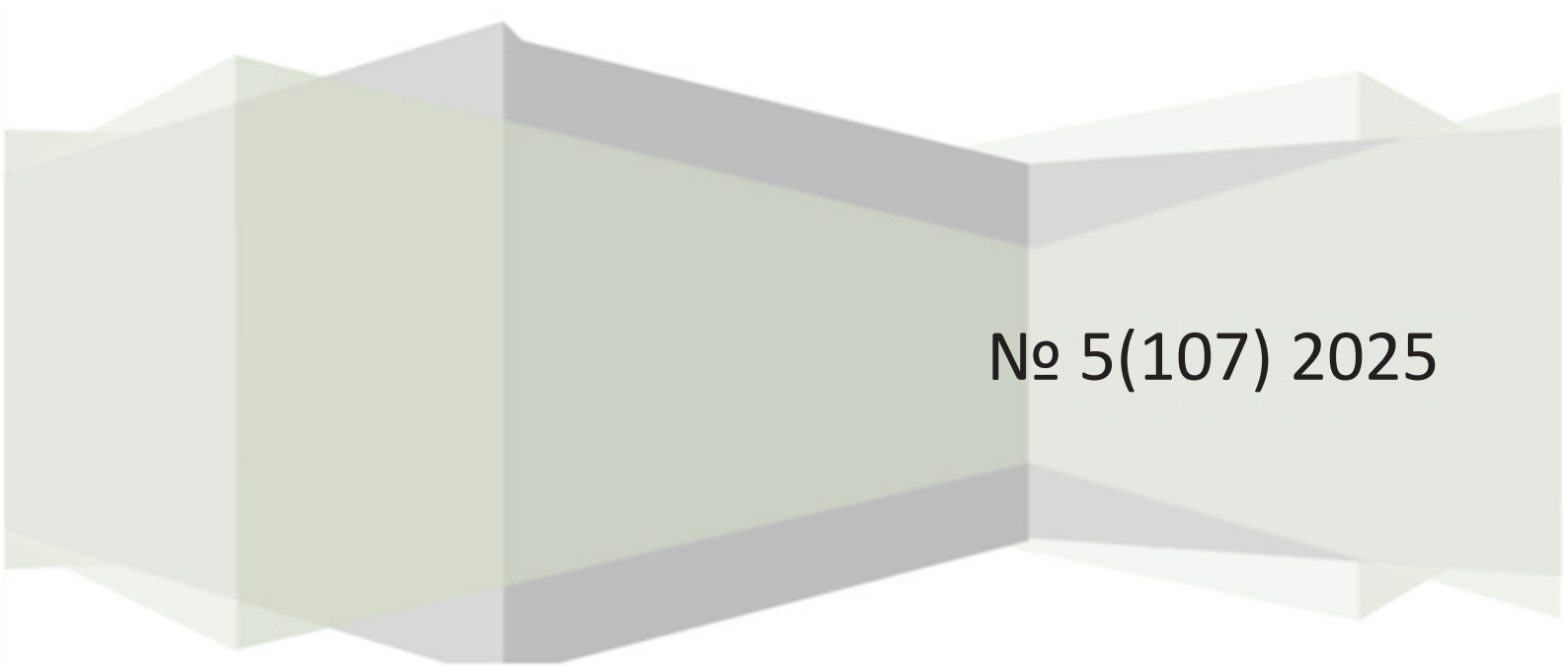


ISSN 1997-9347

Components of Scientific and Technological Progress

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL



№ 5(107) 2025

Paphos, Cyprus, 2025

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

Founder
Development Fund for Science
and Culture
Scientific news of Cyprus LTD

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
Vyacheslav Tyutyunnik

Page planner:
Oksana Muravyova

Copy editor:
Natalia Gunina

Director of public relations:
Ellada Karakasidou

Postal address:
1. In Cyprus:
8046 Atalanta court, 302
Paphos, Cyprus
2. In Russia:
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

