комплексную методологию работы с памятниками деревянного зодчества, основанную на принципах, сформулированных в международных хартиях по охране культурного наследия. Как отмечается в Венецианской хартии 1964 года, «реставрация памятников должна основываться на уважении к подлинному материалу и достоверным документам, останавливаясь там, где начинается область гипотез» [22, с. 9].

Принципы научной реставрации

Основу методологии музея составляет принцип максимального сохранения подлинных элементов конструкции. Как справедливо указывает норвежский исследователь Й. Стурлусон, «каждый исторический элемент деревянной постройки несет информацию о технологиях, социальных практиках и эстетических представлениях своего времени» [24, с. 234]. Это требует тщательного документирования состояния памятника перед началом работ и принятия взвешенных решений о замене или сохранении каждого конструктивного элемента.

Музей применяет дифференцированный подход к различным типам повреждений древесины. Биологические поражения (грибок, плесень, насекомые-древоточцы) требуют немедленного вмешательства и применения консервирующих составов. В то же время механические повреждения и следы исторического износа могут быть сохранены как свидетельства исторического бытования памятника. Как отмечают американские реставраторы, «пatina времени является частью исторической ценности памятника и не должна удаляться без веских оснований» [23, с. 45].

Методы консервации древесины

Консервация деревянных конструкций на открытых ландшафтах требует применения специальных методов защиты от биологических и климатических воздействий. Музей ис-

пользует комбинацию традиционных и современных методов обработки древесины. К традиционным относятся пропитка натуральными маслами (льняное, конопляное), обработка дегтем, обжиг поверхности (метод «якисуги»). Современные методы включают применение биоцидных составов на водной основе, не изменяющих внешний вид древесины.

Особое внимание уделяется защите нижних венцов срубов, наиболее подверженных воздействию влаги. Как показали исследования финских специалистов, «использование естественной циркуляции воздуха под постройкой является наиболее эффективным методом защиты нижних конструкций от гниения» [11, с. 178]. Музей применяет систему подкладных венцов из лиственницы, устойчивой к влаге, и обеспечивает необходимый зазор между землей и постройкой для вентиляции.

Воссоздание утраченных элементов

Воссоздание утраченных элементов деревянных конструкций основывается на принципе достоверности и обратимости вмешательства. Музей использует метод аналогий, изучая сохранившиеся памятники того же региона и периода для выявления типичных конструктивных и декоративных решений. Как указано в Документе ICOMOS по консервации исторических деревянных конструкций, «новые элементы должны быть выполнены из того же материала и по тем же технологиям, что и исторические, но должны иметь незаметную маркировку» [14, с. 12].

При воссоздании резного декора музей опирается на архивные фотографии, обмерные чертежи и сохранившиеся фрагменты. Новые элементы выполняются вручную с использованием традиционного инструментария: топора, тесла, скобеля, что обеспечивает аутентичность фактуры. Как отмечают канадские мастера-реставраторы, «использование исторических инструментов не просто дань традиции, но необходимость, так как они создают на древесине характерный рельеф, отличающийся от следов современного электроинструмента» [15, с. 267].

Международный опыт и сравнительный анализ

Деятельность музея им. А.В. Щусева по сохранению деревянного зодчества осуществляется в контексте мировой практики создания и функционирования музеев под открытым небом. Первый в мире музей такого типа – Скансен – был создан в Стокгольме в 1891 году Артуром Хазелиусом и послужил моделью для множества аналогичных учреждений по всему миру [23, с. 34].

Скандинавский опыт

Скандинавские страны обладают наиболее развитой системой сохранения деревянного архитектурного наследия. В Норвегии действует более 20 музеев под открытым небом, крупнейшим из которых является Норвежский музей народного быта в Бюдее (создан в 1894 году), насчитывающий более 150 исторических построек. Как отмечает директор музея Т. Мортенсен, «ключом к успешному функционированию музея под открытым небом является не просто сохранение построек, но воссоздание живой среды исторического поселения с демонстрацией традиционных ремесел и промыслов» [19, с. 89].

Норвежский опыт консервации деревянных конструкций, особенно *stavkirke* (каркасных церквей), представляет значительный интерес. Методика, разработанная Музеем культурной истории Университета Осло, предусматривает минимальное вмешательство в историческую ткань памятника при максимальной эффективности консервационных мероприятий [7, с. 156]. Применяются методы укрепления конструкций без замены исторических элементов, использование совместимых материалов и обратимых методов крепле-

ния.

Финский опыт сохранения деревянного зодчества акцентирует внимание на интеграции памятников в природный ландшафт. Музей под открытым небом Сеурасаари в Хельсинки (основан в 1909 году) располагается на острове, где сохранена естественная растительность, а памятники размещены с учетом исторических ландшафтных связей. Как указывает финский исследователь Ю. Валсте, «важнейшим фактором аутентичности музея под открытым небом является сохранение исторического ландшафтного контекста» [26, с. 203].

Североамериканский опыт

Музеи деревянного зодчества в Канаде и США развивают концепцию «живого музея» (*living museum*), где наряду с сохранением архитектурного наследия демонстрируются традиционные технологии и образ жизни. Выдающимся примером является историческая деревня *Kings Landing* в провинции Нью-Брансуик (Канада), где на территории 121 гектара размещено более 70 исторических построек периода 1790-1910 годов.

Американские исследователи разработали концепцию «культурного ландшафта» (*cultural landscape*), рассматривающую архитектурные памятники в неразрывной связи с окружающей средой, хозяйственной деятельностью и социальными практиками. Как пишет Д. Макканн, «сохранение деревянного зодчества требует воссоздания всего комплекса исторической среды, включая сельскохозяйственные угодья, системы водоснабжения и дороги» [17, с. 178].

Канадский опыт консервации бревенчатых построек акцентирует внимание на использовании местных пород древесины, адаптированных к климатическим условиям. Исследования показали, что замена исторических элементов на древесину той же породы и из того же региона обеспечивает лучшую совместимость и долговечность реставрации [21, с. 45].

Европейский опыт

Музеи под открытым небом Центральной и Восточной Европы сталкиваются с проблемами, близкими к российской ситуации: необходимость сохранения большого количества памятников при ограниченных ресурсах, утрата традиционных ремесленных навыков, изменение климатических условий. Опыт Румынского музея деревенского быта в Бухаресте показывает эффективность создания при музее образовательного центра по подготовке специалистов-реставраторов традиционной архитектуры [22, с. 234].

Польский опыт сохранения деревянных церквей (более 1500 памятников XVI-XIX веков) демонстрирует успешность программы профилактической консервации, предусматривающей регулярный мониторинг состояния памятников и своевременное проведение минимальных реставрационных работ, что оказывается эффективнее и экономичнее радикальных вмешательств [9, с. 89].

Проблемы и перспективы

Современная деятельность музея по сохранению памятников деревянного зодчества сталкивается с рядом серьезных вызовов. Как справедливо отмечает Б.М. Ашыгалиев, «создание музея под открытым небом требует решения комплекса взаимосвязанных проблем: научных, организационных, финансовых и юридических» [1, с. 89].

Климатические изменения

Изменение климатических условий представляет серьезную угрозу для сохранности деревянных памятников. Повышение температуры и влажности создает благоприятные

условия для развития дереворазрушающих грибов и насекомых-вредителей. Увеличение частоты экстремальных погодных явлений (ураганы, ливни) угрожает конструктивной целостности памятников. Музей разработал программу адаптации к климатическим изменениям, включающую усиление конструкций, улучшение систем водоотведения и регулярный мониторинг состояния древесины.

Утрата традиционных технологий

Одной из острейших проблем является дефицит специалистов, владеющих традиционными технологиями деревянного строительства и реставрации. Как отмечают М.Д. Калменов и А.Е. Бижанова, «сохранение нематериального наследия – традиционных знаний и навыков – столь же важно, как и сохранение материальных памятников» [4, с. 245]. Музей ведет работу по организации курсов повышения квалификации для реставраторов, сотрудничает с профессиональными училищами и привлекает к работе носителей традиционных ремесел.

Финансирование

Сохранение памятников деревянного зодчества требует значительных и регулярных финансовых вложений. В отличие от каменной архитектуры, деревянные постройки нуждаются в постоянном уходе и профилактических мероприятиях. Международный опыт показывает эффективность смешанного финансирования с привлечением государственных средств, грантов, спонсорской помощи и доходов от туристической деятельности [25, с. 67].

Перспективы развития

Перспективным направлением деятельности музея является развитие цифровых технологий документирования и презентации памятников. Создание точных трехмерных моделей, виртуальных экскурсий и дополненной реальности позволяет расширить доступ к культурному наследию и обеспечить его сохранение в цифровой форме. Как отмечают Г.-С. Афанасопулос, «цифровые технологии открывают новые возможности для исследования, документирования и популяризации архитектурного наследия» [8, с. 132].

Развитие образовательной деятельности музея, создание специализированных программ для различных категорий посетителей способствует формированию общественного понимания ценности культурного наследия и необходимости его сохранения. Опыт зарубежных музеев показывает, что эффективная просветительская деятельность создает широкую общественную поддержку музея и привлекает дополнительные ресурсы [18, с. 87].

Заключение

Деятельность Научно-исследовательского музея архитектуры имени А.В. Щусева по сохранению памятников древнерусского деревянного зодчества на открытых ландшафтах представляет собой комплексную систему мер, включающую научные исследования, реставрационные работы, музеефикацию объектов и просветительскую деятельность. Музей вносит значительный вклад в развитие теории и практики сохранения архитектурного наследия, разрабатывая инновационные подходы и сохраняя лучшие традиции отечественной реставрационной школы.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. Музей разработал и успешно применяет комплексную научную методологию работы с памятниками деревянного зодчества, основанную на принципах максимального сохранения подлинного материала, использования традиционных технологий и обратимости реставрационных вмешательств.

2. Коллекция музея охватывает широкий спектр памятников деревянного зодчества различных типов и регионов происхождения: культовые постройки (церкви, часовни), жилые сооружения (крестьянские дома, усадьбы), хозяйственные постройки (амбары, мельницы, бани), что позволяет воссоздать целостную картину традиционной архитектурной среды.

3. Опыт музея по созданию экспозиций под открытым небом демонстрирует эффективность интеграции архитектурных памятников в природный ландшафт с сохранением исторического контекста и воссозданием элементов традиционной среды.

4. Сравнительный анализ с международной практикой показывает, что деятельность музея соответствует мировым стандартам сохранения деревянного архитектурного наследия и в ряде аспектов развивает оригинальные подходы, учитывающие специфику российских памятников.

5. Междисциплинарный характер исследовательской работы музея, объединяющий методы архитектуроведения, искусствоведения, истории, дендрохронологии, биологии и других наук, обеспечивает всестороннее изучение памятников и научную обоснованность принимаемых решений.

Результаты деятельности музея имеют важное значение не только для сохранения конкретных памятников, но и для развития теоретических основ памятниковедения, выработки методических рекомендаций, подготовки специалистов-реставраторов. Опыт работы с памятниками деревянного зодчества, накопленный музеем, востребован при реализации проектов сохранения архитектурных объектов в различных регионах России и может быть полезен для международного профессионального сообщества.

Музей выполняет функцию научно-методического центра, координирующего усилия различных организаций в области охраны памятников деревянной архитектуры, что особенно важно в условиях утраты традиционных знаний и навыков, необходимых для работы с этим типом наследия.

Перспективы дальнейшего развития деятельности музея связаны с расширением применения современных технологий документирования и мониторинга, развитием международного сотрудничества, созданием образовательных программ и усилением просветительской работы, направленной на формирование в обществе понимания ценности культурного наследия и необходимости его сохранения для будущих поколений.

Литература

1. Ашығалиев, Б.М. О создании музея под открытым небом на территории средневекового городища Жайык / Б.М. Ашығалиев // Археология Евразийских степей. – 2022. – № 1. – С. 86–92.

2. Жукова, Е.А. Почвенные исследования в современной истории садов Русского музея после их реставрации / Е.А. Жукова // Проблемы и состояние почв городских и лесных экосистем : материалы научно-практической конференции. – СПб., 2021. – С. 14–17.

3. Зайцева, А.М. Памятники природы в сохранении биологического и ландшафтного разнообразия на примере историко-мемориального отдела «Усадьба В.П. Сукачева» Иркутского областного художественного музея / А.М. Зайцева // Природопользование и охрана природы: Охрана памятников природы, биологического и ландшафтного разнообразия Томского Приобья и других регионов России : материалы IX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, 2020. – С. 403–409.

4. Калменов, М.Д. Топография и хронология средневековых поселений западных ре-

гионов Казахстана / М.Д. Калменов, А.Е. Бижанова // Генуэзская Газария и Золотая Орда. Т. 2. – Казань, Кишинев : Stratum plus, 2019. – С. 237–261.

5. Кепин, Д.В. Теоретические основы естественнонаучного памятниковедения / Д.В. Кепин // Культура Беларуси: реалии современности. X Международная научно-практическая конференция : сборник научных статей. – Минск, 2021. – С. 161–164.

6. Углева, Н.В. Изучение древнерусской мебели в первой половине XX века. К вопросу историографии / Н.В. Углева // Культурное наследие России. – 2021. – № 1(32). – С. 46–53.

7. Anker, P. Norwegian Stave Churches. Construction, History and Form / P. Anker. – Oslo : Arfo Publishers, 2005. – 267 p.

8. Athanasopoulos, G.-S. Emerging Spanning Trees in the Work of Candilis–Josic–Woods / G.-S. Athanasopoulos // Nexus Network Journal. – 2020. – Vol. 23. – P. 121–134.

9. Brykowski, R. Wooden Churches in Poland / R. Brykowski. – Warsaw : Arkady Publishing, 2013. – 234 p.

10. Harrison, R. Heritage: Critical Approaches / R. Harrison. – London : Routledge, 2013. – 268 p.

11. Heikkinen, T. Conservation of Historic Wooden Buildings in Finland / T. Heikkinen // APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology. – 2019. – Vol. 50. – No. 2-3. – P. 175–182.

12. Hjelmo, K. Traditional Carpentry Techniques in Nordic Wooden Architecture / K. Hjelmo, O. Christensen // Journal of Architectural Conservation. – 2015. – Vol. 21. – No. 3. – P. 176–189.

13. Hohler, E. Norwegian Stave Church Sculpture. 2 vols / E. Hohler. Oslo : Scandinavian University Press, 1999.

14. ICOMOS. Principles for the Preservation of Historic Timber Structures. – Mexico, 1999. – 23 p.

15. Lafontaine, R.H. The Stabilization of Wood / R.H. Lafontaine, P.A. Wood // CCI Technical Bulletin. Canadian Conservation Institute. – 2020. – No. 22. – P. 265–278.

16. Maran-Stevanović, A. Conservation of paleontological heritage in Serbia: from philosophy to practice / A. Maran-Stevanović // Bulletin of the Natural History Museum. – 2014. – No. 7. – P. 7–28.

17. McCann, D. Cultural Landscapes and Heritage Conservation / D. McCann // International Journal of Heritage Studies. – 2018. – Vol. 24. – No. 2. – P. 175–189.

18. Melaani, N.M. Ecological and Educational Activities of Museum Exhibition Complex «Nature» / N.M. Melaani // Materials of Interregional Scientific-Practical Conference. – Kirov, 2009. – P. 85–91.

19. Mortensen, T. Living History at Open-Air Museums / T. Mortensen // Museum Management and Curatorship. – 2016. – Vol. 31. – No. 1. – P. 85–97.

20. Mäkelä, J. Windmills in Northern Europe: History and Technology / J. Mäkelä. – Helsinki : Finnish Heritage Agency, 2016. – 156 p.

21. Parks Canada. Conservation Standards for Historic Wooden Structures. – Ottawa : Government of Canada, 2010. – 89 p.

22. Petrescu, M. The Village Museum of Bucharest: Conservation Challenges and Solutions / M. Petrescu // Studies in Conservation. – 2015. – Vol. 60. – No. 4. – P. 231–240.

23. Rentzhog, S. Open Air Museums: The History and Future of a Visionary Idea / S. Rentzhog. – Stockholm : Carlssons Publishing, 2007. – 456 p.

24. Sturluson, J. Authenticity in Wooden Architecture Conservation / J. Sturluson // Journal of Architectural Conservation. – 2017. – Vol. 23. – No. 3. – P. 228–242.

25. UNESCO. Policy Document for the Integration of a Sustainable Development Perspective into the Processes of the World Heritage Convention. – Paris : UNESCO World Heritage Centre, 2015. – 98 p.

26. Valste, Y. Landscape Integration of Open-Air Museums / Y. Valste // Museum International. – 2014. – Vol. 66. – No. 1-4. – P. 199–208.

27. Venice Charter. International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites. – Venice : ICOMOS, 1964.

28. Weeks, K.D. The Secretary of the Interior's Standards for the Treatment of Historic Properties with Guidelines for Preserving, Rehabilitating, Restoring & Reconstructing Historic Buildings/ K.D. Weeks, A.E. Grimmer. – Washington : National Park Service, 2017. – 168 p.

References

1. Ashygaliev, B.M. O sozdanii muzeya pod otkrytym nebom na territorii srednevekovogo gorodishcha ZHajyk / B.M. Ashygaliev // Arkheologiya Evrazijskikh stepej. – 2022. – № 1. – S. 86–92.

2. ZHukova, E.A. Pochvennye issledovaniya v sovremennoj istorii sadov Russkogo muzeya posle ikh restavratsii / E.A. ZHukova // Problemy i sostoyanie pochv gorodskikh i lesnykh ekosistem : materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – SPb., 2021. – S. 14–17.

3. Zajtseva, A.M. Pamyatniki prirody v sokhranении biologicheskogo i landshaftnogo raznoobraziya na primere istoriko-memorialnogo otdela «Usadba V.P. Sukacheva» Irkutskogo oblastnogo khudozhestvennogo muzeya / A.M. Zajtseva // Prirodopolzovanie i okhrana prirody: Okhrana pamyatnikov prirody, biologicheskogo i landshaftnogo raznoobraziya Tomskogo Priobya i drugikh regionov Rossii : materialy IX Vserossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoy konferentsii, 2020. – S. 403–409.

4. Kalmenov, M.D. Topografiya i khronologiya srednevekovykh poselenij zapadnykh regionov Kazakhstana / M.D. Kalmenov, A.E. Bizhanova // Genuezskaya Gazariya i Zolotaya Orda. T. 2. – Kazan, Kishinev : Stratum plus, 2019. – S. 237–261.

5. Kepin, D.V. Teoreticheskie osnovy estestvennonauchnogo pamyatnikovedeniya / D.V. Kepin // Kultura Belarusi: realii sovremennosti. KH Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya : sbornik nauchnykh statej. – Minsk, 2021. – S. 161–164.

6. Ugleva, N.V. Izuchenie drevnerusskoj mebeli v pervoj polovine KHKH veka. K voprosu istoriografii / N.V. Ugleva // Kulturnoe nasledie Rossii. – 2021. – № 1(32). – S. 46–53.

Activities of the A.V. Shchusev Research Museum to Preserve Monuments of Old Russian Wooden Architecture in the Open Landscapes of Modern Russia

T.V. Portnova

*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow (Russia)*

Key words and phrases: wooden architecture; architectural museum; cultural monuments; open landscapes; restoration; conservation; museumification; cultural heritage.

Abstract. The article is devoted to a comprehensive study of the activities of the A.V. Shchusev State Research Museum of Architecture in the field of preservation of monuments

of Old Russian wooden architecture. The main directions of the museum's work on conservation, restoration, and museumification of objects of folk wooden architecture in open areas are considered. The methods of scientific research of monuments, the features of their adaptation to natural conditions, international experience in preserving wooden heritage, and the problems of preserving architectural heritage in modern realities are analyzed. The exhibition presents specific examples of monuments that the museum has worked with, including church buildings, residential estates, and farm buildings from various regions of Russia. Special attention is given to the application of interdisciplinary approaches and modern technologies in the practice of preserving wooden architecture.

© Т.В. Портнова, 2026

УДК 72.01:621.548

Архитектурная интеграция систем ветрогенерации энергии в планировочно-пространственные решения жилых зданий

Е.С. Пономарев, Р.Р. Хафизов, Б.Р. Халиуллин

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный
архитектурно-строительный университет»,
г. Казань (Россия)*

Ключевые слова и фразы: архитектурная интеграция; ветроэнергетика; возобновляемые источники энергии; жилая застройка; прибрежные территории; фасадные системы; экоустойчивое проектирование.

Аннотация. В статье рассматриваются принципы архитектурной интеграции малых и средних систем ветроэнергетики в структуру жилой застройки в контексте экоустойчивого и климатоориентированного проектирования. Анализируется эволюция подходов к использованию ветрогенераторов – от автономных инженерных устройств к элементам, влияющим на формирование объемно-пространственной композиции и архитектурного образа здания. Особое внимание уделяется территориям с выраженными ветровыми характеристиками, в частности прибрежным районам Российской Федерации – поселку Териберка (Мурманская область) и району Коктебеля (Республика Крым), где климатические условия формируют объективные предпосылки для включения ветрового потенциала в формирование жилой застройки.