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.: 8(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.: 8(3462)762812, E-mail: sbed@mail.ru, Russia

Voronkova Olga Vasilyevna – Doctor of Economics, Professor,
Academy of the Academy of Natural Sciences, tel.: 8(981)9720993,
E-mail: voronkova@tambov-konfcentr.ru, St. Petersburg (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.: 8(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.: 8(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.: 8(495)6074186, 8(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.: 8(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.: 8(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.: 36 303206350, 36 1 482 742; 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.: 8(921)6334832, E-mail: snbolshakov@mail.ru, Syktyvkar (Russia)

Gocłowska-Bolek Joanna – Center for Political Analysis, University of Warsaw, tel. 48691445777, E-mail: j.gocłowska-bolek@uw.edu.pl, Warsaw (Poland)

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)

Marijan Cingula – Tenured Professor, University of Zagreb, Faculty of Economics and Business, tel.: +385(95)1998925, E-mail: mcingula@efzg.hr, Zagreb (Croatia)

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)

Przygoda Mirosław – Dr. hab., Head of Institute of Economic Analysis and Planning, Department of Management, University of Warsaw, tel.: 225534167, E-mail: mirosławprzygoda@wp.pl, Warsaw (Poland)

Recker Nicholas – PhD, Associate Professor, Metropolitan State University of Denver, tel.: 3035563167, E-mail: nrecker@msudenver.edu, Denver (USA)

Содержание

Строительные конструкции, здания и сооружения

Лapidус А.А., Кротов А.Е., Субботина С.Д. Повышение производительности труда при выполнении работ по благоустройству территорий в условиях стесненности.....	8
Овечкин К.М., Зверева О.М. Преимущества таблиц выбора при создании семейств.....	16
Рудских В.А., Холодов С.П., Шаповалов А.Д., Плоп Д.А. Техничко-экономическое сравнение забивных свай и свай-РИТ в условиях города Красноярска	26

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Заварзин Н.Ю., Зубарев К.П. Обследование тепловой защиты здания	32
--	----

Технология и организация строительства

Баулин А.В., Анисимов А.А. Влияние BIM на коммуникации и взаимодействие между участниками строительного проекта: анализ изменений в организационных структурах.....	41
Баулин А.В., Анисимов А.А., Лоткин В.С. Проблемы и решения при внедрении ТИМ-технологий и цифровых двойников в существующие организационные структуры управления строительным производством.....	47
Говоруха П.А., Равочкин Д.В., Снегирев И.А. Теоретические основы повышения качества строительного процесса через улучшение сопряжения разнородных процессов.....	55
Говоруха П.А., Снегирев И.А., Равочкин Д.В. Внедрение гибких систем управления в строительном производстве.....	61
Забелина О.Б., Матевосян К.А. Системный подход к управлению ресурсами с целью предотвращения отклонений от графика СМР	66
Забелина О.Б., Мкоян З.С. Оптимизация организационно-технологических процессов в целях ускоренного строительства многоэтажных зданий	72
Кулиш Ю.А., Усадский Д.Г., Лепилов В.И. Исследование эффективности работы газовых горелок для водогрейных котлов	78
Преснов О.М., Кулеба А.С., Волков А.П., Хлыстов Д.И. Использование технологии 3D-печати бетона для строительства сооружений: возможности и вызовы	84
Шестерикова Я.В., Андрианов В.Н. Разработка математической модели оценки и планирования выполнения работ в строительстве	90

Управление жизненным циклом объектов строительства

Клеев Д.Л., Кочеткова О.А. Сотрудничество человека и искусственного интеллекта	94
---	----

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

- Бурмейстер М.В., Борис П.С., Нестеров М.Д., Маленкова Е.А., Хоркина А.А.** Исследование влияния настроечных коэффициентов системы автоматического управления силовым преобразователем на основе топологии синхронвертера 98
- Бурмейстер М.В., Борис П.С., Нестеров М.Д., Маленкова Е.А., Хоркина А.А.** Оценка настроечных коэффициентов виртуального синхронного генератора 103
- Бурмейстер М.В., Борис П.С., Нестеров М.Д., Маленкова Е.А., Хоркина А.А.** Эмпирическое определение частотного коэффициента виртуального синхронного генератора 109

Менеджмент

- Ли Синь, Цзян Ин, Силун.** Исследование истории и нынешней обстановки обучения китайских студентов в России..... 115

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

Технология и организация строительства

- Волошенко Д.Д., Преснов О.М.** Технологические инновации в строительстве подводных конструкций 122

Математические, статистические и инструментальные методы экономики

- Зайцева И.В., Захаров В.В., Куцев П.М., Скворцова О.И.** Теоретико-игровое моделирование рынка ценных бумаг в условиях неравновесного состояния 128
- Kozlov K.V.** Risk Assessment Tools in Project and Quality Management: From Checklists to HAZOP: A Comparative Review of Qualitative Risk Assessment Methods..... 133
- Манин А.Н., Вельш Д.И., Горшкова А.П., Коданев В.Л.** Гибридные методы кластеризации на основе нейросетевых и классических алгоритмов для интеллектуального анализа текстовых данных 140

Менеджмент

- Машенцева Н.Г.** Обеспечение экономической безопасности в социальной сфере Тамбовской области..... 145
- Семенова Ю.Е., Альхаджне Мохаммад Аднан Мохаммад.** Формирование и основные тренды развития рынка экологического туризма в Российской Федерации 151

Contents

Civil Structures, Buildings and Related Structures

Lapidus A.A., Krotov A.E., Subbotina S.D. Increase of Labor Productivity in the Performance of Works on Improvement of Territories in Conditions of Tightness	8
Ovechkin K.M., Zvereva O.M. Advantages of Selection Tables When Creating Families	16
Rudskikh V.A., Kholodov S.P., Shapovalov A.D., Plop D.A. Technical and Economic Comparison of Driven Piles and Piles Manufactured Using Discharge-Pulse Technology in the Conditions of Krasnoyarsk City	26

Heating, Ventilation, Air Conditioning, Gas Supply and Lighting

Zavarzin N.Y., Zubarev K.P. A Survey of the Thermal Protection of the Building	32
---	----

Construction Technology and Management

Baulin A.V., Anisimov A.A. Impact of BIM on Communications and Interactions between Construction Project Participants Analysis Of Changes in Organizational Structures.....	41
Baulin A.V., Anisimov A.A., Lotkin V.S. Problems and Solutions when Implementing Information Modeling Technologies and Digital Twins into Existing Organizational Structures of Construction Production Management	47
Govorukha P.A., Ravochkin D.V., Snegirev I.A. Theoretical Foundations for Improving the Quality of the Construction Process through the Enhancement of Heterogeneous Process Integration	55
Govorukha P.A., Snegirev I.A., Ravochkin D.V. Implementation of Flexible Management Systems in the Construction Industry	61
Zabelina O.B., Matevosyan K.A. Choosing a Method and Determining the Feasibility of Decisions When Moving Buildings	66
Zabelina O.B., Mkoyan Z.S. Optimization of Organizational and Technological Processes for Accelerated Construction of High-rise Buildings	72
Kulish Yu.A., Usadsky D.G., Lepilov V.I. Investigation of the Efficiency of Gas Burners for Hot Water Boilers	78
Presnov O.M., Kuleba A.S., Volkov A.P., Khlystov D.I. Using 3D Concrete Printing Technology for Structural Construction: Opportunities and Challenges.....	84
Shesterikova Y.V., Andrianov V.N. Development of a Mathematical Model for Estimating and Planning Construction Work	90

Life Cycle Management of Construction Objects

Kleyev D.L., Kochetkova O.A. Collaboration of Humans and Artificial Intelligence	94
---	----