Цель исследования – разработка классификации архитектурных стратегий интеграции систем ветрогенерации энергетических потоков в проектные решения жилых зданий и определение условий их применения в регионах с выраженным ветровым потенциалом.

Задачи исследования: анализ типологических характеристик ветроэнергетических установок в архитектурном контексте; выявление инструментов компенсации ограничений ветроэнергетики средствами архитектурного проектирования; описание ключевых стратегий архитектурной интеграции ветрогенерации на основе анализа реализованных объектов; предложить классификацию архитектурных стратегий интеграции систем ветрогенерации в структуру жилых зданий.

Гипотеза исследования заключается в предположении, что при условии интеграции ветроэнергетических систем в объемно-планировочную структуру здания на стадии концептуального проектирования с учетом розы ветров, скоростных характеристик воздушных потоков и аэродинамики объема, возможно повышение эффективности использования ветрового потенциала территории без ухудшения эксплуатационных и композиционных характеристик архитектурной среды.

Методы исследования: аналитический обзор научных источников, сравнительный анализ реализованных архитектурных объектов, визуально-пространственный анализ архитектурных решений, интерпретация климатических данных прибрежных территорий.

Научная новизна исследования состоит в формировании архитектурного подхода к ветроэнергетике как фактору формообразования жилой застройки, а также в разработке классификации архитектурных стратегий интеграции ветровых систем, ориентированной на климатические условия прибрежных территорий Российской Федерации.

Результаты исследования могут быть использованы в практике архитектурного проектирования жилых зданий и комплексов в регионах с выраженным ветровым потенциалом, а также в научных исследованиях, посвященных устойчивой архитектуре и климатоориентированному проектированию.

Современный этап развития архитектуры характеризуется переходом от энергозависимых моделей застройки к принципам устойчивого и климатоориентированного проектирования [6; 7]. В данном контексте архитектура перестает трактоваться как пассивная оболочка и приобретает статус инструмента управления энергетическими и климатическими процессами, включая локальное производство энергии за счет возобновляемых источников.

Ветроэнергетика занимает особое положение для территорий с выраженными ветровыми характеристиками – прибрежных, горных и открытых равнинных регионов. Для ряда субъектов Российской Федерации (Мурманская область, Республика Крым, побережье Арктики и Черного моря) ветровой потенциал является объективным природным ресурсом, однако его использование в жилищном строительстве остается ограниченным.

Сложившаяся отечественная практика архитектурного проектирования демонстрирует отсутствие архитектурных решений по внедрению ветрогенеративной энергетики в проектные решения, что приводит к неиспользованию эффективного климатического ресурса при инженерной доступности малых ветроэнергетических установок. В итоге сейчас наблюдается отсутствие архитектурного инструментария внедрения таких ветрогенераторов в структуру жилых зданий.

В отечественной практике ветроэнергетика преимущественно рассматривается как

автономный инженерный объект, размещаемый вне архитектурной композиции здания. В результате формируется разрыв между потенциалом технологии и ее пространственно-композиционной интерпретацией.

Проблема заключается в отсутствии систематизированного архитектурного подхода к интеграции ветроэнергетических систем в архитектуру жилых зданий, учитывающего типологию оборудования, аэродинамику объема, нормативные ограничения и формообразующий потенциал климатического фактора.

Ветроэнергетика в контексте устойчивого развития

Ветроэнергетика – это отрасль возобновляемой энергетики, преобразующая кинетическую энергию воздушных потоков в электрическую с помощью ветрогенераторов различных типов [3].

Использование энергии ветра в архитектурной и ландшафтной среде имеет многовековой опыт. Традиционные ветряные мельницы выполняли одновременно инженерные и градостроительные функции, становясь визуальными доминантами и элементами территориальной идентичности. В процессе индустриализации ветровые установки утратили архитектурную выразительность и закрепились в качестве утилитарных объектов, изолированных от жилой застройки.

В XX веке данная тенденция усилилась: ветроэнергетика развивалась преимущественно в формате крупных ветропарков, размещаемых за пределами населенных пунктов [3]. Представление о ветровых объектах как об элементах исключительно инженерной инфраструктуры, не предполагающих архитектурного осмысления, прочно вошло в профессиональный обиход.

Перелом случился в 1990–2000 годы под влиянием нескольких параллельных процессов: появлением компактных вертикально-осевых установок, пригодных для интеграции в здания, и нарастающего интереса к концепции «Здание нулевого энергопотребления» (*Zero-energy building*). В этот период появляются первые реализованные объекты, в которых ветровые системы становятся частью архитектурной концепции – не скрытыми и не нейтральными, а структурно и визуально значимыми.

На сегодняшний день в мировой практике данный ресурс рассматривается как один из ключевых инструментов снижения углеродного следа строительного сектора и диверсификации энергоснабжения. Согласно международным прогнозам, к 2030 году доля ветровой энергетики в мировом производстве может достичь 20–25 %, при этом акцент делается на распределенной генерации непосредственно в структуре застроенных территорий. К основным преимуществам ветровой энергетики относятся:

- возобновляемость ресурса;
- отсутствие выбросов загрязняющих веществ в процессе эксплуатации;
- возможность локальной генерации и снижение нагрузки на централизованные сети.

Вместе с тем ее применение в жилой застройке выявляет ряд ограничений, включая акустическое воздействие, вибрационные нагрузки, влияние на визуальный облик зданий, зависимость эффективности от локальных климатических параметров и высокие капитальные затраты на начальном этапе внедрения. Именно эти барьеры формируют повестку для архитектурного проектирования: часть из них может быть существенно смягчена проектными средствами.

Ветроэнергетические системы в урбанизированной среде оказывают многоуровне-

вое воздействие на территорию, влияя не только на энергетический потенциал, но и на инженерную инфраструктуру и архитектурный облик. В связи с этим при оценке их эффективности как элементов устойчивого развития необходимо учитывать комплекс критериев, включающих технические, пространственные, эксплуатационные и визуальные параметры.

Типология ветроэнергетических установок и их архитектурный потенциал

С точки зрения архитектурного проектирования ключевое значение имеет типологическое разнообразие ветроэнергетического оборудования.

Выделяют два основных класса.

1. Горизонтально-осевые установки (*HAWT – Horizontal Axis Wind Turbines*). Характеризуются высокой эффективностью при устойчивом однонаправленном потоке и значительными габаритами, что существенно осложняет их интеграцию в застройку.

2. Вертикально-осевые установки (*VAWT – Vertical Axis Wind Turbines*). Такие установки, в отличие от горизонтально-осевых, имеют ряд свойств, принципиально важных именно для архитектурного применения: способны работать при разнонаправленных и турбулентных потоках (характерных для застроенной среды), не требуют ориентации на ветер и отличаются относительно компактными пропорциями [5; 6].

Среди вертикально-осевых установок выделяются ротор Савониуса (простая конструкция с S-образными лопастями, восприимчивая к слабым ветрам), турбина Дарье (с аэродинамическими лопастями, обеспечивающая высокий КПД при устойчивых скоростях), а также спиральные и геликоидальные конструкции, привлекательные с визуальной точки зрения и нередко выбираемые именно из-за своей выразительной формы. Последние демонстрируют значительный потенциал для фасадной интеграции: их динамичная форма может стать активным элементом архитектурной композиции, не противоречащим, а дополняющим визуальную логику здания.

Функционирование ветроэнергетических систем в структуре застройки влияет не только на энергетический потенциал территории, но и на ее инженерную инфраструктуру, микроклимат и архитектурный облик. Следовательно, критерии оценки таких систем как элемента устойчивого развития должны включать не только технические (мощность, КПД, надежность), но и эксплуатационные и визуальные параметры [4]. В рамках данного исследования принципиальным является рассмотрение ветроэнергетики не как автономной инженерной технологии, а как архитектурно значимого фактора, способного влиять на пространственную организацию и формирование облика жилой застройки при условии ее интеграции на ранних стадиях проектирования.

Зарубежный и российский опыт интеграции ветроэнергетики в архитектуру

В мировом архитектурном опыте количество реализованных проектов, в которых ветровые энергетические системы становятся частью архитектурной концепции здания, остается ограниченным. Вместе с тем ряд существующих объектов демонстрируют возможность системного включения генераторов в формирование визуального образа и пространственной структуры здания. К наиболее показательным примерам относятся: *Strata SE1* в Лондоне (*BFLS Architects*), *Bahrain World Trade Center* в Манаме (*Atkins*) и *Pearl River Tower* в Гуанчжоу (*Skidmore, Owings & Merrill*) [4; 5]. Для более наглядного сравнения и систематизации ключевых характеристик вышеупомянутых объектов представлен архи-

Таблица 1. Обзорный анализ примеров интеграции ветрогенераторов в архитектуру зданий

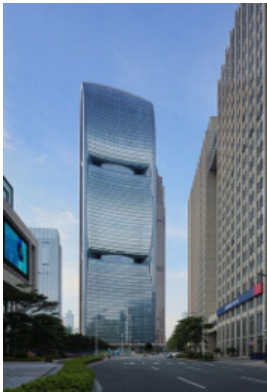
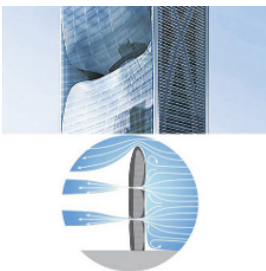
Объект	Тип интеграции ветровых систем в архитектурную композицию здания	Инженерные особенности интегрированных ветрогенераторов
Strata SE1 (BFLS Architects, 2010) – жилой небоскреб. Расположение: Лондон, Великобритания 	Три горизонтально-осевых ветрогенератора, расположенные на кровле. Интеграция ветровых турбин в объемную доминанту жилой башни; турбины – акцент композиции, формирующий силуэт	Интегрированные турбины первоначально должны были обеспечить $\approx 8\%$ электричества, но в 2014 г. были остановлены из-за акустических и вибрационных проблем
Bahrain World Trade Center (Atkins, 2008) – торговый центр. Расположение: Манама, Бахрейн 	Три большие HAWT между двумя башнями (на мостах). Архитектурно-аэродинамическая форма «парусов» способствует направлению ветровых потоков к турбинам; ветровые элементы включены в композиционный рисунок фасада	Интегрированные турбины общей мощностью 675 кВт способны генерировать $\approx 1100\text{--}1300$ МВт·ч/год ($\approx 11\text{--}15\%$ энергопотребления здания) и существенно сокращают выброс CO_2
Pearl River Tower (Skidmore, Owings & Merrill, 2013) – небоскреб, деловой центр. Расположение: Гуанчжоу, Китай 	Четыре ветровых турбины в сквозных отверстиях здания (аэротоннели). Архитектурно сформированные проемы позволяют направлять ветер через турбины; ветровые системы интегрированы в форму и фасад 	Ветроэнергетическая интеграция является частью комплекса энергосберегающих технологий здания и служит для генерации части энергии и оптимизации вентиляционных систем

Таблица 1. Обзорный анализ примеров интеграции ветрогенераторов в архитектуру зданий (*продолжение*)

Объект	Тип интеграции ветровых систем в архитектурную композицию здания	Инженерные особенности интегрированных ветрогенераторов
St George Wharf Tower – жилой небоскреб. Расположение: Лондон, Великобритания 	Одна небольшая турбина в верхней части фасада. Архитектурное выделение зон верхнего объема для ветрогенератора; попытка использовать ветер на высотных уровнях	Генерация энергии для общих систем здания (общего освещения и т.п.) в рамках комплексной энергоэффективной стратегии.

тектурно-планировочный анализ в табл. 1.

Перечисленные проекты демонстрируют различные модели взаимоотношений архитектурной формы и ветроэнергетической системы: в *Strata SE1* турбины формируют силуэт; в *Bahrain WTC* – организуют пространство между объемами; в *Pearl River Tower* – определяют логику формы изнутри, оставаясь визуально нейтральными. Широкий спектр решений подтверждает, что архитектурная интеграция ветрогенерации не сводится к единственному приему, а предполагает широкий диапазон подходов в зависимости от типологии здания, климатического контекста и проектной концепции. В то же время анализ показывает, что успешная интеграция ветроэнергетических установок требует: учета аэродинамики объемов, включения генераторов в композиционные акценты здания и синхронизации инженерных и архитектурных решений.

Таким образом, зарубежная практика подтверждает возможность перехода от изолированных инженерных решений к комплексной системной интеграции ветроэнергетики в архитектуру жилой застройки, что создает основу для дальнейших исследований.

Анализ отечественного опыта проектирования показывает, что внедрение ветроэнергетических установок в структуру жилых зданий в России носит ограниченный и фрагментарный характер.

Основные факторы, препятствующие распространению ветроустановок в качестве интегрированного архитектурного решения.

1. Акустические и вибрационные ограничения. Согласно санитарным нормам, допустимые уровни шума в жилых помещениях существенно ограничивают возможность размещения ветроустановок в непосредственной близости к жилым зонам. Низкочастотные колебания и структурные вибрации, возникающие при работе турбин, требуют применения демпфирующих систем и пространственной изоляции, что усложняет проектирование и увеличивает стоимость строительства.

Таблица 2. Типология интегрирования ветрогенераторов в архитектуру зданий

Название и тип интеграции	Пространственно-композиционный принцип	Преимущества и ограничения	Условия эффективного применения
Силуэтная интеграция (Компактные <i>HAWT</i> ; <i>VAWT</i>)	Устраиваются в верхних ярусах здания (кровля, технический этаж, завершение объема) Формирует вертикальную доминанту; генератор включен в силуэт здания	Преимущества: • максимальная скорость ветра на высоте; • выразительность архитектурного образа. Ограничения: • повышенные требования к виброизоляции; • сложность обслуживания	Средняя и высокая этажность; наличие технических зон
Фасадно-модульная интеграция (Малые <i>VAWT</i>)	Устанавливаются в структуре навесных фасадов, межэтажных пространствах, парапетах. Повторяющийся модуль; фасад как активная климатическая оболочка	Преимущества: • распределенная генерация; • масштабная соразмерность жилым зданиям; • поэтапная реализация. Ограничения: • снижение КПД в турбулентной среде	Плотная городская застройка; здания средней этажности; применение в составе энергоэффективных фасадных систем
Аэродинамически направляемая интеграция (<i>HAWT</i> средней мощности; <i>VAWT</i>)	Устраиваются в сквозных проемах, атриумах, межбашенных пространствах Формирует направляющие поверхности и сужений потока	Преимущества: • повышение эффективности за счет направленного потока; • интеграция в объемную логику здания. Ограничения: • высокая сложность проектирования; • необходимость аэродинамического моделирования	Башенные комплексы; открытые прибрежные территории; наличие выраженной розы ветров.
Кластерная (средовая) интеграция (Малые <i>VAWT</i> ; автономные установки 1–10 кВт.)	Размещаются в дворовых пространствах, общественных зонах, переходных галереях (вынос генераторов за пределы жилых объемов). Формируют пространственные акценты	Преимущества: • снижение акустического воздействия на жилье; • упрощенное обслуживание; формирование идентичности среды. Ограничения: • ограниченная мощность; • зависимость от планировочной структуры комплекса	Кластерная или квартальная застройка; прибрежные и открытые ветреные территории.

2. Экономическая эффективность. В условиях турбулентной городской среды коэффициент использования установленной мощности (**КИУМ**) малых ветроустановок значительно ниже, чем в открытых ландшафтах. Увеличение стоимости конструктивной интеграции на 15–30 % при относительно низкой доле покрытия энергопотребления здания снижает инвестиционную привлекательность подобных решений.

3. Эксплуатационные факторы. В высотных зданиях обслуживание турбин требует привлечения специализированных сервисных служб. В регионах с продолжительным зимним периодом и риском обледенения эксплуатационные расходы возрастают.

В результате в российской практике преимущественно распространены: надкрышные установки малой мощности (1–5 кВт), автономные решения для индивидуального жилищного строительства, демонстрационные объекты в составе энергоэффективных домов.

Таким образом, отечественный опыт подтверждает, что без разработки архитектурно-инженерной методологии интеграции ветроэнергетики остается вспомогательной технологией, не влияющей на формирование архитектурной структуры здания.

Архитектура как инструмент компенсации ограничений ветроэнергетики

Архитектура, как пространственная система, располагает комплексом необходимых проектных инструментов, позволяющих компенсировать ограничения ветроэнергетики за счет формообразования, функционального зонирования и работы с аэродинамикой объема.

Акустические и вибрационные воздействия могут быть снижены посредством пространственной изоляции генераторов, размещения их в технических зонах, применения демпфирующих конструкций (элементов, поглощающих вибрации и уменьшающих передачу колебаний на несущие конструкции), буферных объемов и специализированных узлов крепления (шарнирных, виброизолирующих и компенсирующих соединений, учитывающих динамические нагрузки).

В практике проектирования ветроэнергетические установки нередко воспринимаются как автономные инженерные объекты, визуально не связанные с архитектурным решением здания или застройки. Однако грамотная интеграция таких систем в композицию здания или ландшафта позволяет решить эту проблему. Инженерные элементы могут стать выразительным акцентом, влияющим на формообразование пространственной структуры здания, а также усилить идентичность. Учет климатических параметров (роза ветров, рельеф местности) и аэродинамических особенностей при проектировании открывает возможность использовать архитектуру как инструмент оптимизации микроклимата прилегающих территорий.

Ориентация объема здания относительно преобладающих направлений ветра, формирование аэродинамически активных форм, фасадов и кровельных элементов, использование разрывов и атриумов – эти и другие приемы способны управлять воздушными потоками в застроенной среде, снижать эффект турбулентности в пешеходных зонах и улучшать условия естественной вентиляции дворов и общественных зон. В результате ветроэнергетические элементы приобретают композиционную значимость, участвуя в формировании архитектурного образа и отражая климатически обусловленный характер проектного решения.

Классификация архитектурных стратегий интеграции систем ветрогенерации

На основе сравнительно-типологического анализа реализованных объектов и инженерных ограничений предлагается следующая классификация архитектурных стратегий интеграции ветроэнергетических установок в жилую застройку (табл. 2).

Предложенная система стратегий демонстрирует, что интеграция ветроэнергетики может осуществляться на различных уровнях архитектурной структуры – от объемной ком-

позиции до средовой организации комплекса. Выбор стратегии определяется климатическими условиями, типологией застройки и нормативными ограничениями.

Классификация формирует основу для дальнейшей разработки методологии проектирования климатоадаптивного жилья в ветреных регионах Российской Федерации.

Эстетика климатической адаптации как основа образа устойчивого жилья

Обращение к теме ветроэнергетики в архитектуре неизбежно ставит вопрос: каким образом инженерная система, подчиненная функциональной логике, может стать основой архитектурного образа, воспринимаемого как целостный и выразительный? Ответ на этот вопрос связан с понятием эстетики климатической адаптации – направления, в котором видимые следы взаимодействия здания с природной средой становятся источником архитектурной выразительности. Теоретические основы климатоориентированного подхода были сформулированы в работах В. Ольгья и Б. Гивони [5; 6].

Исторически архитектура работала с погодой и климатом как с ограничением: стена защищает от ветра и холода, кровля укрывает от дождя, навес – от солнца. В этой логике природные факторы воспринимались как враждебная среда. Устойчивая архитектура предлагает принципиально иную установку: климатические факторы (ветер, солнечная радиация, температурные перепады, влажность) рассматриваются не как проблемы, а как ресурсы. Здание не противостоит погодным условиям, а взаимодействует с ними, преобразуя их в энергию и образ. В этой коммуникации рождается новая концепция – эстетика «читаемости» природных процессов в архитектурной форме.

Применительно к ветроэнергетике это означает следующее: вращающийся ротор ветрогенератора перестает быть техническим прибором и становится видимым знаком взаимодействия здания с ветром. Форма, движение, ритм – эти свойства обретают архитектурный смысл, когда их включение в здание становится осознанным проектным решением. Архитектура перестает скрывать технические процессы и, напротив, делает их предметом осмысленного визуального выражения. Таким образом, устойчивость здания становится не абстрактным понятием, а воспринимаемым качеством среды.

Для консервативного сектора жилья, где инженерные решения нередко воспринимаются как нечто чужеродное, такой подход имеет принципиальное значение. Эстетика климатической адаптации предлагает иной путь легитимации новых технологий: через апелляцию к природному контексту, понятному и близкому жителям.

В прибрежных регионах с выраженными розами ветров (Коктебель, Териберка) эта эстетика приобретает конкретное территориальное измерение. Ветрогенерация здесь становится не только источником энергии, но и инструментом формирования образа места, отражающего специфику ветрового ландшафта.

Таким образом, архитектурная интеграция ветроэнергетических систем способствует формированию нового архитектурного языка при проектировании устойчивого жилья, в котором инженерные, климатические и композиционные решения образуют единую пространственную систему. Эстетика климатической адаптации позволяет перейти от маскировки инженерных технологий к их осмысленному включению в архитектурный образ, делая устойчивость неотъемлемым и визуально выраженным композиционным инструментом архитектора.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило гипотезу о том, что интеграция ветроэнергетических систем на стадии концептуального проектирования позволяет использовать ветровой потенциал территории без нарушения эксплуатационных и композиционных характеристик среды обитания жилых зданий. При этом расширяется композиционно-пространственный инструментарий архитектора для принятий проектных решений.

Основные результаты.

1. Выявлены архитектурные ограничения внедрения ветроэнергетики в жилую застройку в условиях Российской Федерации.
2. Определены механизмы компенсации инженерных факторов средствами архитектурного проектирования.
3. Разработана классификация стратегий интеграции, учитывающая масштаб, типологию и пространственную структуру застройки.
4. Обоснована целесообразность применения кластерных и фасадно-модульных моделей в условиях плотной городской среды.

Перспективы дальнейших исследований связаны с использованием *CFD*-моделирования при проектировании, разработкой нормативных рекомендаций и оценкой энергетической эффективности различных стратегий в конкретных климатических районах.

Литература

1. Климат России / Росгидромет [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://meteof.ru>.
2. Лубков, А.С. Исследование ветроэнергетических ресурсов Крымского полуострова на основе почасовых данных реанализа ERA5 / А.С. Лубков, О.Ю. Сухонос // *Monitoring Systems of Environment*. – 2020. – № 3. – С. 23–29.
3. Бейкер, К.Дж. Ветроинженерия – прошлое, настоящее и будущее / К.Дж. Бейкер // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 2007. – Т. 95. – С. 843–870.
4. Блокен, Б. Ветровая среда пешеходных пространств вокруг зданий: обзор литературы и практические примеры / Б. Блокен, Ж. Кармелиет // *Journal of Thermal Envelope and Building Science*. – 2004. – Т. 28. – С. 107–159.
5. Гивони, Б. Климатические аспекты архитектуры и градостроительства / Б. Гивони. – Нью-Йорк : John Wiley & Sons, 2017. – 544 с.
6. Ольгяй, В. Проектирование с учетом климата: биоклиматический подход к архитектурному регионализму / В. Ольгяй. – Принстон : Princeton University Press, 2015. – 203 с.

References

1. *Klimat Rossii / Rosgidromet [Elektronnyj resurs]*. – Rezhim dostupa : <https://meteof.ru>.
2. Lubkov, A.S. Issledovanie vetroenergeticheskikh resursov Krymskogo poluostrova na osnove pochasovykh dannykh reanaliza ERA5 / A.S. Lubkov, O.YU. Sukhonos // *Monitoring Systems of Environment*. – 2020. – № 3. – S. 23–29.
3. Beijker, K.Dzh. Vetroinzheneriya – proshloe, nastoyashchee i budushchee / K.Dzh. Beijker // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 2007. – T. 95. – S. 843–870.

4. Bloken, B. Vetrovaya sreda peshekhodnykh prostranstv vokrug zdaniy: obzor literatury i prakticheskie primery / B. Bloken, ZH. Karmeliet // Journal of Thermal Envelope and Building Science. – 2004. – T. 28. – S. 107–159.
5. Givoni, B. Klimaticheskie aspekty arkhitektury i gradostroitelstva / B. Givoni. – Nyu-Jork : John Wiley & Sons, 2017. – 544 s.
6. Olgyaj, V. Proektirovanie s uchetom klimata: bioklimaticheskij podkhod k arkhitekturnomu regionalizmu / V. Olgyaj. – Prinston : Princeton University Press, 2015. – 203 s.

Architectural Integration of Wind Energy Systems into Residential Environments

E.S. Ponomarev, R.R. Khafizov, B.R. Khaiullin

Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan (Russia)

Key words and phrases: sustainable design; wind energy; architectural integration; façade systems; residential development; coastal areas; renewable energy sources.

Abstract. This paper explores principles for the architectural integration of small- and medium-scale wind energy systems within residential environments, emphasizing sustainable and climate-responsive design strategies. The study traces the evolution of wind turbine applications, from standalone engineering devices to elements that actively shape the spatial composition and architectural identity of buildings. Particular attention is given to regions with pronounced wind conditions, notably coastal areas of the Russian Federation, such as the village of Teriberka (Murmansk Oblast) and the Koktebel area (Republic of Crimea), where local climatic factors create favorable conditions for harnessing wind potential in residential development.

The primary objective of this research is to develop a classification of architectural strategies for integrating wind energy systems into residential settings and to identify conditions for their effective implementation in high-wind regions.

Research objectives include:

- examining typological characteristics of wind energy installations within architectural contexts;
- identifying design strategies to mitigate technical limitations of wind energy through architectural interventions;
- analyzing existing projects to highlight key approaches to architectural integration of wind systems;
- proposing a comprehensive classification of integration strategies for wind energy systems.

The research hypothesis posits that incorporating wind energy systems into the volumetric and planning structure of buildings during the conceptual design stage – taking into account the local wind rose, airflow dynamics, and building aerodynamics – can optimize the use of wind resources without compromising the functional or compositional qualities of the architectural environment.

The study employs the following methods: literature review, comparative analysis of implemented architectural projects, visual-spatial analysis of design solutions, and interpretation of climatic data for coastal regions.

The findings of the study have both theoretical and practical implications. On the one

hand, this research introduces an architectural approach to wind energy and a shaping factor in residential development and proposes a classification framework for the integration of wind systems tailored to climatic conditions of coastal areas of the Russian Federation. On the other hand, the findings can guide the design of residential buildings in regions with substantial wind resources and provide a foundation for further research in sustainable, climate-adaptive architecture.

© Е.С. Пономарев, Р.Р. Хафизов, Б.Р. Халиуллин, 2026

УДК 711.4.01

Принципы создания пластической выразительности городского ландшафта высотной архитектурой

А.С. Шаяхметов, Е.С. Пономарев

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный
архитектурно-строительный университет»,
г. Казань (Россия)*

Ключевые слова и фразы: высотная архитектура; градостроительство; инновации; устойчивость; энергоэффективность.

Аннотация. Представленное исследование, посвященное анализу современных тенденций формирования высотной архитектуры, имеет большое значение в условиях большого роста городов. В ходе исследования прослеживается типология ключевых элементов городской застройки, позволяющих создать выразительную пластику городской ткани с учетом внедрения инновационных инженерных решений высотных зданий, повышающих их композиционную доминантность. Чтобы понять, как высотные здания создают выразительный облик города, были проанализированы городские панорамы и схемы фасадов, с разбивкой на планы (передний, средний, задний), чтобы увидеть, где именно высотные сооружения выступают как визуальные акценты. Рост высотной застройки требует от архитекторов новых и современных подходов: чтобы создавать выразительные и глубокие визуальные композиции улиц, необходимо тщательно продумывать расположение таких зданий, но при этом нужно соблюдать принципы устойчивого развития и обеспечивать комфортное проживание горожан.

Цель работы: изучить основные направления и закономерности эволюции современной высотной архитектуры как части городской среды.

Задачи исследования: оценить влияние пространственной конфигурации, светопрозрачных фасадов и передовых инженерных решений на безопасность, энергоэффективность и визуальный облик небоскребов.

Проанализировать роль высотной архитектуры в формировании городской структуры и культурной идентичности мегаполисов.

Исследовать внедрение «умных» технологий, устойчивых практик и принципов создания комфортной город-

ской среды в высотном строительстве.

Гипотеза исследования: эволюция современной высотной архитектуры направлена на гармонизацию функциональных, экологических и эстетических аспектов высотного строительства за счет интеграции технологических инноваций, принципов экологической устойчивости и требований эстетического качества городской среды в условиях современных вызовов урбанизации и технологического прогресса.

Результаты исследования могут быть полезны для архитекторов, проектировщиков и специалистов в области строительства небоскребов.

Высотная архитектура уже очень давно стала незаменимой частью современных городов. Такие сооружения показывают, насколько развита экономика города и как далеко ушла технология в этом направлении.

Эволюция небоскребов за последние несколько десятилетий показала переход от разовых экспериментальных проектов к массовому внедрению высоток, и это очень меняет облик мегаполисов [1].

При разработке комплексных архитектурно-инженерных решений решается сразу несколько задач: такие здания должны быть безопасными, удобными для людей и, конечно же, красивыми с точки зрения градостроительства и архитектуры. Форма здания имеет большое значение, она зависит от задумки архитекторов, климата и технологических возможностей строительного производства.

Для примера приведем несколько форм: округлые или волнообразные фасады позволяют снизить ветровую нагрузку на конструкцию [2].

Отличительная черта современных высоток – это стеклянные фасады, которые обеспечивают наибольшее естественное освещение внутренних пространств, создают ощущение простора, экономят энергию и имеют лаконичный внешний вид. Также имеются минусы: такие фасады требуют особых систем поддержания температуры и защиты от ультрафиолета [3].

Современные небоскребы чаще всего оснащаются «умными» системами, такими как автоматическое освещение, вентиляция и безопасность.

Архитекторы все чаще обращаются к экологичным решениям. Они устанавливают систему сбора дождевой воды, солнечные панели, проектируют зеленые крыши. А также на фасадах образуют вертикальные сады, делают здание частью экосистемы, они помогают снизить нагрузку на городскую среду, убрав излишний бетон из поля зрения человека [4].

Небоскребы были и будут особыми объектами городской структуры. Дело не только в высоте, такие здания неизбежно доминируют в силуэте города. Важную роль играют конструкции, стальной каркас в сочетании с железобетоном дает архитекторам возможность играть с новыми формами. В результате такие здания начинают влиять на городскую организацию по-другому. Они формируют акценты, задают ритм и притягивают как жителей города, так и туристов [5]. Поэтому их размещение требует продуманного подхода. Нужно учитывать инфраструктуру, транспорт и экологические ограничения.

Современная высотная архитектура стала частью городской жизни. И у людей все больше вызывает интерес, как они меняются со временем. Такие здания сегодня превращаются в сложные системы.



Рис. 1. Банк Англии Лондонский Сити:
а) генплан территории, б) внешний вид, в) развертка по небоскрегам

Рассмотрено, как инженерные решения и панорамные окна влияют на безопасность, энергосбережение и внешний вид здания. Помимо этого, анализируется, каким образом небоскребы меняют облик и помогают создать уникальный образ города. Также уделяется внимание тому, как сделать среду города комфортной для жизни горожан с помощью «умных» систем.

Подводя итог, можно сказать, что высотные здания – не просто стекло и стены, а результат сложного баланса между экологией, функциональностью и красотой. Они отвечают вызовам технологического прогресса и урбанизации.

Для изучения современных тенденций в высотном строительстве необходимо использовать несколько подходов. Один из них – это графоаналитический метод послойного построения разверток, позволяющий визуализировать пространственные решения с помощью разверток.

Данное исследование показало ключевые тенденции, которые определяют облик небоскребов и перспективные направления дальнейшего развития.

В ходе исследования выяснилось, что небоскребы чаще всего строят в деловых и финансовых центрах крупных городов (рис. 1). Нью-Йорк, Лондон, Токио, Дубай и Гонконг известны своими высотными ансамблями, они формируют центральные деловые районы и показывают мощную экономику этих мегаполисов. В Москве похожую роль играет «Москва-Сити», где находятся самые высокие здания нашей страны. В Сингапуре небоскребы расположены в районе Марина-Бэй, а в Дубае – в Даунтауне и на искусственном острове Пальма.

Анализ распределения высотных зданий показал, почему они появляются именно там.

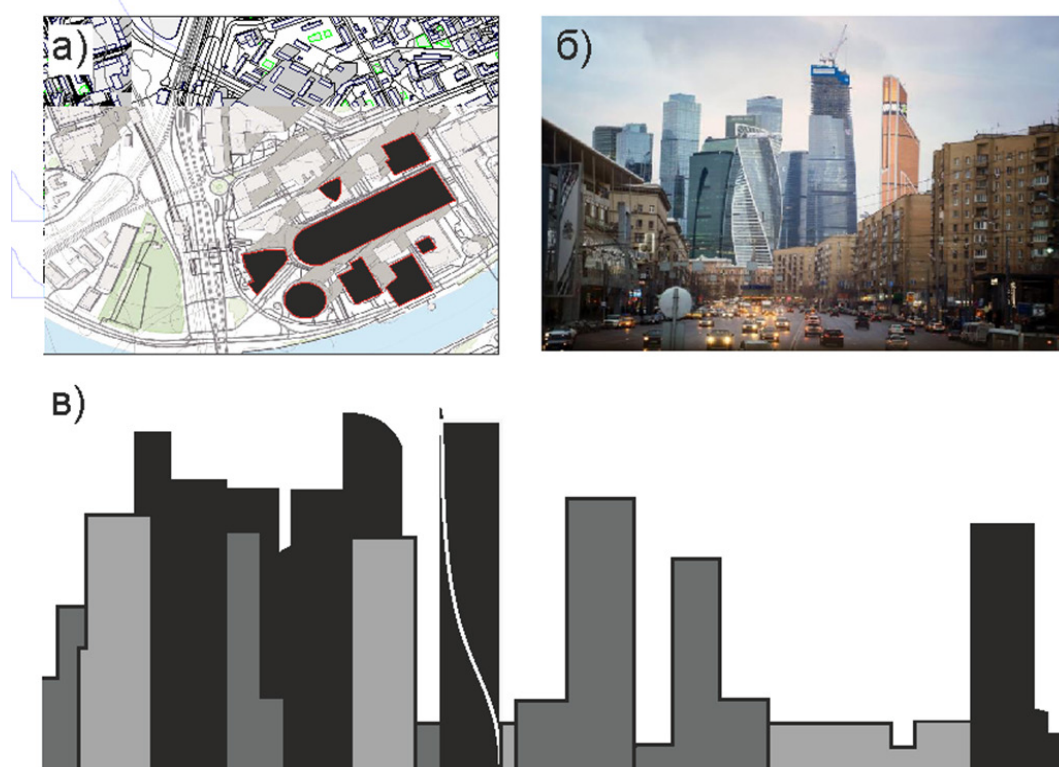


Рис. 2. «Москва-Сити»:

а) генплан территории, б) внешний вид, в) развертка по небоскрегам

Все просто: у таких мест очень хорошая транспортная доступность, удобное месторасположение и понятная функция в структуре города. При этом взаимодействие небоскребов с окружающей застройкой бывает разным, все зависит от контекста. Таким образом, можно выделить основные приемы, которые используют архитекторы, чтобы вписать высоты в городской пейзаж.

1. В деловых кварталах современные небоскребы соседствуют с историческими зданиями, памятниками, торговыми и культурными объектами, что обеспечивает гармоничное сочетание традиций и инноваций.

2. В жилых районах (рис. 2) высоты обычно интегрируются в кварталы со средней этажностью. Рядом обустраивают зоны отдыха и объекты социальной инфраструктуры.

3. Иногда небоскребы объединяют с торгово-развлекательными комплексами, гостиницами и бизнес-центрами. Так появляются оживленные общественные пространства и центры городской жизни.

Выходит, что небоскребы выступают не просто красивыми зданиями, показывающими возможности технологий. Они серьезно влияют на облик города. Благодаря им у мегаполисов появляется свой уникальный силуэт, где деловой центр тянется в небо, а где-то высоты аккуратно вписываются в историческую застройку. Количество небоскребов, их характер зависят от местных условий. Город задает рамку, а высота в нее вписывается, хотя иногда бывает, что спорит с ней. В итоге каждый силуэт получается особенным. Через небоскребы можно увидеть историю, какие были экономические сдвиги, ритм городской жизни и культурные приоритеты.

Усиливается разработка экологических решений. Архитекторы внедряют автомати-

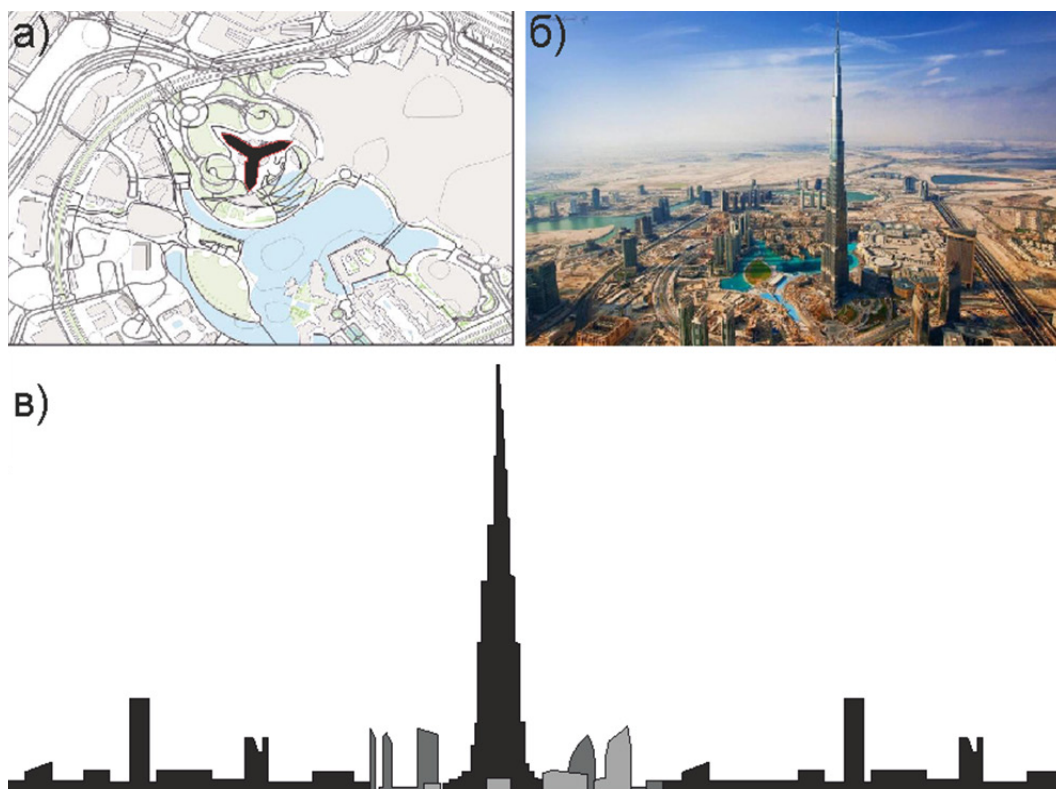


Рис. 3. Многофункциональный небоскреб в Дубае «Бурдж-Халифа»: а) генплан территории, б) внешний вид, в) развертка по небоскребу

зированные системы управления, энергоэффективные остекления фасадов, добавляя солнечные панели для экономии и удобства людей. Чтобы сократить энергопотребление, часто используются озелененные крыши. Интересный факт: такие решения меняют микроклимат, делают пространство живым. И поэтому небоскреб – не просто высокая коробочка, а часть сложной городской системы.

Популярными становятся многофункциональные здания (рис. 3). Они объединяют жилье, офисы, торговые и общественные пространства, что, на наш взгляд, очень целесообразно, потому что земля дорогая и ограничена, застройщики хотят ее использовать плотнее и полностью задействовать. Нередко архитекторы сталкиваются с задачей, как все совместить в одно целое, чтобы здание не разделилось на изолированные фрагменты. В такие моменты необходим опыт в этом направлении, тщательно продумать связь между всеми функциями, искать баланс с окружением.

Неоднозначно и влияние небоскребов на городской облик. Да, они формируют силуэт, становятся ориентиром, а иногда даже символами. Также могут с легкостью нарушить, даже разрушить сложившуюся среду, особенно в исторических районах. Мы задались вопросом, где же проходит граница между развитием и вмешательством?

Без четких правил не обойтись. Чтобы сохранить целостность городской панорамы, необходимо контролировать высоту, опираться на градостроительные ограничения и работать с визуальным коридором.