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

- Burmeyster M.V., Boris P.S., Nesterov M.D., Malenkova E.A., Khorkina A.A.** Investigation of the Influence of the Tuning Coefficients of the Automatic Control System of a Power Converter Based on the Synchroverter Topology 98
- Burmeyster M.V., Boris P.S., Nesterov M.D., Malenkova E.A., Khorkina A.A.** Estimation of Tuning Coefficients of a Virtual Synchronous Generator 103
- Burmeyster M.V., Boris P.S., Nesterov M.D., Malenkova E.A., Khorkina A.A.** Empirical Determination of the Frequency Coefficient of Virtual Synchronous Generator 109

Management

- Li Xin, Jiang Ying, Xilong.** Research on the History and Current Situation of Chinese Students Studying Abroad in Russia 115

Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference SCIENCE. SOCIETY. BUSINESS

Technology and Management of Construction

- Voloshenko D.D., Presnov O.M.** Technological Innovations in the Construction of Underwater Structures 122

Mathematical, Statistical and Instrumental Methods of Economics

- Zaitseva I.V., Zakharov V.V., Kushchev P.M., Skvorcova O.I.** Game Theoretic Modeling of the Securities Market in a Non-equilibrium State 128
- Козлов К.В.** Инструменты оценки рисков в управлении проектами и качеством: от чек-листов до HAZOP: сравнительный обзор методов качественной оценки рисков 133
- Manin A.N., Velsh D.I., Gorshkova A.P., Kodanov V.L.** Hybrid Clustering Methods Based on Neural Networks and Classical Algorithms for Text Data Mining 140

Management

- Mashentseva N.G.** Ensuring Economic Security in the Social Sphere of the Tambov Region 145
- Semenova Yu.E., Alhayadzhe Mohammad Adnan Mohamad.** Formation and Main Trends in the Development of the Eco-Tourism Market in the Russian Federation 151

УДК 69

Повышение производительности труда при выполнении работ по благоустройству территорий в условиях стесненности

А.А. Лapidус, А.Е. Кротов, С.Д. Субботина

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

Ключевые слова и фразы: повышение производительности труда; благоустройство территорий в условиях стесненности; факторы, влияющие на производительность труда.

Аннотация. Целью статьи является разработка и обоснование методов и технологий, способных значительно повысить эффективность работ по благоустройству территорий в условиях стесненности. Актуальность исследования обусловлена необходимостью решения важнейших задач, связанных с рациональным использованием ресурсов, улучшением качества выполняемых работ и снижением затрат на их проведение. В ходе проведенного исследования систематизированы и проанализированы данные, касающиеся повышения производительности труда при выполнении работ по благоустройству территорий в условиях стесненности.

В условиях стремительной урбанизации и ограниченности доступного пространства вопрос повышения производительности труда при выполнении работ по благоустройству территорий становится особенно актуальным [1–2]. Благоустройство общественных и частных пространств не только влияет на качество жизни населения, но и является важным фактором устойчивого развития городской инфраструктуры [3]. Однако выполнение таких работ в условиях стесненности часто сопряжено с рядом трудностей, включая ограниченное пространство для маневра и необходимость соблюдения строгих стандартов по безопасности и экологии. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых подходов и методов, способствующих оптимизации процессов благоустройства, что, в свою очередь, напрямую связано с повышением производительности труда.

Основной проблемой, которую необходимо разрешить, является недостаток комплексных подходов к управлению ресурсами и оптимизации трудовых процессов [4]. Особенно это актуально в условиях стесненности. Прежние исследования в этой области часто ограничивались частичными решениями, не учитывающих всех аспектов проблемы. В данной статье предлагается комплексный подход, который включает в себя как

технические, так и организационные меры, направленные на повышение производительности труда.

Целью статьи является разработка и обоснование методов и технологий, способных значительно повысить эффективность работ по благоустройству территорий в условиях стесненности. Актуальность исследования обусловлена необходимостью решения важнейших задач, связанных с рациональным использованием ресурсов, улучшением качества выполняемых работ и снижением затрат на их проведение [5].