Таким образом, инновации в высотном строительстве стоят дорого. К этому добавляются нормативные ограничения, сложности с инфраструктурой и финансовые риски. Архитекторам и инженерам часто приходится работать гибко, искать альтернативу во всем,

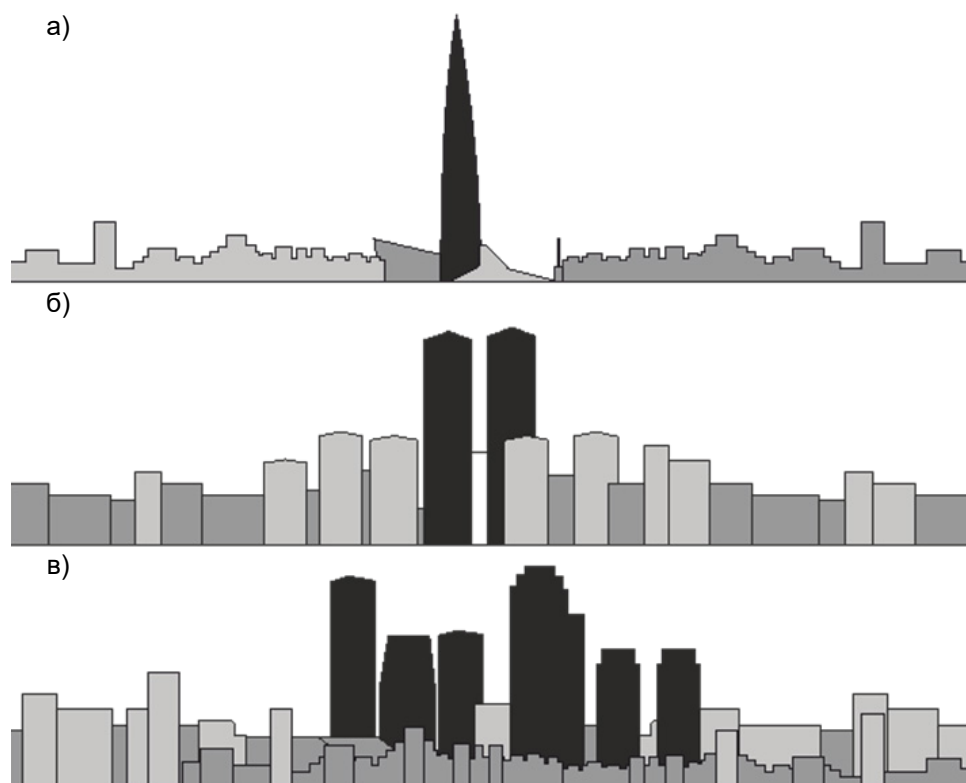


Рис. 4. Развертка небоскребов в контексте города:
а) отдельно стоящие; б) спаренные; в) групповая застройка

потому что конкуренция очень высока в этом направлении. Предполагаем, именно поэтому появляются наиболее интересные решения.

Вписать небоскреб в городской контекст – это ключевой момент. Современные проекты учитывают исторический фон, масштаб и стиль окружающей застройки (рис. 4). Это помогает избежать визуального диссонанса и сделать город более приятным для жителей и гостей.

1. Среди невысоких домов лучше строить одиночные небоскребы. Так он будет хорошо виден и произведет впечатление масштаба и станет настоящей доминантой. К тому же отсутствие рядом других высоток снижает ветровую нагрузку, что делает конструкцию более устойчивой и упрощает инженерные работы, соответственно, снижает стоимость проектирования.

2. В плотной застройке лучше всего объединять небоскребы в пары или выстраивать в линию. Так композиция будет выглядеть более цельной, а пространство – более упорядоченным. Два высоких здания могут подчеркнуть симметрию и ритм застройки. Удобнее обеспечивать транспортную доступность, прокладывая коммуникации и развивать инфраструктуру.

3. В разнородной застройке рекомендуется группировать высотки. Так они мягче вписываются в город, создают многоуровневый визуальный центр, выглядят гармоничнее, чем один гигант на фоне маленьких зданий. Группы небоскребов удобно объединять подземными паркингами, остановками и общественными зонами, они работают как единый ансамбль. Помимо этого, можно грамотно распределить ветровые потоки, чтобы ветер спокойно обтекал группу зданий, а не создавал порывов, которые в начале своего суще-

ствования создавал Флэтайрон-Билдинг. Получается, групповая застройка – это не только красиво, но и функционально, архитектура смотрится цельно, а городская среда становится комфортнее.

Литература

1. Борисов, А.В. Архитектурно-пространственные стратегии формирования высотных комплексов в современных мегаполисах / А.В. Борисов, Д.С. Петров // Градостроительство и архитектура. – 2021. – № 4. – С. 12–21.
2. Иванов, П.М. Аэродинамическое проектирование высотных зданий: влияние формы фасада на устойчивость и ветровые нагрузки / П.М. Иванов // Строительная механика и расчет сооружений. – 2020. – № 5(286). – С. 33–40.
3. Гусева, Л.К. Светопрозрачные фасады в современной высотной архитектуре: баланс между эстетикой и энергоэффективностью / Л.К. Гусева // Архитектура. Строительство. Дизайн. – 2022. – № 2. – С. 55–63.
4. Смирнова, Е.Р. Интеграция «умных» технологий в высотные здания: опыт и перспективы / Е.Р. Смирнова // Вестник МАРХИ. – 2023. – № 1. – С. 78–85.
5. Королева, Т.А. Экологические аспекты проектирования высотных зданий в условиях мегаполиса / Т.А. Королева // Наука и техника в строительстве. – 2022. – № 3. – С. 45–52.

References

1. Borisov, A.V. Arkhitekturno-prostranstvennyye strategii formirovaniya vysotnykh kompleksov v sovremennykh megapolisakh / A.V. Borisov, D.S. Petrov // Gradostroitelstvo i arkhitektura. – 2021. – № 4. – S. 12–21.
2. Ivanov, P.M. Aerodinamicheskoe proektirovanie vysotnykh zdaniy: vliyanie formy fasada na ustojchivost i vetrovye nagruzki / P.M. Ivanov // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. – 2020. – № 5(286). – S. 33–40.
3. Guseva, L.K. Svetoprozrachnyye fasady v sovremennoj vysotnoj arkhitekture: balans mezhdru estetikoj i energoeffektivnostyu / L.K. Guseva // Arkhitektura. Stroitelstvo. Dizajn. – 2022. – № 2. – S. 55–63.
4. Smirnova, E.R. Integratsiya «umnykh» tekhnologij v vysotnye zdaniya: opyt i perspektivy / E.R. Smirnova // Vestnik MARKHI. – 2023. – № 1. – S. 78–85.
5. Koroleva, T.A. Ekologicheskie aspekty proektirovaniya vysotnykh zdaniy v usloviyakh megapolisa / T.A. Koroleva // Nauka i tekhnika v stroitelstve. – 2022. – № 3. – S. 45–52.

Principles of Creating Plastic Expressiveness of the Urban Landscape by High-Rise Architecture

A.S. Shayakhmetov, E.S. Ponomarev

Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan (Russia)

Key words and phrases: high-rise architecture; urban planning; innovation; sustainability; energy efficiency.

Abstract. The presented study, which focuses on analyzing current trends in the development of high-rise architecture, is of great importance in the context of rapid urban growth. The study explores the typology of key elements in urban development that contribute to the creation of expressive urban fabric, taking into account the implementation of innovative engineering solutions for high-rise buildings that enhance their compositional dominance. To understand how high-rise buildings contribute to the expressive appearance of cities, the study analyzes city panoramas and facade layouts, dividing them into plans (front, middle, and back) to identify where high-rise structures serve as visual focal points. The growth of high-rise buildings requires architects to adopt new and modern approaches. To create expressive and profound visual compositions on the streets, it is necessary to carefully consider the layout of such buildings, while also adhering to the principles of sustainable development and ensuring comfortable living conditions for citizens.

The purpose of the work is to study the main trends and patterns of the evolution of modern high-rise architecture as part of the urban environment.

The research objectives are to evaluate the impact of spatial configuration, translucent facades, and advanced engineering solutions on the safety, energy efficiency, and visual appearance of skyscrapers; to analyze the role of high-rise architecture in shaping the urban structure and cultural identity of megacities; to explore the implementation of smart technologies, sustainable practices, and principles for creating a comfortable urban environment in high-rise construction.

The research hypothesis suggests that the evolution of modern high-rise architecture is aimed at harmonizing the functional, environmental, and aesthetic aspects of high-rise construction by integrating technological innovations, environmental sustainability principles, and aesthetic quality requirements of the urban environment in the context of modern challenges of urbanization and technological progress.

The research results can be useful for architects, designers, and specialists in the field of skyscraper construction.

© А.С. Шаяхметов, Е.С. Пономарев, 2026

УДК 004.62

Формирование файла сопоставления параметров для экспорта цифровых информационных моделей

Е.В. Демьянчук, Д.С. Арепьева, А.В. Гагин, С.С. Федоров

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

Ключевые слова и фразы: свойство; структура; уровень; файл сопоставления параметров, *Renga Professional*, *IFC*.

Аннотация. Целью работы является создание файла сопоставления параметров для корректной выгрузки из программного обеспечения *Renga Professional* в открытый формат спецификации *IFC*. Задачи: структурировать и сформировать файл-маппинг; выгрузить модель с пользовательскими данными. Гипотеза исследования: формирование файла сопоставления параметров позволяет сократить трудозатраты на экспорт цифровых информационных моделей. Методы исследования: стандартизация формирования файла сопоставления параметров была получена путем сравнительного анализа; при выгрузке моделей из *Renga Professional* использовался экспериментальный метод. Достигнутые результаты: разработанный файл сопоставления параметров обеспечивает стандартизацию атрибутивного наполнения цифровых информационных моделей при экспорте из *Renga Professional* в формат *IFC*, что подтверждено корректной передачей пользовательских свойств в итоговой модели.

Файл сопоставления параметров (**ФСП**), или файл-маппинг – это файл, сопоставляющий свойства объектов и их атрибуты. Файлы сопоставления выполняют роль инструкций интерпретации нативных объектов *Renga* для экспорта в открытый формат спецификации *IFC*. Использование ФСП позволяет стандартизировать атрибутивное наполнение цифровой информационной модели и сократить трудозатраты на экспорт в форматы открытой спецификации.

Правильно составленный файл-маппинг обеспечивает корректный экспорт цифровой информационной модели в части ее атрибутивного наполнения. Так как атрибуты являются неотъемлемой частью полноценной цифровой информационной модели (**ЦИМ**), проблема корректного экспорта является актуальной [1].

Таблица 1. Типы данных

Тип данных	Что содержит	Назначение в IFC
<i>attributes</i>	Базовые атрибуты объекта IFC	Основные идентификационные и описательные параметры
<i>psets (Property Sets)</i>	Наборы дополнительных свойств	Группировка свойств по тематике (общие, пожарные, тепловые и т.д.)
<i>qsets (Quantity Sets)</i>	Наборы количественных характеристик	Группировка измеримых величин (площади, объемы, длины)



Рис. 1. Структура файла JSON

Renga Professional использует открытый формат конфигурации JSON для формирования ФСП. Данные в файлах представлены в виде набора пар «ключ-значение». Оформляется так:

«ключ»: «значение»,

На рис. 1 изображена общая структура файла.

Корневой уровень содержит обязательные мета-ключи: “*name*”, “*type*” и “*version*”. Ключ “*Name*” содержит название шаблона и может принимать следующие значения: «*Renga View*», «ФСП для архитекторов». По данному параметру можно определить ФСП, использованный при экспорте проекта.

Ключ “*type*” содержит описание типа операции, его значение при экспорте из *Renga* всегда будет «*export*». Следующий ключ “*version*” содержит информацию о версии IFC.

```

{
  "name": "Минимальный экспорт",
  "type": "export",
  "version": "4",

  "IfcWall": {
    "attributes": {
      "Name": "Наименование"
    }
  }
}

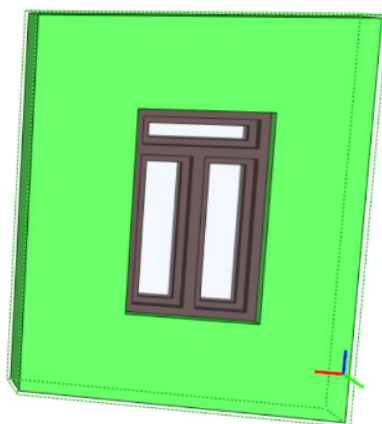
```

Рис. 2. Минимальный состав ФСП

```

"IfcWall": {
  "attributes": {
    "Name": "{a4bc7f50-463e-48f6-b829-795d4e0a1160}",
    "Tag": "{99ffedaa-c1bb-4a48-b9c2-4ecc23866830}"
  },
  "psets": {
    "Pset_WallCommon": {
      "Reference": "{ff2e904e-04e4-4f6e-b5d4-a6fa7a7d2cda}",
      "FireRating": "{5c0ffffed-5c9b-4540-bd80-6227cf87d635}",
      "ThermalTransmittance": "{eb3cbb1b-18ef-4299-aace-32bc2109e325}"
    },
    "Pset_ReinforcementBarPitchOfWall": {
      "BarAllocationType": "{8f747ef8-457b-43e7-bc03-afbddcb5a40f}"
    }
  },
  "qsets": {
    "Qto_WallBaseQuantities": {
      "Length": "{452f15e3-50e0-4da6-9155-567a00d2d5b7}",
      "Width": "{d74737a8-dfce-4966-b044-2c20ae9f52fb}",
      "Height": "{e8f1a615-3b0c-401c-ad1f-7526f2f073e2}",
      "NetFootprintArea": "{65bf3096-b610-4fb0-b603-9e1fd5c21095}",
      "NetSideArea": "{6d692b46-fc72-4696-a55e-1d3469aa9d8e}",
      "NetVolume": "{043401f3-0b2f-402a-aca0-826436822405}",
      "NetWeight": "{f9230d52-3d8d-42f0-b498-5f8037610c01}"
    }
  }
},

```



Properties	Location	Classification	Relations
Name	Value	Unit	
Element Specific			
Guid	1rZhKXAn25fqwDx\$ioqm		
IfcEntity	IfcWall		
Name	Стена: 200,00 мм		
PredefinedType	STANDARD		
Pset_ReinforcementBarPitchOfWall			
BarAllocationType			
Pset_WallCommon			
FireRating			
Reference			
ThermalTransmittance			
Qto_WallBaseQuantities			
Height	3 000	mm	
Length	2 217,239292	mm	
NetFootprintArea	0,443448	m2	
NetSideArea	5,211718	m2	
NetVolume	1,042344	m3	
NetWeight	0	kg	
Width	200	mm	

Рис. 3. Пример кода ФСП и итогового IFC файла с атрибутами

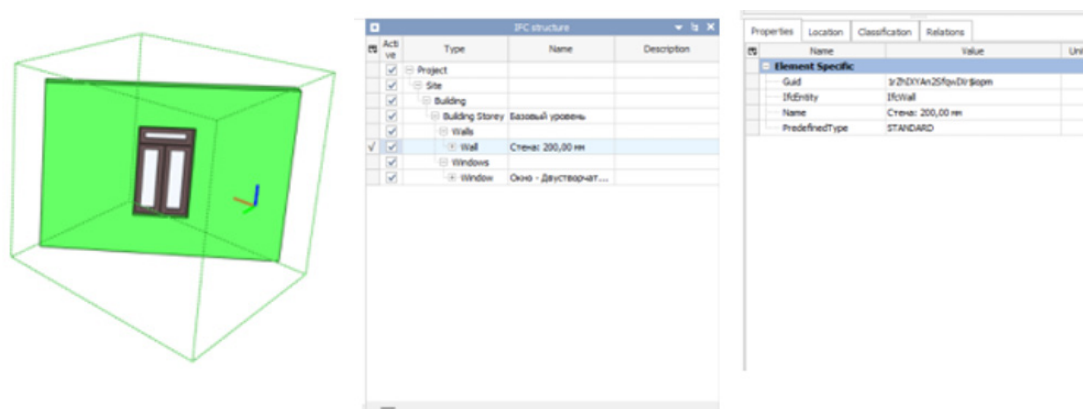


Рис. 4. Экспорт модели по файлу сопоставлению типов

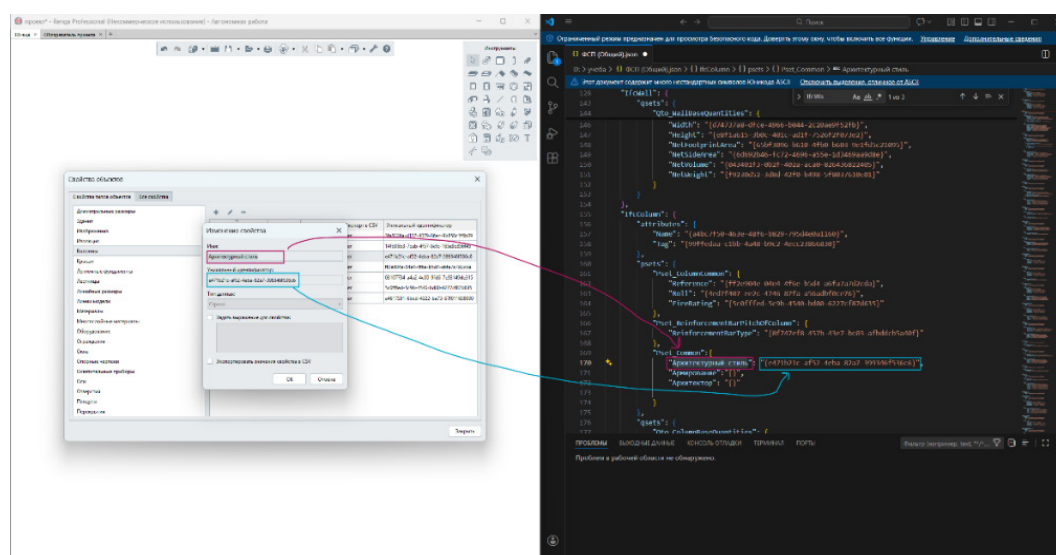


Рис. 5. Формирование файла сопоставления параметров

Мета ключи являются обязательными для всех типов ФСП, независимо от их объема и наполнения. На рис. 2 представлен пример минимального файла сопоставления.

На первом уровне структуры ФСП определены правила экспорта для классов *IFC*. Каждому из классов заданы секции данных (*attributes*, *psets*, *qsets*), которые открывают второй уровень. В табл. 1 представлено описание типов данных в ФСП.

Непрописанный класс *IFC* в ФСП будет выгружен по файлу сопоставления типов из базовых настроек *Renga* [2]. Пример данного экспорта представлен на рис. 4.

Рассмотрим методологию создания пользовательских свойств для целей экспорта. В Ренге пользовательские свойства создают в окне «Управление стилями» и присваивают необходимым объектам через вкладку «Свойства объектов». Для корректной настройки экспорта рекомендуется загрузить актуальную версию файла сопоставления параметров с официального сайта и изменить его в любом текстовом редакторе. В структуре файла необходимо найти необходимый *IFC* класс и инициировать пользовательский набор параметров, соответствующий логике и синтаксису *JSON* формата.

На рис. 5 и 6 продемонстрирована инициализация свойств из модели *Renga* в файл-

```

155 "IfcColumn": {
156   "attributes": {
157     "Name": "{a4bc7f50-463e-48f6-b829-795d4e0a1160}",
158     "Tag": "{99ffedaa-c1bb-4a48-b9c2-4ecc23866830}"
159   },
160   "psets": {
161     "Pset_ColumnCommon": {
162       "Reference": "{ff2e904e-04e4-4f6e-b5d4-a6fa7a7d2cda}",
163       "Roll": "{4ed7f407-ee2c-4746-87fa-a56adbf0ce76}",
164       "FireRating": "{5c0fffd-5c9b-4540-bd80-6227cf87d635}"
165     },
166     "Pset_ReinforcementBarPitchOfColumn": {
167       "ReinforcementBarType": "{8f747ef8-457b-43e7-bc03-afbddcb5a40f}"
168     },
169     "Pset_Common": {
170       "Архитектурный стиль": "{e471b21c-af52-4eba-82a7-399346f536c6}",
171       "Армирование": "{3fa5126a-d137-4079-86ec-9b850c1f6b09}",
172       "Архитектор": "{14fb95b3-7cab-4f57-8cfc-165e9c856f45}"
173     }
174   }
175 },
176 "qsets": {
177   "Qto_ColumnBaseQuantities": {
178     "Length": "{452f15e3-50e0-4da6-9155-567a00d2d5b7}",
179     "CrossSectionArea": "{5f1efe77-5e2e-450a-a426-efef5b346ecc}",
180     "OuterSurfaceArea": "{de1b2227-310d-4652-a793-c799c5be7036}",
181     "NetVolume": "{043401f3-0b2f-402a-aca0-826436822405}",
182     "NetWeight": "{f9230d52-3d8d-42f0-b498-5f8037610c01}"
183   }
184 }
185 },

```

Рис. 6. Итоговый ФСП

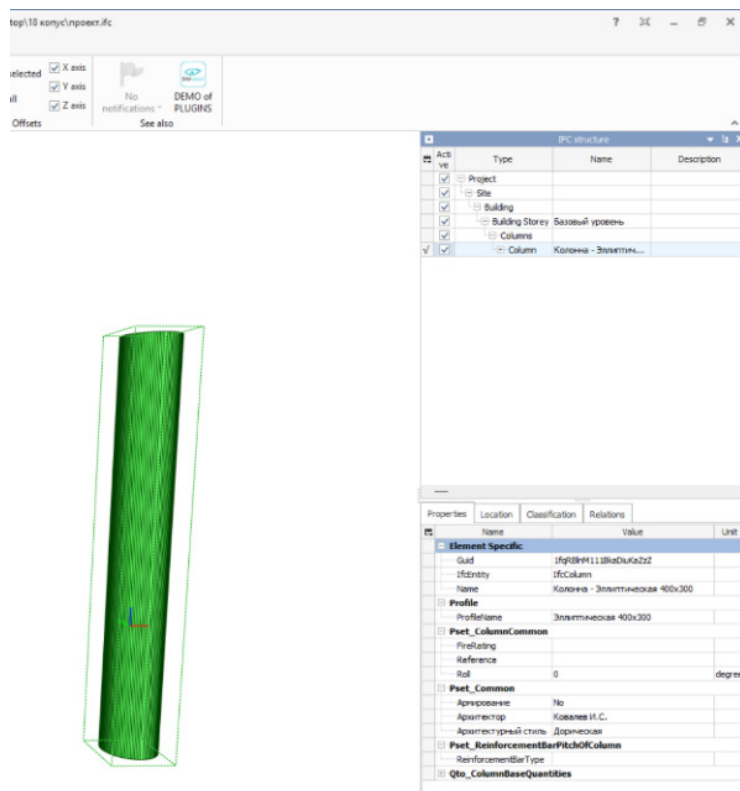


Рис. 7. IFC модель с необходимыми атрибутами

маппинг и итоговый код.

После экспорта из *Renga* с использованием созданного ФСП необходимо открыть файл *IFC*. Далее верифицировать наличие атрибутивного набора свойств через любое ПО для просмотра файла. На рис. 7 продемонстрирована корректная *IFC* модель с пользовательскими параметрами.

Файл сопоставления параметров – это основной инструмент для создания качественных и стандартизированных ТИМ-моделей.

Использование настроенного ФСП позволяет создавать стандартизированные *IFC*-модели, готовые к эффективному обмену данными и совместной работе в единой цифровой среде.

Литература

1. Евтушенко, С.И. Выгрузка дисциплинарных цифровых информационных моделей из Renga / С.И. Евтушенко, Р.В. Осташев, К.А. Осташева // Материалы XXI Международной научно-технической конференции, Новочеркасск, 27 октября 2022 года. – Новочеркасск, 2022. – С. 8–12. – EDN WXUPCC.
2. Казаков, С.Д. Алгоритм подбора сроков завершения процесса проверки цифровых информационных моделей объектов капитального строительства / С.Д. Казаков, М.М. Железнов, Р.В. Осташев, М.Г. Феттер // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 4(187). – С. 97–101.
3. Осташев, Р.В. Разработка IFC маппинга для выгрузки информационных моделей архитектурных решений / Р.В. Осташев, С.И. Евтушенко // Строительство и архитектура. – 2022. – Т. 10. – № 2. – С. 91–110. – EDN YADGFT.
4. Сарварова, И.И. Перспективы применения технологий информационного моделирования при строительстве объектов / И.И. Сарварова, З.Р. Мухаметзянов, Р.И. Зайнетдинов // Components of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 3(93). – С. 44–49.
5. Казаков, С.Д. Частотный анализ проектной цифровой информационной модели учебного корпуса / С.Д. Казаков, С.С. Федоров, Д.А. Корнев, Р.А. Гатиатуллина // Components of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 4(94). – С. 62–67.

References

1. Evtushenko, S.I. Vygruzka distsiplinarnykh tsifrovyykh informatsionnykh modelej iz Renga / S.I. Evtushenko, R.V. Ostashev, K.A. Ostasheva // Materialy KHKHI Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferentsii, Novocherkassk, 27 oktyabrya 2022 goda. – Novocherkassk, 2022. – S. 8–12. – EDN WXUPCC.
2. Kazakov, S.D. Algoritm podbora srokov zaversheniya protsessa proverki tsifrovyykh informatsionnykh modelej obektov kapitalnogo stroitelstva / S.D. Kazakov, M.M. ZHeleznov, R.V. Ostashev, M.G. Fetter // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 4(187). – S. 97–101.
3. Ostashev, R.V. Razrabotka IFC mappinga dlya vygruzki informatsionnykh modelej arkhitekturnykh reshenij / R.V. Ostashev, S.I. Evtushenko // Stroitelstvo i arkhitektura. – 2022. – T. 10. – № 2. – S. 91–110. – EDN YADGFT.
4. Sarvarova, I.I. Perspektivy primeneiya tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya pri stroitelstve obektov / I.I. Sarvarova, Z.R. Mukhametzyanov, R.I. Zajnetdinov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 3(93). – S. 44–49.

5. Kazakov, S.D. CHastotnyj analiz proektnoj tsifrovoj informatsionnoj modeli uchebnogo korpusa / S.D. Kazakov, S.S. Fedorov, D.A. Kornev, R.A. Gatiatullina // Components of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 4(94). – S. 62–67.

Creating a Mapping-File for Exporting Digital Information Models

E.V. Demyanchuk, D.S. Arepeva, A.V. Gagin, S.S. Fedorov

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia)

Key words and phrases: mapping file; Renga Professional; IFC; property; level; structure.

Abstract. The paper aims to create a mapping file for correct unloading from the Renga Professional software to the IFC format. The tasks are to structure and form a file-mapping; to unload a model with user data. The research hypothesis suggests that the formation of a parameter mapping file allows to reduce the labor costs for the export of digital information models. Research methods include the standardization of mapping file formation was obtained through comparative analysis; an experimental method was used when unloading models from Renga Professional. The findings show that the developed mapping file ensures the standardization of the attribute content of digital information models when exporting from Renga Professional to the IFC format, which is confirmed by the correct transfer of user properties in the final model.

© Е.В. Демьянчук, Д.С. Арепьева, А.В. Гагин, С.С. Федоров, 2026

УДК 004.9

An Adaptive Methodological Approach to the Development and Maintenance of an Information Model of Capital Construction Objects at Lifecycle Stages

V.V. Martynenko¹, E.M. Shcherban²¹ *Omskgiprotruboprovod, JSC – Branch of Giprotuboprovod, Omsk (Russia);*² *Don State Technical University, Rostov-on-Don (Russia)*

Key words and phrases: Adaptive Methodological Approach; Life Cycle; Information Model; Common Data Environment (CDE); Information Modeling Technologies (TIM).

Abstract: In the context of an imperfect regulatory framework and technological heterogeneity, the development of an adaptive methodological approach to the creation and implementation of an Information Model (IM) for capital construction objects becomes particularly relevant.

The research objective is to overcome the limitations of traditional approaches through the iterative evolution of the IM: from static geometric models to dynamic digital systems, ensuring zero data loss at all stages of the lifecycle (Design – Operation).

The proposed methodology is based on six interconnected principles: goal orientation, modularity, parameterization, iterativity, data orientation, and interoperability. It is implemented within a cyclical process that includes the formation of modular IMs, their federation, validation, updating, and recording in the technical document management system. Key elements of adaptation to Russian realities include: import substitution of software, dynamic LOD hierarchy (LOD 100–500), automatic data exchange via IFC and OPC UA, as well as the integration of calculation complexes for data self-updating.

Information objects and systems have become an integral part of many spheres of life: they automate production, optimise resource management, support strategic decisions, and enable the creation of digital models of complex structures.

In the context of constant changes, such systems must adapt quickly to new challenges. Their development and maintenance is a multi-stage process: from requirements specification and design to implementation, modernisation, and decommissioning. Each stage requires different levels of model granularity, which necessitates flexible methods for model creation and



Fig. 1. Principles of the adaptive approach

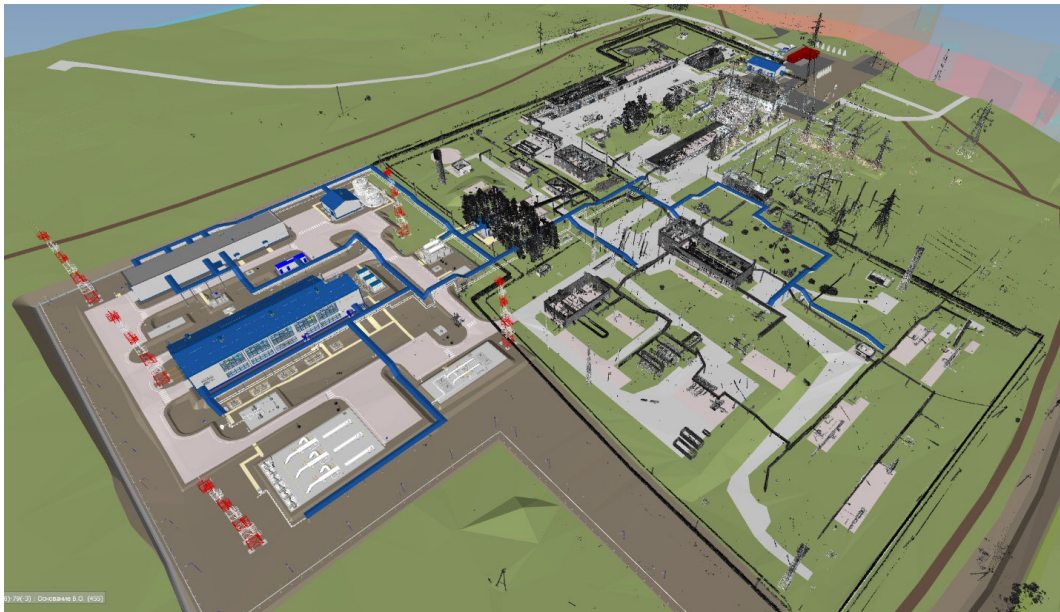


Fig. 2. Digital information model

updating [1; 3].

Traditional waterfall methods often fail to meet the need for rapid response to changes. Therefore, adaptive modelling is gaining popularity – an approach that allows models to evolve in accordance with changing circumstances. An information model is not just a set of data, but a complex structure reflecting an object and the processes associated with it. Throughout the lifecycle of an object, numerous models are created for various purposes, which makes a unified

Table. 1. Interaction of Principles in the Adaptive Approach

Principle	Input	Process	Output
Goal Orientation	Customer's Terms of Reference (ToR)	LOD Definition	Model Requirements
Modularity	Discipline-Specific Data	Module Federation	Federated IM (Information Model)
Parametrization	Initial Parameters	Auto-Generation	Up-to-Date Model
Iterativity	Results of Iteration n	Validation + Adjustment	Model n+1
Data Orientation	Multi-Level Sources	Integration + Analysis	Single Source of Truth
Interoperability	IFC/OPC Standards	Seamless Exchange	System Compatibility

Table. 2. General verification indicators

Indicator	Value	Share of Total (%)
Total number of inspections conducted	148	100
Manually	96	64,9
In automated mode	52	35,1

Table. 3. Identified discrepancies and time expenditures

Indicator	Value
Total number of deficiencies	237
Average number of discrepancies per check	1,6
Average duration of manual check	4.,2 hours
Average duration of automated check	1,1 hours

Table. 4. Model quality control results

Indicator	Value
Share of models that passed inspection on first submission (without comments)	64 %
Number of models re-checked after comments were addressed	36
Of these, accepted without further amendments	34 (94 %)
Overall compliance rate across all reviewed models	92,7 %

methodology for their coordination essential.

Coming to the forefront are:

Technology of Information Modelling (**TIM**) [4; 6] – an industrial standard in construction that enables the creation of digital replicas of objects, supports them at all lifecycle stages, and

Table. 5. Functional requirements for the proposed approach

Function	Description	Input Data	Output Data
Passporting	Generation of a digital equipment passport	IM CCF LOD500, as-built documentation	Unified digital passport
Monitoring	Real-time data collection	IoT sensors, SCADA systems	Status parameters
Deviation analysis	Comparison of actual data against reference (passport) data	Passport data + telemetry	Diagnostic reports
Predictive analytics	Failure prediction	Historical data + AI algorithms	Remaining useful life, TBR (Time-Based Replacement / Targeted Breakdown Risk)
Lifecycle management	Maintenance/modernisation recommendations	Forecast data + business logic	Maintenance plan

unites specialists in a shared digital environment.

Digital Twins (**DT**) [2; 5] – tools for monitoring the state of an object, analysing processes, and predicting the development of situations.

Artificial Intelligence (**AI**) [8] plays a key role. It processes large volumes of data, automates model updates, and improves decision accuracy. The integration of functional modelling with the object-oriented and interactive approach of TIM and DT [7] creates flexible adaptive models capable of responding rapidly to changes.

The proposed methodological approach is oriented towards flexible configuration according to project scale (from individual buildings to infrastructure facilities), taking into account technological risks and integrating with design, construction, commissioning, and monitoring processes. Its advantages include scalability for organisations of any size in the Russian Federation, harmonisation of regulatory and technical documentation with international practices, ensuring import substitution, and establishing a foundation for predictive management of critical infrastructure.

The author of the article proposes an adaptive methodological approach, which constitutes a comprehensive methodology for the phased creation, development, and implementation of information models of capital construction facilities (**IM CCF**). This methodology is specifically designed to overcome the limitations of traditional approaches under conditions of imperfect regulatory frameworks, technological heterogeneity, and the high complexity of infrastructure project lifecycles [8].

The hypothesis underlying this approach lies in the transition from static 2D projects to dynamic digital systems, where the IM evolves iteratively – from basic geometric models to full fledged digital twins incorporating AI based analytics elements [9].

In contrast to rigid standardised methodologies under ISO 19650 [8] – which are oriented towards international processes with a high level of digital maturity – the adaptive approach takes into account the Russian realities of the construction industry. These include:

- the lack of full updating of standards for project documentation systems;
- the dominance of imported software (**SW**), such as AutoCAD, Bentley, and AVEVA;
- stringent import substitution requirements (e.g., nanoCAD, Renga, ModelStudio CS);
- the specific characteristics of large governmental and corporate clients [10].

The methodology allows for flexible configuration according to project scale – ranging from individual buildings to complex infrastructure facilities – while accounting for technological risks and integrating with existing processes of design, construction, commissioning, and condition monitoring.

The adaptive approach is built on cyclicity: at each stage of the lifecycle (from concept to operation), the model is enriched with data and validated. Pilot implementations refine the methodology, ensuring zero data loss, a 30–50 % reduction in errors [11], and the transformation of the IM into a decision support system.

The adaptive approach relies on six interconnected principles that ensure its resilience under conditions of regulatory uncertainty and technological changes (Fig. 1).

The goal orientation principle ensures an optimal balance between “information value and labour input” and focuses on the key aspects of the project. Modularity enables flexible configuration tailored to the specifics of the facility and reduces cascade errors. Parameterisation reduces manual labour by 70–80 % through standardised object families and accelerates response to changes in technical specifications (**TS**). Iterativity allows for timely error detection, quality control at all stages, and methodology adaptation based on pilot implementation results. Data orientation guarantees data completeness (> 95 %), attribute inheritance, and traceability of changes throughout the entire lifecycle. Interoperability ensures vendor independence, supports hybrid software, and guarantees long term viability of the digital asset.

In Table 1, the modelling principles are decomposed into three components (input data, transformation process, output result), which clearly demonstrates their contribution to the formation and functionality of the information model (**IM**).

The interrelation of principles forms a self organising system where a change in one parameter automatically triggers adaptation of the remaining components, ensuring the methodology’s resilience to external disturbances (regulatory changes, software shifts, **TS** transformations).

The methodology was validated through a pilot project – an oil pumping station (**OPS**) – selected as the research object due to its complexity as an industrial complex. The OPS includes technological pipelines, pumping units, power supply systems, instrumentation and control systems (**I&C**), building structures, as well as lightning protection and grounding systems.

The project leveraged domestic solutions: Model Studio CS Construction Solutions, CADLib Model and Archive, Model Studio CS Lightning Protection, GeoniCS, Model Studio CS Pipelines, and Credo. This suite enabled the creation of local digital information models (**DIMs**), federation, clash detection, and export to .ifc format for the technical document management system, thereby confirming the approach’s applicability under import substitution conditions. A common data environment (**CDE**) was also implemented as a unified information space that consolidates data from all stakeholders: the client, designers, and contractors.

The implementation of the approach followed six sequential stages.

At the preparatory stage, the client’s technical specifications were analysed (including performance, operating modes, and regulatory constraints), IM requirements for the OPS were defined, a dynamic level of development (**LOD**) hierarchy (LOD 100–500) for station components was established, domestic software was selected, and an interaction protocol between disciplinary teams was developed.

The stage of modular IM formation involved collecting initial equipment parameters (pump specifications, pipeline diameters, redundancy requirements), developing parametric templates, and creating disciplinary modules. Checkpoints included template validation against the **TS** and verification of primary modules.

During the module federation stage, disciplinary components were integrated into a unified model. This involved verifying data compatibility, resolving clashes, ensuring attribute continuity (Pset, as built), and configuring links between elements from different disciplines (Fig. 2).

The validation and iterative adjustment stage involved automatic model verification against standards, regulations, and technical specifications (including clash analysis), expert assessment by the client and subject matter specialists, elimination of errors, inconsistencies, and data duplications, as well as solution adjustments with re modelling. Statistical data from the verification results are presented in Tables 2–4.

During the data update and integration stage, the information model (**IM**) was synchronised with calculation suites (hydraulic and structural analyses), IoT sensor data was incorporated, and integration with corporate asset management systems (PLM, ERP, CMMS) was performed – with model updates based on new data. The implementation relied on the following standards and protocols: OPC UA (for communication with process control systems), IFC (for BIM data), and API integrations with ERP systems.

The final fixation stage included formalisation of modelling and validation results, generation of design and working documentation in accordance with Russian standards, transfer of data to the corporate document management system, and archiving of model versions with change history. For this purpose, automated documentation templates from Model Studio CS and CADLib Archive were used.

Within the adaptive methodological approach, transformation of the design IM (LOD 300–350) into an as-built model (LOD 400) is provided for at the construction and installation stage. The goal is to create a single digital source of information about capital construction facilities (**CCF**) with data continuity for all subsequent lifecycle stages.

The process includes phased model updates with actual data: geodetic control of as-built parameters, integration of work completion reports, as-built drawings, and materials science protocols. The as-built IM records the actual state of the facility and serves as a legally binding basis for handover to operation and further evolution into a digital twin.

Based on the LOD 400 IM, a hypothesis for creating a digital twin (LOD 500) has been formulated through integration with real-time data streams and neural network algorithms. This will enable a shift from reactive maintenance to a condition-based strategy, reducing operational costs by 25–35 % through optimisation of maintenance schedules and minimisation of planned repairs. The functional decomposition of the approach is presented in Table 5.

The system of six principles formulated by the author establishes a theoretical and methodological foundation for the adaptive approach to information modelling. It enables the transition from fragmented solutions to dynamic digital assets that evolve alongside the capital construction facility throughout its entire lifecycle.

The key essence of the adaptive approach to developing an information model (IM) lies in its flexibility and scalability through the integration of heterogeneous software into a unified working environment. Here, adaptability means not merely the ability to make changes to the model at different project stages, but the systemic capacity of the entire technological chain to adjust to the specific tasks of an organisation – regardless of its scale and industry sector.

A critical success factor was the use of domestic software. It complies with Russian regulatory requirements, ensures seamless integration of disciplinary modules (construction solutions, pipelines, lightning protection, etc.), supports a unified database of equipment and materials according to GOST/OST standards, and enables automated generation of design documentation in Russian formatting standards.

The practical significance of the approach lies in the fact that any organisation implementing

the proposed software or its equivalents can build a customised IM development process tailored to its resources and objectives. This also enables phased expansion of system functionality, addition of new modules and data sources, and maintenance of model relevance through automated synchronisation between programs. Standardised interfaces and workflows minimise staff retraining costs and process adjustments, while the solution can be scaled – from a single project to a corporate standard – without loss of manageability or data quality.

Thus, the adaptive approach forms a robust foundation for digital transformation of an organisation. It does not bind the organisation to rigid templates but creates a flexible environment where the IM evolves in sync with business processes, regulator requirements, and technological capabilities. This makes the approach a universal tool for organisations of any size and profile in managing project and operational information across all lifecycle stages of facilities.

References

1. Бухтояров, В.В. Применение прогнозирующих алгоритмов машинного обучения к процессам нефтепереработки в рамках интеллектуальной автоматизации / В.В. Бухтояров, И.С. Некрасов, В.С. Тынченко, К.А. Башмур, Р.Б. Сергиенко // Научные труды НИПИ НЕФТЕГАЗ ГНКАР. – 2022. – № S11. – С. 12–20.
2. Гаскарова, Г.Ф. Проблемы оценки профессиональных рисков / Г.Ф. Гаскарова, Г.М. Шарафутдинова // Актуальные проблемы науки и техники – 2017 : материалы X международной научно-практической конференции молодых ученых : в 2 т. – Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2017. – Т. 2. – С. 133–135.
3. Еремин, Н.А. Цифровой двойник в нефтегазовом производстве / Н.А. Еремин, А.Н. Еремин // Нефть. Газ. Новации – 2018. – № 12. – С. 14–17.
4. Коленчуков, О.А. Классификация технического состояния насосного агрегата с использованием интеллектуальной идентификации неисправностей / О.А. Коленчуков, В.В. Бухтояров, Н.А. Шепета, К.А. Башмур, Р.Б. Сергиенко // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2024. – № 1. – С. 36–47.
5. Павлова, Ю.А. Анализ риска и методические аспекты оценки ущерба при авариях на предприятиях нефтеперерабатывающего комплекса / Ю.А. Павлова, В.С. Проскура, А.В. Федосов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – № 2(108). – С. 138–146.
7. Angius, A. Impact of condition based maintenance policies on the service level of multi-stage manufacturing systems / A. Angius, M. Colledani, A. Yemane // Control Engineering Practice. – 2018. – Vol. 76. – No. 1. – P. 65–78.
8. Bensaad, D. A New Leaky Piston Identification Method in an Axial Piston Pump Based on the Extended Kalman Filter / D. Bensaad, A. Soualhi, F. Guillet // Measurement. – 2019. – Vol. 148. – P. 106921.
9. Chen, Z. Equipment failure analysis for oil and gas industry with an ensemble predictive model / Z. Chen, O.O. Selere, N.L.C. Seng // Proceedings of the 9th International Conference on Computational Science and Technology : Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2023. – Vol. 983. – P. 569–581.
10. Ji, X. DSMT-based three-layer method using multi-classifier to detect faults in hydraulic systems / X. Ji, Y. Ren, H. Tang, J. Xiang // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2021. – Vol. 153. – P. 107513.