Классическое определение производительности труда описывает ее как количество произведенной продукции в течение определенного времени. Количество произведенной продукции напрямую зависит от качества применяемых материалов, используемых технологий, проектных решений, квалификации исполнителей и наличия осложняющих производство барьеров.

Производительность труда – это безразмерная единица, являющаяся результатом комбинации элементов, а затем факторов и их характеристик, формирующих математическую модель. Также она может выражаться в физических единицах натуральных объемов продукции, произведенной за определенный промежуток времени – рабочую смену, сутки, месяц или год.

Комплексная оценка производительности работ включает несколько существенных направлений влияния. Основными из них являются: создание прозрачной системы регулирования строительной сферы, развитие системы контрактации, совершенствование производственных процессов на всех стадиях существования объекта, оптимизация материально-технического снабжения, внедрение современного проектного менеджмента, цифровизация строительных и производственных процессов, а также систематическое развитие компетенций работников всех уровней.

Одним из ключевых аспектов является использование современных технологий для повышения эффективности работ по благоустройству; в предыдущих исследованиях были рассмотрены возможности применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга и оценки состояния территорий и проанализировано влияние цифровых технологий на управление ресурсами в условиях стесненности. Авторы утверждают, что использование БПЛА позволяет значительно сократить время и затраты на проведение работ, а внедрение цифровых платформ и систем автоматизации способствует более эффективному распределению ресурсов и повышению производительности труда [6].

Важным аспектом является также организационная составляющая. В существующей литературе рассмотрены методы оптимизации трудовых процессов, включая использование линейного балансирования и методов сетевого планирования, и проанализировано влияние мотивации работников на производительность труда [7]. Специалисты утверждают, что правильное планирование и координация работ позволяют значительно повысить эффективность их выполнения, кроме того, они подчеркивают, что создание благоприятной рабочей среды и использование систем мотивации способствуют повышению эффективности работы.

Особое внимание в литературе уделяется вопросам экологической устойчивости и рационального использования ресурсов [8]. Эксперты рассматривают методы экологического мониторинга и управления отходами при выполнении работ по благоустройству и анализируют влияние урбанизации на экологическую устойчивость.

Несмотря на значительные достижения в области исследований, существует ряд нерешенных вопросов, которые требуют дальнейшего изучения. В частности, необходимо