References

1. Bukhtoyarov, V.V. Primenenie prognoziryuyushchikh algoritmov mashinnogo obucheniya k protsessam neftepererabotki v ramkakh intellektualnoj avtomatizatsii / V.V. Bukhtoyarov, I.S. Nekrasov, V.S. Tynchenko, K.A. Bashmur, R.B. Sergienko // Nauchnye trudy NIPi NEFTEGAZ GNKAR. – 2022. – № S11. – S. 12–20.
2. Gaskarova, G.F. Problemy otsenki professionalnykh riskov / G.F. Gaskarova, G.M. SHarafutdinova // aktualnye problemy nauki i tekhniki – 2017 : materialy X mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh : v 2 t. – Ufa : Ufimskij gosudarstvennyj neftyanoy tekhnicheskij universitet, 2017. – T. 2. – S. 133–135.
3. Eremin, N.A. TSifrovoy dvojniki v neftegazovom proizvodstve / N.A. Eremin, A.N. Eremin // Neft. Gaz. Novatsii – 2018. – № 12. – S. 14–17.
4. Kolenchukov, O.A. Klassifikatsiya tekhnicheskogo sostoyaniya nasosnogo agregata s ispolzovaniem intellektualnoj identifikatsii neispravnostej / O.A. Kolenchukov, V.V. Bukhtoyarov, N.A. SHepeta, K.A. Bashmur, R.B. Sergienko // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. – 2024. – № 1. – S. 36–47.
5. Pavlova, YU.A. Analiz riska i metodicheskie aspekty otsenki ushcherba pri avariyaх na predpriyatiyaх neftepererabatyvayushchego kompleksa / YU.A. Pavlova, V.S. Proskura, A.V. Fedosov // Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov. – 2017. – № 2(108). – S. 138–146.

**Адаптивный методологический подход к разработке и сопровождению
информационной модели объектов капитального строительства
на этапах жизненного цикла**

В.В. Мартыненко¹, Е.М. Щербань²

¹ «Омскгипротрубопровод» – филиал АО «Гипротрубопровод»,
г. Омск (Россия);

² ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
г. Ростов-на-Дону (Россия)

Ключевые слова и фразы: адаптивный методологический подход; жизненный цикл; информационная модель; среда общих данных; технологии информационного моделирования.

Аннотация. В условиях несовершенства нормативной базы и технологической разнородности особую актуальность приобретает разработка адаптивного методологического подхода к созданию и внедрению информационной модели (**ИМ**) объектов капитального строительства.

Цель исследования – преодолеть ограничения традиционных подходов за счет итеративной эволюции ИМ: от статичных геометрических моделей к динамическим цифровым системам, гарантирующим нулевые потери данных на всех этапах жизненного цикла («ПИР» – «Эксплуатация»).

Предложенная методология опирается на шесть взаимосвязанных принципов: ориентацию на цели, модульность, параметризацию, итеративность, ориентацию на данные и интероперабельность. Она реализуется в рамках циклического процесса, включающего

формирование модульных ИМ, их федерацию, валидацию, актуализацию и фиксацию в системе технического документооборота. Ключевыми элементами адаптации к российским реалиям стали импортозамещение программного обеспечения, динамическая *LOD*-иерархия (*LOD* 100-500), автоматический обмен данными через *IFC* и *OPC UA*, а также интеграция расчетных комплексов для самоактуализации данных.

© V.V. Martynenko, E.M. Shcherban, 2026

УДК 629.7.052; 004.89

Аппаратно-алгоритмическое проектирование системы автономной навигации БПЛА в условиях отсутствия спутниковой навигации

Д.Ф. Исаков¹, Р.Н. Поляков²

¹ НОЧУ ВО «Московский финансово-промышленный университет «Синергия»,
г. Москва (Россия);

² ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева»,
г. Орел (Россия)

Ключевые слова и фразы: автономная навигация; беспилотные летательные аппараты; компьютерное зрение; локализация роботов; машинное обучение; предиктивное управление; *SLAM*.

Аннотация. В работе рассматриваются современные подходы к построению систем автономной навигации беспилотных летательных аппаратов при мониторинге линий электропередачи в условиях отсутствия или нестабильности спутниковой навигации. Проведен анализ алгоритмов компьютерного зрения, визуальной локализации и предиктивного управления, применяемых в задачах автономного позиционирования. Особое внимание уделено интеграции алгоритмов в рамках единого вычислительного контура и их взаимному влиянию на вычислительную нагрузку бортовой системы. На основе анализа экспериментальных и литературных данных показано, что суммарная нагрузка формируется как совокупность блоков восприятия, локализации и управления, что приводит к конкуренции за ресурсы аппаратуры.

Введение

Развитие беспилотных летательных аппаратов в задачах мониторинга линий электропередачи сопровождается переходом от вспомогательных инструментов наблюдения к полноценным автономным системам принятия решений. В условиях протяженной и территориально распределенной энергетической инфраструктуры традиционные методы диагностики, основанные на визуальном осмотре и использовании пилотируемой авиации, демонстрируют ограниченную эффективность, связанную с высокой стоимостью, рисками и зависимостью от человеческого фактора [1; 2]. В ответ на эти ограничения активно формируются подходы, основанные на применении компьютерного зрения и методов машин-

ного обучения, позволяющих автоматизировать анализ визуальных данных, получаемых с борта БПЛА.

Однако переход к автономности выявляет более глубокую проблему, связанную с навигацией в условиях отсутствия или нестабильности спутникового сигнала. Высоковольтные линии электропередачи создают электромагнитные помехи, а также формируют сложную геометрию среды, в которой традиционные *GNSS*-решения теряют точность или становятся недоступными [3]. Это приводит к необходимости разработки альтернативных методов локализации и управления, способных функционировать в условиях *GNSS-denied* среды. Наиболее перспективным направлением в данном контексте является интеграция визуальных методов навигации, алгоритмов одновременной локализации и построения карты, а также предиктивных методов управления, объединенных в единую вычислительную систему.

В рамках данной работы предлагается рассматривать систему автономной навигации БПЛА как гетерогенный вычислительный контур с ограниченными ресурсами, в котором суммарная вычислительная нагрузка определяется аддитивной моделью взаимодействия алгоритмов восприятия, локализации и управления. В отличие от существующих подходов, акцент делается не на оптимизации отдельных алгоритмов, а на анализе их совместной работы и конкуренции за вычислительные ресурсы бортовой платформы.

Архитектура интеграции алгоритмов восприятия, локализации и управления

В современных системах автономной навигации базовую роль играют алгоритмы компьютерного зрения, обеспечивающие извлечение сведений об окружающей среде из визуального потока данных. Именно на этом уровне формируется первичное описание наблюдаемой сцены, включая выделение таких элементов инфраструктуры, как опоры, провода и изоляторы. Современные нейросетевые методы, в том числе детекторы объектов и алгоритмы трекинга, показывают высокую точность и устойчивость к изменению условий наблюдения, что подтверждается их применением в задачах локализации БПЛА по визуальным ориентирам [4]. Использование подобных решений позволяет обновлять координаты аппарата с частотой в несколько герц при сохранении приемлемой точности позиционирования, благодаря чему они рассматриваются как один из базовых компонентов автономных навигационных систем. В то же время одних только алгоритмов компьютерного зрения недостаточно для полноценного решения навигационной задачи. Несмотря на высокую информативность визуальных данных, такие методы не всегда способны обеспечивать устойчивую оценку положения аппарата на протяжении времени. Для компенсации этого ограничения применяются методы визуальной одометрии и технологии одновременной локализации и построения карты. Их назначение состоит в восстановлении траектории движения беспилотного летательного аппарата по последовательности изображений. По существу, данные подходы обеспечивают связь между восприятием сцены и управлением, поддерживая непрерывную оценку положения аппарата в пространстве даже при отсутствии внешних навигационных сигналов. Однако для таких алгоритмов характерно накопление ошибки, связанное с дрейфом оценок.

Дальнейшее развитие указанных решений показывает, что эффективная автономная навигация в условиях *GNSS-denied* среды достигается не изолированным применением отдельных алгоритмов, а их объединением в единую структуру в рамках общей вычислительной архитектуры. Существенную роль в этой архитектуре играет связка восприятия и управления, реализуемая через перцептивно-ориентированные методы предиктивного

Таблица 1. Вычислительные характеристики алгоритмов на энергоэффективных платформах разработки

Алгоритм	GFLOPS	FPS/Hz	Задержка	Тип вычислений	Платформа
YOLOv5n	~ 4–7 GFLOPS	30–140 FPS	5–30 ms	GPU/TPU/VPU	Jetson/Corall Hailo
YOLO + DeepSORT	~ 10–30 GFLOPS	~ 5 Hz	100–200 ms	GPU + CPU	Jetson Xavier NX
ORB-SLAM2	~ 5–15 GFLOPS	10–30 Hz	30–100 ms	CPU	CPU (i7/Jetson)
VINS-Mono	~ 10–25 GFLOPS	10–20 Hz	50–120 ms	CPU	Jetson TX2/ Xavier
MPC (Perception-aware)	variable	10–50 Hz	10–100 ms	CPU	CPU
Intel Movidius NCS2	~ 1 TOPS	до 30 FPS (CNN)	< 20 ms	VPU (CNN only)	USB VPU
Google Coral TPU	~ 4 TOPS	до 100 FPS (CNN)	< 10 ms	TPU (CNN only)	Edge TPU

управления. При детальном рассмотрении *Perception-Aware MPC* позволяет формировать управляющее воздействие с учетом текущего потока визуальной информации, одновременно удерживая линию электропередачи в поле зрения и предотвращая столкновения с опорами [5]. Управление в данном случае строится на самоопределении дрона в пространстве, что устраняет необходимость в заранее подготовленной и оцифрованной точной карте местности, но одновременно и повышает вычислительную нагрузку на бортовую систему. В свою очередь, алгоритмы планирования траектории, учитывающие физические особенности среды, позволяют определить безопасное расстояние до проводов и опор, после чего скорректировать маршрут движения аппарата. В отличие от алгоритмов восприятия и управления, вычислительная сложность таких решений сравнительно невелика, поскольку они основаны на аналитических зависимостях и заранее заданных моделях окружающей среды [6].

Поскольку работа таких алгоритмов должна осуществляться в условиях, приближенных к реальному времени, к аппаратной платформе должны предъявляться жесткие требования. На практике это, как правило, означает использование специализированных ускорителей, включая графические процессоры (*GPU*). Попытка выполнять подобные вычисления только на центральном процессоре обычно приводит к заметному снижению скорости обработки данных, что непосредственно отражается на качестве навигации. В условиях ограниченных вычислительных ресурсов бортовой платформы возникает проблема поиска баланса между точностью, устойчивостью и энергоэффективностью, что непосредственно выводит к задаче обоснования требований к аппаратной архитектуре автономного БПЛА.

Оценка вычислительной сложности алгоритмов автономной навигации.

Согласно данным экспериментальных и литературных источников, вычислительная нагрузка алгоритмов компьютерного зрения и локализации варьируется в диапазоне от

единиц до десятков *GFLOPS*, при этом реальные частоты работы на *edge*-платформах составляют 5–30 Гц [4], а наиболее ресурсоемкие компоненты связаны с обработкой визуальных данных и оптимизацией траектории [5]. В отличие от классических задач обработки данных, рассматриваемые алгоритмы функционируют в условиях жестких ограничений по времени отклика, что требует обеспечения устойчивой работы всей системы в режиме, близком к реальному времени. Это накладывает дополнительные требования на архитектуру вычислительной платформы, поскольку даже незначительное увеличение задержек на одном из этапов обработки может привести к деградации качества навигации в целом. Характерной особенностью автономных систем БПЛА является одновременное выполнение нескольких вычислительно сложных процессов, каждый из которых предъявляет собственные требования к ресурсам. Алгоритмы компьютерного зрения ориентированы на интенсивное использование параллельных вычислений, тогда как методы локализации и предиктивного управления преимущественно нагружают центральный процессор и требуют стабильного времени выполнения. В результате формируется гетерогенная вычислительная нагрузка, распределенная между различными аппаратными компонентами системы.

В представленной таблице вычислительных характеристик алгоритмов на *edge*-платформах разработки наглядно отражается тот факт, что рассматриваемые методы формируют неоднородную и взаимозависимую нагрузку, распределенную между различными компонентами вычислительной системы [7; 8]. Это позволяет перейти от описательного анализа к более формализованной модели оценки, в рамках которой суммарная нагрузка системы может быть представлена как аддитивная композиция вкладов отдельных алгоритмических блоков. В первом приближении такая зависимость может быть записана в виде $L_{\text{общ}} = L_{\text{CNN}} + L_{\text{SLAM}} + L_{\text{MPC}}$, что отражает структурную организацию современной системы автономной навигации. Представленная формула не предназначена для точного количественного описания системы, однако позволяет зафиксировать ее ключевую архитектурную особенность. Вычислительная нагрузка формируется совокупностью алгоритмов, функционирующих в режиме реального времени, а не отдельным вычислительным модулем. В этих условиях применение специализированных ускорителей приводит лишь к перераспределению нагрузки между компонентами системы, не устраняя необходимости в производительном центральном процессоре, обеспечивающем выполнение задач локализации и управления. Данное наблюдение позволяет заключить, что для создания эффективной системы автономной навигации критически важна не только оптимизация отдельных алгоритмов, но и всестороннее проектирование аппаратной архитектуры, учитывающее их взаимное функционирование. Хотя развитие специализированных ускорителей для задач искусственного интеллекта продемонстрировало заметные успехи в области обработки данных компьютерного зрения, это, тем не менее, не привело к появлению универсальной вычислительной платформы. Современные решения, такие как *Intel Movidius Neural Compute Stick 2*, *Google Coral TPU* и *Hailo-8*, ориентированы на ускорение нейросетевого вывода и эффективно решают задачи детекции и сегментации при низком энергопотреблении. Вместе с тем архитектурное решение данных систем оптимизировано для исполнения фиксированных вычислительных алгоритмов, что закономерно ограничивает диапазон их применения в алгоритмах, характеризующихся динамической структурой вычислений, в частности в методах визуальной локализации и предиктивного управления.

В результате ускорение блока компьютерного зрения не сопровождается пропорциональным снижением общей вычислительной нагрузки. Алгоритмы, связанные с локали-

зацией и управлением, продолжают выполняться на центральном процессоре, что сохраняет высокие требования к его производительности и подтверждает необходимость сбалансированного распределения вычислительных ресурсов в системе. Это обстоятельство указывает на принципиальное ограничение современных *edge*-платформ, заключающееся в невозможности построения полностью автономной системы навигации на основе единого специализированного ускорителя. Совместная работа алгоритмов компьютерного зрения, *SLAM* и *MPC* формирует совокупную нагрузку, которая превышает возможности узкоспециализированных решений и требует распределения вычислений между различными аппаратными блоками. Таким образом, на текущем этапе развития технологий задача создания универсальной «платы», способной эффективно выполнять весь стек алгоритмов автономной навигации БПЛА, остается нерешенной. Практическая реализация таких систем основывается на гетерогенных архитектурах, в которых ускорители используются для отдельных задач, тогда как общая вычислительная устойчивость обеспечивается за счет комбинирования различных типов вычислительных ресурсов.

Конфликт вычислительных нагрузок в гетерогенной архитектуре БПЛА

Общая система автономной навигации в рассматриваемой постановке может быть представлена в виде непрерывного вычислительного контура, в котором состояние аппарата на текущем шаге времени преобразуется через последовательность взаимосвязанных этапов восприятия, локализации и управления в управляющее воздействие. Такая структура соответствует логике функционирования современных робототехнических систем и может быть формализована как переход от состояния к действию через цепочку обработки данных. При этом каждый из этапов не является независимым, поскольку точность и устойчивость работы последующих блоков напрямую зависят от качества входной информации, формируемой предыдущими алгоритмами. В условиях ограниченных вычислительных ресурсов бортовой платформы данная архитектура сталкивается с фундаментальным инженерным ограничением, заключающимся в невозможности одновременного обеспечения максимальной точности и частоты работы всех подсистем. Повышение качества восприятия за счет усложнения нейросетевых моделей приводит к увеличению времени инференса и, как следствие, снижает частоту обновления данных для блока локализации. В свою очередь, более точные алгоритмы *SLAM* требуют значительных вычислительных ресурсов центрального процессора и оперативной памяти, что может приводить к задержкам в формировании оценок положения аппарата.

Рост сложности предиктивной модели в составе блока управления сопровождается увеличением времени, необходимого для решения оптимизационной задачи. Следствием этого становится снижение способности системы своевременно адаптироваться к быстро изменяющимся внешним условиям. По этой причине в рассматриваемой архитектуре особую значимость приобретает не только выбор алгоритмов, но и способ распределения вычислительных ресурсов между ними. Специфика такой архитектуры определяется тем, что разные классы алгоритмов предъявляют неодинаковые требования к вычислительной платформе. Алгоритмы компьютерного зрения преимущественно ориентированы на параллельную обработку данных, поэтому наибольшую эффективность демонстрируют при использовании графических ускорителей или специализированных нейропроцессоров. Иная ситуация наблюдается в задачах локализации и визуальной одометрии: здесь вычислительный процесс строится на последовательных операциях, связанных с сопоставлением признаков, оценкой соответствий и последующей оптимизацией. В результате

производительность этих методов в значительной степени определяется возможностями центрального процессора и характеристиками подсистемы памяти.

Практическая реализация автономной навигации требует не максимизации характеристик отдельных модулей, а поиска компромисса между точностью, устойчивостью и производительностью всей системы, учитывая необходимость высокой автономности системы и долгосрочной работы от внутренних источников питания. Именно поэтому задача распределения вычислительных ресурсов должна рассматриваться как один из центральных элементов аппаратно-алгоритмического проектирования.

Литература

1. Торопов, А.С. Направления применения беспилотных летательных аппаратов для диагностики воздушных линий электропередачи / А.С. Торопов, А.В. Байшев // Вестник ВSGUTU. – 2017. – № 3(66). – EDN: ZHDJQT.
2. Пигалин, А.А. Применение БПЛА в электрических сетях и его экономический эффект / А.А. Пигалин, М.Ш. Гарифуллин // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике : Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции. – Казань, 2022. – С. 296–300. – EDN: LBOWFD.
3. Xing, J. Autonomous Power Line Inspection with Drones via Perception-Aware MPC / J. Xing, G. Cioffi, J. Hidalgo-Carrió, D. Scaramuzza // arXiv preprint. – 2023. – DOI: 10.48550/arXiv.2304.00959.
4. Deng, C. Unmanned Aerial Vehicles for Power Line Inspection: A Cooperative Way in Platforms and Communications / C. Deng, X. Li, Y. Wang, Y. Li // Journal of Communications. – 2014. – Vol. 9. – No. 9. – P. 687–692. – DOI: 10.12720/jcm.9.9.687-692.
5. Ma, L. Visual Localization with a Monocular Camera for Unmanned Aerial Vehicle Based on Landmark Detection and Tracking Using YOLOv5 and DeepSORT / L. Ma, L. Liu, Y. Xue, W. Zhu, S. Ma // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2023. – DOI: 10.1177/17298806231164831.
6. Kim, S. Autonomous UAV Flight Control for Power Line Inspection / S. Kim, D. Kim, H. Kim // Energies. – University of Seville, Avenida de los Descubrimientos, 2020. – Vol. 13. – Issue 23. – Article 6250. – DOI: 10.3390/s21248488.
7. Ignatov, A. AI Benchmark: All About Deep Learning on Smartphones in 2019 / A. Ignatov, R. Timofte, et al. // arXiv. – 2019. – DOI: 10.48550/arXiv.1910.06663.
8. Zhang, Q. Benchmarking Edge AI Devices for Deep Learning Inference / Q. Zhang, Z. Wang, Y. Li, et al. // arXiv. – 2022. – DOI: 10.48550/arXiv.2206.15471.

References

1. Toropov, A.S. Napravleniya primeneniya bespilotnykh letatelnykh apparatov dlya diagnostiki vozdushnykh linij elektroperedachi / A.S. Toropov, A.V. Bajshev // Vestnik VSGUTU. – 2017. – № 3(66). – EDN: ZHDJQT.
2. Pigalin, A.A. Primenenie BPLA v elektricheskikh setyakh i ego ekonomicheskij effekt / A.A. Pigalin, M.SH. Garifullin // Dispetcherizatsiya i upravlenie v elektroenergetike : Materialy XVII Vserossijskoj otkrytoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Kazan, 2022. – S. 296–300. – EDN: LBOWFD.

Hardware and Algorithmic Design of an Autonomous Navigation System for UAVs in the Absence of Satellite Navigation

D.F. Isakov¹, R.N. Polyakov²

¹ *Moscow University "Synergy", Moscow (Russia);*

² *Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol (Russia)*

Key words and phrases: Unmanned aerial vehicles; autonomous navigation; computer vision; robot localization; SLAM; predictive control; machine learning.

Abstract. This paper examines modern approaches to building autonomous navigation systems for unmanned aerial vehicles (UAVs) monitoring power lines in the absence or instability of satellite navigation. An analysis of computer vision, visual localization, and predictive control algorithms used in autonomous positioning tasks is conducted. Particular attention is paid to the integration of algorithms within a single computing circuit and their mutual influence on the computational load of the onboard system. Based on an analysis of experimental and literature data, it is shown that the total load is formed by a combination of perception, localization, and control units, which leads to competition for hardware resources.

© Д.Ф. Исаков, Р.Н. Поляков, 2026

УДК 62-529:681.5

Исследование возможности применения пневмомышц для управления экзоскелетными механизмами

А.С. Терентьев, Е.Е. Дрокин,
В.В. Мальцева, Т.Г. Орешенко

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск (Россия)*

Ключевые слова и фразы: датчик положения; датчик силы давления; искусственные мышцы; пневмораспределитель; пневмомускулы; пневмомышцы; система управления; электромагнитный клапан.

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы применения пневматических искусственных мышц в системах управления экзоскелетными механизмами. Проведен анализ принципов работы пневмомышц, их конструктивных особенностей и сравнительных характеристик с традиционными приводами. Особое внимание уделено вопросам управления, энергоэффективности, безопасности и адаптивности пневматических приводов при взаимодействии с человеком. Представлены результаты исследования прототипа системы управления на базе пневмомышц, включая оценку их применимости в экзоскелетных системах. Определены основные ограничения и направления дальнейших исследований.

Современная техника развивается в направлении повышения соотношения нагрузки к весу, расширения функциональности и надежности за счет новых информационных технологий. Появление высокопрочных волоконных материалов позволило применять новые подходы в проектировании.

Актуальность темы обусловлена необходимостью создания безопасных, энергоэффективных и адаптивных систем, способных взаимодействовать с человеком и динамичной окружающей средой. В этом контексте пневматические мышцы (**ПМ**) или пневматические искусственные мышцы (**ПИМ**) становятся ключевым элементом мягкой робототехники.

В результате исследования был разработан прототип системы управления на основе пневмомышц. Система представляет макет руки, имитирующий движения пальцев кисти. Конструкция состоит из пластиковой основы кисти и предплечья, пневматических мускул, блока пневмораспределителей, воздушного компрессора. Управление предполагает коррекцию усилия сжатия мышц на основе данных, полученных с резистивных датчиков давления, а также коррекцию положения кисти руки по показаниям гироскопа со встроенным акселерометром.

Функционирование пневмомускул базируется на способности тонкой эластичной мем-

Таблица 1. Сокращение образцов пневмомускулов в зависимости от геометрических размеров

Номер образца	1	2	3	4
Диаметр мембраны, мм	5	7	7	7
Диаметр ячеистого рукава, мм	12	10	10	10
Длина, мм	100	100	400	200
Сокращение мышцы, мм	–	28	112	64
Сокращение мышцы, %	–	28	28	28

Таблица 2. Параметры рычагов, силы давления на кончике пальца и коэффициенты ослабления

	Указательный	Средний	Безымянный	Мизинец	Большой
d_1 , мм	10	9,59	8,88	8,81	8,91
d_2 , мм	8,87	8,84	7,48	7,44	8,91
d_3 , мм	7	7	6,7	6,7	8,41
L_1 , мм	28	30	28	25	30
L_2 , мм	25	25	25	22	30
L_3 , мм	20	20	18	18	20
F_M , Н	10	10	10	10	10
F_3 , Н	0,44	0,4	0,35	0,44	0,37
k	23	25	29	23	27

браны изменять геометрию под действием избыточного внутреннего давления. Укорочение цилиндрической мембраны обусловлено структурой кордового армирования: нити из недеформируемого синтетического материала, пропитанные эластомером, формируют прочную и высокоэластичную оболочку. Мембрана имеет цилиндрическую форму, образованную винтообразной перекрестной навивкой кордовых нитей.

В данном исследовании использованы пневмомускулы собственного изготовления. Каждая мышца состоит из 2-х главных деталей: мягкая эластичная внутренняя резиновая трубка и плетеный ячеистый рукав из полиэстера или проще – кабельная оплетка.

Для корректной работы важно, чтобы мышца в неактивном положении была растянута или находилась под нагрузкой. В противном случае она просто расширится.

Основными особенностями являются габаритные размеры и гибкость конструкции, что позволяет использовать пневмомускулы в стесненных условиях, а также развиваемое усилие и рабочее давление.

Оболочковый пневмомускул данного типа аналогично биологическому прототипу является приводом одностороннего действия и функционирует исключительно в режиме сокращения. При подаче сжатого воздуха внутрь оболочки формируется сила, направленная на уменьшение ее длины, при этом обратное удлинение не реализуется. Возврат в исходное состояние и обеспечение двустороннего действия достигаются применением антагонистических пар пневмомышц. Для работы пневмомышц требуется источник сжатого газа

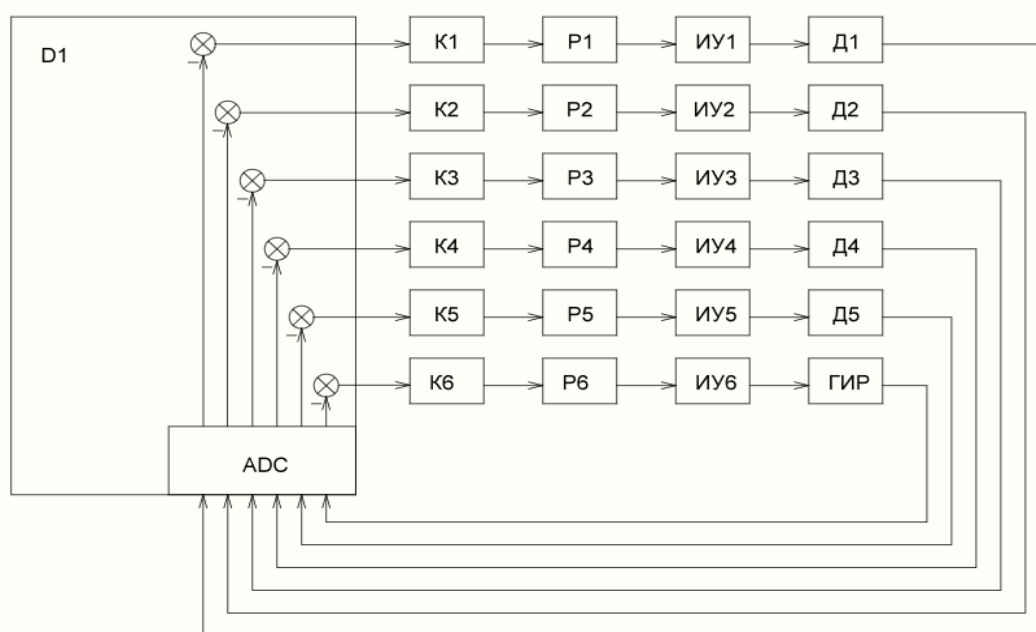


Рис. 1. Структурная схема системы управления на базе пневмомышц

с рабочим давлением 0,3–0,8 МПа, ограниченными прочностными характеристиками материалов. Давление может создаваться различными способами, включая использование компрессора или баллонов со сжатым воздухом.

В рамках работы проведено экспериментальное исследование нескольких опытных образцов пневмомускулов собственного изготовления. Полученные данные о сокращении образцов в таблице 1.

Структурная схема системы управления на базе пневмомышц представлена на рисунке 1: D1 – микроконтроллер, ADC – аналого-цифровой преобразователь, K1–K6 – реле, P1–P6 – пневматический электромагнитный клапан, ИУ1–ИУ6 – исполнительное устройство, Д1–Д5 – датчики, ГИР – гироскоп.

Основная задача – переключение пневматических распределителей, направляющих воздушные потоки от воздушного компрессора к пневмомускулам в зависимости от посылаемых сигналов управления. По сигналам микроконтроллера происходит переключение блоков реле, отвечающих за работу пневмораспределителей. В исполнительное устройство входят две пневмомускулы, подсоединенные к выходам пневмораспределителей, которые производят работу по сжатию/разжатию одного пальца руки. В системе управления на базе пневмомышц организовано 5 каналов, которые отвечают за сжатие/разжатие пальцев руки. Пневмораспределители относятся к направляющей аппаратуре и служат для управления направлением движения потоков сжатого воздуха. Управление осуществляется при переключении через изменения схемы соединения внутренних каналов распределителя с входными и выходными присоединительными отверстиями. Обязательными компонентами являются датчики касания, которые необходимы для того, чтобы отследить момент захвата объекта кистью руки и измерить величину прикладываемого усилия.

Конструктивно кости, соединенные суставами, при сокращении мышц функционируют как рычаги, при этом каждая фаланга пальца представляет собой рычаг второго рода.

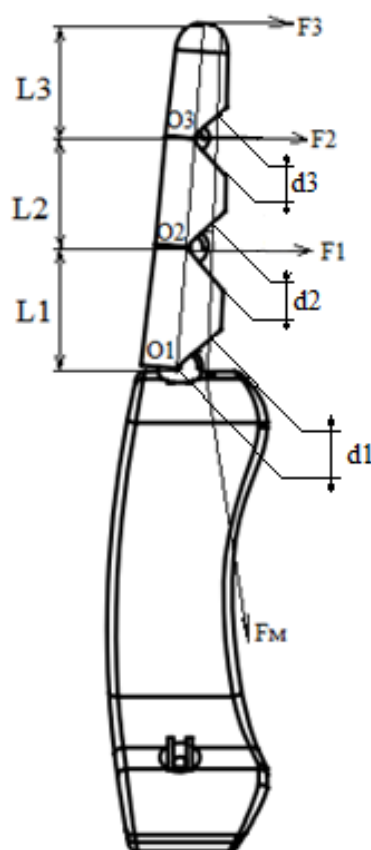


Рис. 2. Схематичное представление указательного пальца руки в виде системы рычагов

Представление в виде системы рычагов показано на рис. 2.

Важно отметить, что расчет силы давления на кончике пальца произведен без учета сил трения и силы тяжести. В результате система рычагов указательного пальца дает ослабление тянущей силы мышцы в 111 раз. Результаты расчета силы давления и передаточного отношения для пальцев приведены в табл. 2. Наибольшее ослабление тянущей силы пневмомышцы дает система рычагов безымянного пальца, а наименьшее ослабление наблюдается у указательного и мизинца.

Исследована способность пневмомышц удерживать дополнительную свободно подвешенную нагрузку. Все испытания проводились с постепенным увеличением массы свободно подвешенной нагрузки до полного отказа системы. Испытания показали, что пневмомышцы независимо от номинальной длины способны выдерживать нагрузку до 22 кг. Установлено, что для эффективной работы пневмомышцы необходимо оптимальное соотношение диаметров мембраны и ячеистого рукава, при этом относительное сокращение не зависит от длины мышцы и составляет около 28 %.

Осуществлено макетирование прототипа кисти руки как по готовой модели, так и по модели, учитывающей устранения недостатков первого образца. Выполнен расчет силы давления на кончике пальца, показавший ослабление тянущей силы пневмомышцы рычажной системой: наибольшее – у безымянного пальца, наименьшее – у указательного и мизинца.

Литература

1. Драгунов, С.Е. Автоматизация проектирования персонифицированных активных экзоскелетов нижних конечностей / С.Е. Драгунов. – Волгоград : ВолгГТУ, 2024. – 165 с.
2. Жетенбаев, Н.Т. Исследование и применения пневматических искусственных мышц / Н.Т. Жетенбаев, Е.С. Нургизат, Г.К. Балбаев, Б.Т. Шингисов, Г.Д. Естемесова. – Алматы : Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, 2021. – 8 с.
3. Колесникова, Е.Г. Гибкие приводы в робототехнике / Е.Г. Колесникова, Е.А. Савинская, В.И. Умнов // Механика и машиностроение. – Иркутск : ИрГТУ, 2012. – 9 с.
4. Пильгунов, В.Н. Пневмомускул: геометрия цилиндрической мембраны и прогнозирование силовых характеристик / В.Н. Пильгунов, К.Д. Ефремова // Гидравлика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://hydrojournal.ru/images/JOURNAL/NUMBER3/PilgunovEfremova.pdf>.
5. Пильгунов, В.Н. Пневмомускул: физика, характеристики, применение / В.Н. Пильгунов, К.Д. Ефремова // Гидравлика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://hydrojournal.ru/images/JOURNAL/NUMBER3/PilgunovEfremova.pdf>.
6. Пневмомускулы Festo серии DMSP, MAS [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dalse.ru/shop/pnevmocilindry/stopornye/dmsp-mas>.
7. Пневмомышца для робота [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.school-1370-pro.ru/assets/files/pr.pdf>.
8. Пневматические мышцы и их применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/137020/57-62.pdf>.
9. Пневматические распределители [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.tizpribor.ru/info/articles/pnevmoraspredeliteli.htm>.

References

1. Dragunov, S.E. Avtomatizatsiya proektirovaniya personifitsirovannykh aktivnykh ekzoskeletov nizhnikh konechnostey / S.E. Dragunov. – Volgograd : VolgGTU, 2024. – 165 s.
2. ZHetenbaev, N.T. Issledovanie i primeneniya pnevmaticheskikh iskusstvennykh myshts / N.T. ZHetenbaev, E.S. Nurgizat, G.K. Balbaev, B.T. SHingisov, G.D. Estemesova. – Almaty : Almatinskij universitet energetiki i svyazi imeni G. Daukeeva, 2021. – 8 s.
3. Kolesnikova, E.G. Gibkie privody v robototekhnike / E.G. Kolesnikova, E.A. Savinskaya, V.I. Umnov // Mekhanika i mashinostroenie. – Irkutsk : IrGTU, 2012. – 9 s.
4. Pilgunov, V.N. Pnevnomuskul: geometriya tsilindricheskoj membrany i prognozirovanie silovykh kharakteristik / V.N. Pilgunov, K.D. Efremova // Gidravlika [Electronic resource]. – Access mode : <http://hydrojournal.ru/images/JOURNAL/NUMBER3/PilgunovEfremova.pdf>.
5. Pilgunov, V.N. Pnevnomuskul: fizika, kharakteristiki, primeneniye / V.N. Pilgunov, K.D. Efremova // Gidravlika [Electronic resource]. – Access mode : <http://hydrojournal.ru/images/JOURNAL/NUMBER3/PilgunovEfremova.pdf>.
6. Pnevnomuskuly Festo serii DMSP, MAS [Electronic resource]. – Access mode : <https://dalse.ru/shop/pnevmocilindry/stopornye/dmsp-mas>.
7. Pnevnomyshtsa dlya robota [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.school-1370-pro.ru/assets/files/pr.pdf>.
8. Pnevmaticheskie myshtsy i ikh primeneniye [Electronic resource]. – Access mode : <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/137020/57-62.pdf>.
9. Pnevmaticheskie raspredeliteli [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.tizpribor.ru/info/articles/pnevmoraspredeliteli.htm>.

tizpribor.ru/info/articles/pnevmoraspredeliteli.htm.

Study of the Possibility of Using Pneumatic Muscles to Control Exoskeleton Mechanisms

A.S. Terentiev, E.E. Drokin, V.V. Maltseva, T.G. Oreshchenko

*Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev,
Krasnoyarsk (Russia)*

Key words and phrases: artificial muscles; pneumatic muscles; pneumatic muscles; control system; electromagnetic valve; pneumatic distributor; position sensor; pressure force.

Abstract. This paper investigates the potential application of pneumatic artificial muscles in control systems of exoskeleton mechanisms. The principles of operation, design features, and comparative characteristics of pneumatic muscles with conventional actuators are analyzed. Special attention is given to control issues, energy efficiency, safety, and adaptability of pneumatic drives in human-interactive systems. The study presents results obtained from a prototype control system based on pneumatic muscles and evaluates their applicability in exoskeleton systems. Key limitations and future research directions are identified.

© А.С. Терентьев, Е.Е. Дрокин, В.В. Мальцева, Т.Г. Орешенко, 2026

УДК 51.77

Модель размещения объектов с учетом возмущающих факторов

И.В. Зайцева¹, Н.И. Захарова²,
В.В. Захаров³, Д.Н. Резеньков⁴

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург (Россия);

² ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь (Россия);

³ ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный
аграрный университет»,
г. Ставрополь (Россия);

⁴ ФГКОУ ВО «Краснодарский университет
Министерства внутренних дел Российской Федерации»,
г. Краснодар (Россия)

Ключевые слова и фразы: исследование; модель;
оптимальное решение; функция дохода.

Аннотация. В статье построена модель размещения объектов в черте некоторой территории, позволяющая найти некоторое оптимальное решение данной задачи. Цель работы – разработка математической модели оптимального размещения объектов. Задачами исследования являются постановка задачи, формализация ее условий, построение и исследование функции дохода. Задача решается численными методами. Модель размещения объектов является частным случаем более общей задачи в теории конкурентных процессов. В результате исследования зависимость экономического эффекта и экологического вреда от расстояния между объектами и определена функция дохода агента в частном случае. Данная модель может быть применена при проектировании различных предприятий и объектов социального назначения.

Рассмотрим задачу размещения как бескоалиционный процесс агентов. На плоскости зададим декартовую систему координат. Начало расположим в юго-западном углу карт. Ось OX направим на восток, ось OY – строго на север. Проведем масштабирование. На участке местности расположены стационарные объекты $C_1, \dots, C_k$. Каждый объект характеризуется парой координат (x_j, y_j) . Участниками конкурентных процессов являются объекты двух типов: $B_1, \dots, B_s$ и $A_1, \dots, A_n$. Всего агентов $s + p = n$, а объектов $n + k = m$. Допустимое множество стратегий i агента определим следующим образом:

$$D_i = \{u_i = (x_i, y_i) \mid \underline{\rho} \leq \sqrt{(x_i - x_j)^2 - (y_i - y_j)^2} \leq \bar{\rho}, \quad \forall j \in mj \neq i\} \quad i \in n,$$

$$0 \leq x_i \leq x_{\max}, 0 \leq y_i \leq y_{\max},$$

где $\underline{\rho}$ – минимальное расстояние между объектами; $\bar{\rho}$ – максимальное расстояние между граничными точками. В каждой ситуации агенты получают доход, равный значению функции дохода в данной системе координат.

В частном случае рассмотрим два объекта A и B и две цели. Первая цель – максимизация экономического эффекта благодаря удачному расположению.

Пусть $L_{ij} \geq 0$ – весовой коэффициент, определяющий экономическую заинтересованность i объекта в близости с j , а $\rho(i, j)$ – расстояние между i и j объектами.

$$\rho(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 - (y_i - y_j)^2}, \quad (1)$$

тогда функцию зависимости экономического эффекта от расстояния можно записать в виде:

$$f(\rho(i, j)) = \frac{L_{ij}}{\rho(i, j)} \frac{L_{ij}}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 - (y_i - y_j)^2}}. \quad (2)$$

Вторая цель – минимизация экологического ущерба. Экологический ущерб можно охарактеризовать как возмущающий фактор и как выбросы в воздушную среду некоторого количества вредных веществ. Рассмотрим динамику распределения отходов на местности. Для этого построим окружность радиусом $\rho(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 - (y_i - y_j)^2}$. В центре круга поместим объект B_j , а в точке окружности объект A_j . Пусть площадь, занимаемая A_j , бесконечно мала по сравнению с площадью круга. Кроме того, будем считать, что выброс происходит мгновенно, а ветер имеет постоянную скорость V и все его направления равновероятны. Тогда распределение плотности частиц на местности будет выглядеть следующим образом:

$$P = \frac{W_j}{2\pi\rho^2(i, j)Vh_j e^{\frac{\rho(i, j)}{W_j V h_j}}},$$

где h_j – высота источника загрязнения.

Окончательно функция зависимости экологического ущерба будет выглядеть следующим образом:

$$q(\rho(i, j)) = \frac{Q_{ij}W_j}{2\pi((x_i - x_j)^2 - (y_i - y_j)^2)h_j e^{\frac{\sqrt{(x_i - x_j)^2 - (y_i - y_j)^2}}{W_j h_j}}}, \quad (3)$$

где $h_j = V \cdot h_j$, а Q_{ij} – весовой коэффициент, определяющий экологический ущерб, наноси-

мой единицей выброса j объекта объекту i .

Определив зависимость экономического эффекта и экологического вреда от расстояния между объектами, можно вывести функцию дохода агента в данном частном случае:

$$H_i(u) = \frac{L_{i,j}}{\rho(i,j)} - \frac{Q_{i,j}W_j}{\pi\rho^2(i,j) \cdot e^{\frac{\rho(i,j)}{K_jW_j}}}. \quad (4)$$

В случае, если объект с индексом j не представляет экологической опасности объекту i , то ситуация $Q_{i,j} = 0$. В связи с тем, что решить формализуемую задачу аналитически не представляется возможным, задачу придется решать численными методами, которые предполагают многократное вычисление функции выигрыша. Поэтому достаточно сложная функция вида (4) потребует для ее вычисления довольно большого количества машинного времени, поэтому аппроксимируем функцию

$$q(\rho(i,j)) = \frac{Q_{ij}W_j}{\pi\rho^2(i,j)e^{\frac{\rho(i,j)}{K_jW_j}}K_j} \quad (5)$$

функцией

$$\varphi(\rho(i,j)) = \frac{Q_{ij}W_j}{\pi\rho^2(i,j)K_j}. \quad (6)$$

Оценим погрешность аппроксимации:

$$\begin{aligned} \left| \frac{Q_{ij}W_j}{\pi\rho^2(i,j)e^{\frac{\rho(i,j)}{K_jW_j}}K_j} - \frac{Q_{ij}W_j}{\pi\rho^2(i,j)K_j} \right| &= \frac{Q_{ij}W_j}{\pi K_j} \cdot \left[\frac{1}{\rho^2(i,j)e^{\frac{\rho(i,j)}{K_jW_j}}} - \frac{1}{\rho^2(i,j)} \right] \leq \\ &\leq \max_{W_j Q_{i,j}} \frac{Q_{i,j}W_j}{\pi K_j} \max_{\rho} \left[\frac{1}{\rho^2(i,j)e^{\frac{\rho(i,j)}{K_jW_j}}} - \frac{1}{\rho^2(i,j)} \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Найдем максимум функции, заключенной в скобки:

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{\rho^2(i,j)e^{\frac{\rho(i,j)}{K_jW_j}}} - \frac{1}{\rho^2(i,j)} \right]' &= -\frac{2}{\rho^3(i,j)e^{\frac{\rho(i,j)}{K_jW_j}}} - \frac{1}{W_j e^{\frac{\rho(i,j)}{K_jW_j}} \rho^2(i,j)} + \frac{2}{\rho^3(i,j)} = \frac{-2W_j - \rho(i,j) + 2W_j e^{\frac{\rho(i,j)}{K_jW_j}}}{W_j \rho^3(i,j) e^{\frac{\rho(i,j)}{K_jW_j}}}, \\ W_j \rho^3(i,j) e^{\frac{\rho(i,j)}{K_jW_j}} &\neq 0 \end{aligned}$$

(т.к по условию задачи $W_j \neq 0$, а $\rho(i,j) \in [\underline{\rho}; \bar{\rho}]$).

$$-2W_j - \rho(i, j) + 2W_j e^{\frac{\rho(i, j)}{K_j W_j}} = 0, \quad 2W_j e^{\frac{\rho(i, j)}{K_j W_j}} = 2W_j + \rho(i, j), \quad e^{\frac{\rho(i, j)}{K_j W_j}} = 1 + e^{\frac{\rho(i, j)}{2W_j}}.$$

Пусть $\frac{\rho(i, j)}{W_j} = X$, $e^{\frac{X}{k}} = 1 + \frac{X}{2}$.

Очевидным решением данного уравнения является $X = 0$. Других решений данного уравнения при $X \geq 0$ нет. Из доказанного выше следует, что функция монотонна. Она возрастает при увеличении $\rho(i, j)$. Исходя из условий, что $\rho(i, j) \in [\underline{\rho}, \bar{\rho}]$, где $\bar{\rho} = \sqrt{x_{\max}^2 + y_{\max}^2}$. Максимальная погрешность имеет вид:

$$\max \delta_{i,j} \leq \frac{Q_{i,j} W_j}{\pi k_j} \left[\frac{1 - e^{-\frac{\sqrt{x_{\max}^2 + y_{\max}^2}}{K_j W_j}}}{(\sqrt{x_{\max}^2 + y_{\max}^2})^2} * \frac{1}{e^{\frac{\sqrt{x_{\max}^2 + y_{\max}^2}}{K_j W_j}}} \right],$$

$$\lim_{W_j \rightarrow \infty} \delta_{i,j} = \lim_{W_j \rightarrow \infty} \frac{Q_{i,j}}{\pi k_j} \left(\frac{W_j - W_j e^{-\frac{\sqrt{x_{\max}^2 + y_{\max}^2}}{K_j W_j}}}{x_{\max}^2 + y_{\max}^2} \right) = \frac{Q_{i,j}}{\pi k_j} \left(\frac{W_j - W_j e^0}{x_{\max}^2 + y_{\max}^2} \right).$$

Следовательно, при достаточно больших загрязнениях имеет смысл аппроксимировать функцию $q(\rho(i, j))$ функцией $\phi(\rho(i, j))$. Исходя из выводов, сделанных для случая двух агентов, можно записать функцию выигрыша для агентов в случае n агентов:

$$H_i(u) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \frac{L_{i,j}}{\rho(i, j)} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \frac{Q_{i,j} W_j}{\pi \rho^2(i, j) k_j}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

где n – число агентов; m – число всех объектов.

Первое слагаемое определяет совокупный экономический эффект, получаемый i агентом от расположения объектов. Второе слагаемое определяет общий экологический ущерб, наносимый i агенту j объектами т.к. $\rho(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$, то есть функция выигрыша переписывается в виде:

$$H_i(u) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \frac{L_{i,j}}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \frac{Q_{i,j} W_j}{\pi ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2) k_j}. \quad (9)$$

Исследование функции дохода.

$$H_i(u) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \frac{L_{i,j}}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \frac{Q_{i,j} W_j}{\pi ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2) k_j} =$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m (L_{i,j} \cdot ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2))^{-\frac{1}{2}} - (Q_{i,j} W_j (\pi k_j)^{-1} ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2))^{-1}. \\
&(H_i(u))'_{x_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m (-L_{i,j} \cdot ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2))^{-\frac{3}{2}} (x_i - x_j) + \\
&\quad + \frac{2Q_{i,j} W_j}{\pi k_j} ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{-2} (x_i - x_j). \\
&(H_i(u))'_{y_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m (-L_{i,j} \cdot ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2))^{-\frac{3}{2}} (y_i - y_j) + \\
&\quad + \frac{2Q_{i,j} W_j}{\pi k_j} ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{-2} (y_i - y_j). \\
&(H_i(u))''_{x_i x_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m (3L_{i,j} \cdot ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2))^{-\frac{5}{2}} (x_i - x_j)^2 - \\
&\quad - L_{i,j} ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{-\frac{3}{2}} + \frac{2Q_{i,j} W_j}{\pi k_j} ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{-2} - \\
&\quad - \frac{8Q_{i,j} W_j}{\pi k_j} ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{-3} (x_i - x_j)^2. \\
&(H_i(u))''_{y_i y_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m (3L_{i,j} \cdot ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2))^{-\frac{5}{2}} (y_i - y_j)^2 - L_{i,j} ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{-\frac{3}{2}} + \\
&\quad + \frac{2Q_{i,j} W_j}{\pi k_j} ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{-3} (y_i - y_j)^2. \\
&(H_i(u))''_{x_i y_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m (3L_{i,j} \cdot ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2))^{-\frac{5}{2}} (x_i - x_j)(y_i - y_j) - \\
&\quad - \frac{8Q_{i,j} W_j}{\pi k_j} ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{-3} (x_i - x_j)(y_i - y_j).
\end{aligned}$$

Функция $H_i(u)$ на области задания $(\underline{p} \leq \sqrt{((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)} \leq \bar{p})$ является непрерывной, имеет непрерывные на этой области частные производные первого и второго порядка. Функция является гладкой на области задания и для ее максимизации можно применить метод поординатного спуска.

Таким образом, построена модель размещения объектов. Необычностью построенной модели является то, что агенты, в свою очередь, также являются целевыми точками для остальных агентов.

Литература

1. Зайцева, И.В. Управление динамикой конкурентного взаимодействия между пред-

приятными / И.В. Зайцева, А.И. Кирьянен, О.А. Малафеев, О.Х. Казначеева, М.Г. Казначеева // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2021. – № 6(141). – С. 39–42.

2. 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. – Тамбов : ТМБпринт. – 2019. – № 6(117). – С. 59–64.

3. 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. – Т. 11. – № 11s. – P. 674–678.

4. Malafeyev, O. Game-theoretical model of cooperation between producers : AIP Conference Proceedings / 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. – 2019. – P. 450059.

References

1. 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. – Tambov : TMBprint. – 2021. – № 6(141). – S. 39–42.

2. 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. – Tambov : TMBprint. – 2019. – № 6(117). – S. 59–64.

Object Placement Model Taking into Account Disturbing Factors

I.V. Zaitseva¹, N.I. Zakharova², V.V. Zakharov³, D.N. Rezenkov⁴

¹ *Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg (Russia);*

² *North Caucasus Federal University,
Stavropol (Russia);*

³ *Stavropol State Agrarian University,
Stavropol (Russia);*

⁴ *Krasnodar University of the Ministry of internal Affairs of the Russian Federation,
Krasnodar (Russia)*

Key words and phrases: research; model; optimal solution; revenue function.

Abstract. The article builds a model for the placement of objects within a certain territory, allowing for finding an optimal solution to this problem. The purpose of the work is to develop a mathematical model for the optimal placement of objects. The research tasks include posing the problem, formalizing its conditions, constructing and studying the income function. The problem is solved using numerical methods. The model of object placement is a special case of a more general problem in the theory of competitive processes. As a result, the dependence of

economic effect and environmental damage on the distance between objects is studied, and the agent's income function is determined in a particular case. This model can be applied in the design of various enterprises and social infrastructure objects.

© И.В. Зайцева, Н.И. Захарова, В.В. Захаров, Д.Н. Резеньков, 2026

List of Authors

Зубарев К.П. – кандидат технических наук, доцент кафедры общей и прикладной физики, доцент кафедры информатики и прикладной математики Национального исследовательского Московского государственного строительного университета; старший научный сотрудник лаборатории строительной теплофизики Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук; доцент кафедры технологий строительства и конструкционных материалов Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы; ведущий научный сотрудник научного центра техники и технологий строительства Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва (Россия), e-mail: zubarevkill93@mail.ru

Zubarev K.P. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of General and Applied Physics, Associate Professor, Department of Informatics and Applied Mathematics, National Research Moscow State University of Civil Engineering; Senior Researcher, Laboratory of Structural Thermal Physics, Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; Associate Professor, Department of Construction Technologies and Structural Materials, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; Leading Researcher, Scientific Center for Construction Engineering and Technology, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow (Russia), e-mail: zubarevkill93@mail.ru

Заварзин Н.Ю. – аспирант Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва (Россия), e-mail: nike.zavar@yandex.ru

Zavarzin N.Y. – Postgraduate Student, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow (Russia), e-mail: nike.zavar@yandex.ru

Казунин В.В. – аспирант Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва (Россия), e-mail: kvv-vyacheslav@yandex.ru

Kazunin V.V. – Postgraduate Student, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow (Russia), e-mail: kvv-vyacheslav@yandex.ru

Добшиц В.Л. – аспирант Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва (Россия), e-mail: 89153383886@mail.ru

Dobshits V.L. – Postgraduate Student, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow (Russia), e-mail: 89153383886@mail.ru

Кирпичева Е.М. – магистрант Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань (Россия), e-mail: katerina7145@mail.ru

Kirpicheva E.M. – Master's Student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan (Russia), e-mail: katerina7145@mail.ru

Медведева Г.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции Казанского государственного архитектурно-строительного университета, г. Казань (Россия), e-mail: medvedevaga79@mail.ru

Medvedeva G.A. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Heat Power Engineering, Gas Supply and Ventilation, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan (Russia), e-mail: medvedevaga79@mail.ru

Коротихин Д.И. – магистрант Казанского государственного архитектурно-строительного университета, г. Казань (Россия), e-mail: katerina7145@mail.ru

Korotikhin D.I. – Master's Student, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan (Russia), e-mail: katerina7145@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

Нестеренко С.В. – генеральный директор ООО «Волгограднефтепроект», г. Волгоград (Россия), e-mail: pto@vnp.ltd

Nesterenko S.V. – CEO, Volgogradnefteproekt LLC, Volgograd (Russia), e-mail: pto@vnp.ltd

Федоров В.В. – главный инженер ООО «Волгограднефтепроект», г. Волгоград (Россия), e-mail: pto@vnp.ltd

Fedorov V.V. – Chief Engineer, Volgogradnefteproekt LLC, Volgograd (Russia), e-mail: pto@vnp.ltd

Голуб С.И. – заместитель генерального директора по проектированию ООО «Волгограднефтепроект», г. Волгоград (Россия), e-mail: pto@vnp.ltd

Golub S.I. – Deputy General Director for Design, Volgogradnefteproekt LLC, Volgograd (Russia), e-mail: pto@vnp.ltd

Корольков Г.А. – аспирант Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, (Россия), e-mail: specstroy22@yandex.ru

Korolkov G.A. – Postgraduate Student, Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin, Saratov (Russia), e-mail: specstroy22@yandex.ru

Тимохин Д.К. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных материалов, конструкций и технологий Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, (Россия), e-mail: voiced@list.ru

Timokhin D.K. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Head of Department of Building Materials, Structures and Technologies, Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin, Saratov (Russia), e-mail: voiced@list.ru

Калимуллин А.М. – магистрант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: freddi82@mail.ru

Kalimullin A.M. – Master's Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: freddi82@mail.ru

Синенко С.А. – доктор технических наук, профессор кафедры технологий и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: sasin50@gmail.com

Sinenko S.A. – Doctor of Engineering, Professor, Department of Technology and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: sasin50@gmail.com

Михайлов С.С. – магистрант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: serwert@mail.ru

Mikhailov S.S. – Master's Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: serwert@mail.ru

Лучкина В.В. – кандидат экономических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: serwert@mail.ru

Luchkina V.V. – Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Department of Technology and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: serwert@mail.ru

Муря В.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: 89166772070@mail.ru

Muria V.A. – 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: 89166772070@mail.ru

Пономарев А.Ю. – аспирант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: ntcmost@mail.ru

Ponomarev A.Y. – Postgraduate Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: ntcmost@mail.ru

Сапронов Д.А. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: sapronov.dim@mail.ru

Sapronov D.A. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: sapronov.dim@mail.ru

Харламов С.К. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: xarlamov_semyon@mail.ru

Kharlamov S.K. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: xarlamov_semyon@mail.ru

Квашина В.В. – магистрант Сургутского государственного университета, г. Сургут (Россия), e-mail: aspirant02@bk.ru

Kvashina V.V. – Master's Student, Surgut State University, Surgut (Russia), e-mail: aspirant02@bk.ru

Насирова А.Р. – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности Сургутского государственного университета, г. Сургут (Россия), e-mail: aspirant02@bk.ru

Nasirova A.R. – Candidate of Science (Biology), Senior Lecturer, Department of Life Safety, Surgut State University, Surgut (Russia), e-mail: aspirant02@bk.ru

Портнова Т.В. – доктор искусствоведения, профессор кафедры ландшафтной архитектуры Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва (Россия), e-mail: tatianaportnova@bk.ru

Portnova T.V. – Doctor of Art History, Professor, Department of Landscape Architecture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow (Russia), e-mail: tatianaportnova@bk.ru

Пономарев Е.С. – кандидат архитектуры, доцент кафедры теории и практики архитектуры Казанского государственного архитектурно-строительного университета, г. Казань (Россия), e-mail: ponom_argo@mail.ru

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.ru

Хафизов Р.Р. – доцент кафедры теории и практики архитектуры Казанского государственного архитектурно-строительного университета, г. Казань (Россия), e-mail: Khaliullin.98@list.ru

Khafizov R.R. – Associate Professor, Department of Theory and Practice of Architecture, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan (Russia), e-mail: Khaliullin.98@list.ru

Халиуллин Б.Р. – магистрант Казанского государственного архитектурно-строительного университета, г. Казань (Россия), e-mail: Khaliullin.98@list.ru

Khaliullin B.R. – Master's Student, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan (Russia), e-mail: Khaliullin.98@list.ru

Шаяхметов А.С. – студент Казанского государственного архитектурно-строительного университета, г. Казань (Россия), e-mail: almir12.00@inbox.ru

Shayakhmetov A.S. – Student, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan (Russia), e-mail: almir12.00@inbox.ru

Демьянчук Е.В. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: katekolsova2002@gmail.com

Demyanchuk E.V. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: katekolsova2002@gmail.com

Арепьева Д.С. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: ArepevaDS@mgsu.ru

Arepeva D.S. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: ArepevaDS@mgsu.ru

Гагин А.В. – заместитель директора научно-образовательного центра «Цифровое строительство и эксплуатация» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: GaginAV@mgsu.ru

Gagin A.V. – Deputy Director, Scientific and Educational Center “Digital Construction and Operation”, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: GaginAV@mgsu.ru

Федоров С.С. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики и компьютерного моделирования Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: FedorovSS@mgsu.ru

Fedorov S.S. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Head of Department of Engineering Graphics and Computer Modeling, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: FedorovSS@mgsu.ru

Мартыненко В.В. – заместитель директора филиала по производству института по проектированию магистральных трубопроводов «Омскгипротрубопровод» – филиал АО «Гипротрубопровод», г. Омск (Россия), e-mail: MartynenkoVV@transneft.ru

Martynenko V.V. – Deputy Director of the Production Branch, Institute for the Design of Main Pipelines Omskgiprotuboprovod – Branch of Giprotruboprovod JSC, Omsk (Russia), e-mail: MartynenkoVV@transneft.ru

Щербань Е.М. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной геометрии и компьютерной графики Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону (Россия), e-mail: au-geen@mail.ru

Shcherban E.M. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Head of Department of Engineering Geometry and Computer Graphics, Don State Technical University, Rostov-on-Don (Russia), e-mail: au-geen@mail.ru

Исаков Д.Ф. – аспирант Московского финансово-промышленного университета «Синергия», г. Москва (Россия), e-mail: stud-isakov@yandex.ru

Isakov D.F. – Postgraduate Student, Moscow University of Finance and Industry “Synergy”, Moscow (Russia), e-mail: stud-isakov@yandex.ru

Исаков Д.Ф. – аспирант Московского университета «Синергия», г. Москва (Россия), e-mail: stud-isakov@yandex.ru

Isakov D.F. – Postgraduate Student, Moscow University of Finance and Industry “Synergy”, Moscow (Russia), e-mail: stud-isakov@yandex.ru

Поляков Р.Н. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой мехатроники, механики и робототехники Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева, г. Орел (Россия), e-mail: stud-isakov@yandex.ru

Polyakov R.N. – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Mechatronics,

Mechanics and Robotics, Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol (Russia), e-mail: stud-isakov@yandex.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

Мальцева В.В. – студент Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск (Россия), e-mail: andreiter313@mail.ru

Maltseva V.V. – 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 управления Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск (Россия), e-mail: andreiter313@mail.ru

Oreshchenko 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

Зайцева И.В. – кандидат физико-математических наук, 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), Head of the Department of Higher Mathematics and Physics, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg (Russia), e-mail: irina.zaitseva.stv@yandex.ru

Захарова Н.И. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационных систем Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь (Россия), e-mail: nizakharova@mail.ru

Zakharova N.I. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Information Systems, North Caucasus Federal University, Stavropol (Russia), e-mail: nizakharova@mail.ru

Захаров В.В. – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информатики Ставропольского государственного аграрного университета, г. Ставрополь (Россия), e-mail: vvzakharov@mail.ru

Zakharov V.V. – Candidate of Science (Physics and Mathematics), Associate Professor, Computer Science Department, Stavropol State Agrarian University, Stavropol (Russia), e-mail: vvzakharov@mail.ru

Резеньков Д.Н. – кандидат технических наук, доцент кафедры огневой подготовки Ставропольского филиала Краснодарского университета Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Ставрополь (Россия), e-mail: drezenkov@mail.ru

Rezenkov D.N. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Firearms Training, Stavropol Branch of Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Stavropol (Russia), e-mail: drezenkov@mail.ru

FOR NOTES

COMPONENTS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROGRESS
№ 4(118) 2026
SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

Manuscript approved for print 20.04.26
Format 60.84/8
Conventional printed sheets 19,06
Published pages 10,06
200 printed copies

16+

NTF RIM LLC