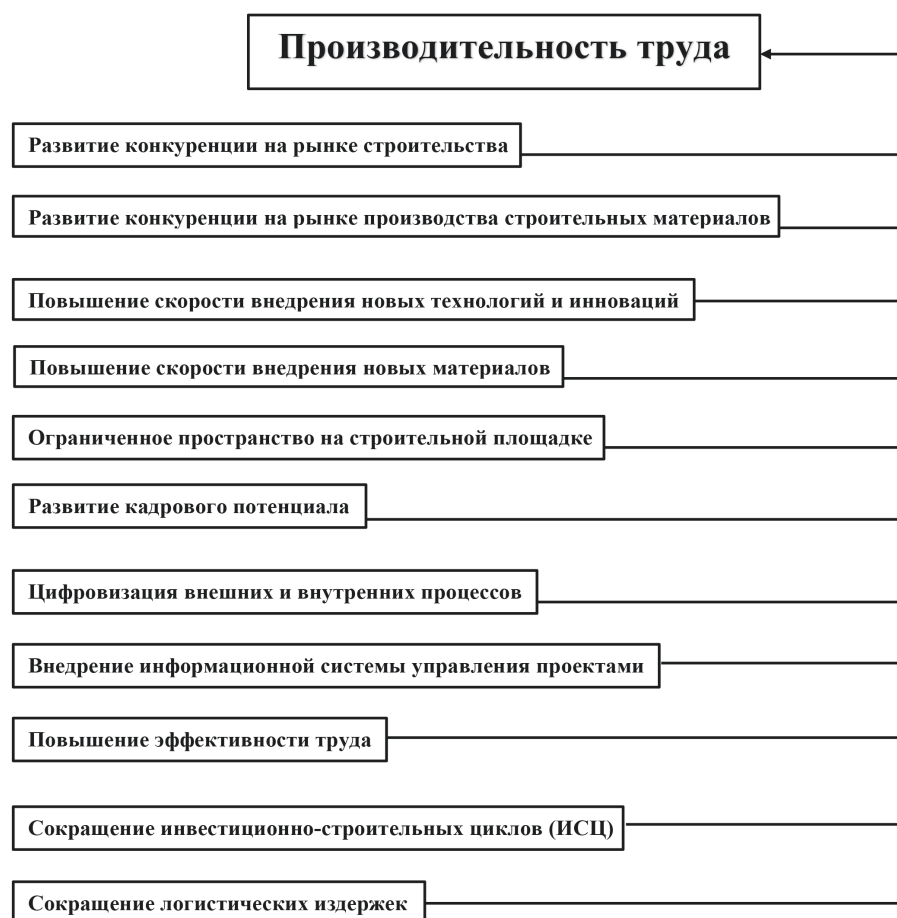


Рис. 1. Факторы, влияющие на производительность труда

более детально исследовать влияние внедрения новых технологий на экологическую устойчивость и качество выполняемых работ. В работах отмечается, что существующие методы могут быть дополнены новыми подходами, которые позволят более эффективно использовать ресурсы и повысить производительность труда.

Сравнение взглядов различных авторов позволяет выделить основные направления исследований и проблемы, которые требуют дальнейшего изучения.

Таким образом, обзор литературы показывает, что повышение производительности труда при выполнении работ по благоустройству территорий в условиях стесненности является многогранной проблемой, требующей комплексного подхода. Необходимо учитывать как технические, так и организационные аспекты, а также вопросы экологической устойчивости и рационального использования ресурсов.

Формирование факторов, влияющих на производительность труда, приводит к созданию пересекающихся множеств.

В ходе проведенного исследования были систематизированы и проанализированы данные, касающиеся повышения производительности труда при выполнении работ по благоустройству территорий в условиях стесненности. Результаты исследования представлены в виде аналитического и статистического материала, который позволяет проследить этапы исследования и оценить обоснованность сделанных выводов.

Таблица 1. Оценка весов и ранжирование факторов

Фактор	Вес	Ранг
Развитие конкуренции на рынке строительства	0,15	1
Развитие конкуренции на рынке материалов	0,12	2
Повышение скорости внедрения технологий	0,14	3
Повышение скорости внедрения материалов	0,10	4
Ограниченное пространство на строительной площадке	0,09	5
Развитие кадрового потенциала	0,13	6
Цифровизация процессов	0,11	7
Внедрение информационной системы управления	0,10	8
Повышение эффективности труда	0,09	9
Сокращение ИСЦ	0,08	10
Сокращение логистических издержек	0,08	11

Этап 1. Формирование факторов, оказывающих влияние на производительность труда

На первом этапе исследования были определены основные факторы, влияющие на производительность труда при выполнении работ по благоустройству территорий (рис. 1).

Эти факторы были отобраны на основе анализа литературы и экспертных оценок, что позволило создать открытый перечень, который можно дополнять на последующих этапах исследования.

Этап 2. Оценка весов и ранжирование факторов

На втором этапе были оценены веса и ранжированы факторы, влияющие на производительность труда. Для этого использовались методы экспертных оценок и статистического анализа. Результаты оценки представлены в табл. 1.

Этап 3. Формирование параметров, влияющих на факторы

На третьем этапе были определены параметры, влияющие на вышеуказанные факторы (рис. 2).

Этап 4. Оценка весов и ранжирование параметров

На четвертом этапе были оценены веса и ранжированы параметры, влияющие на факторы. Результаты оценки представлены в табл. 2.

Этап 5. Создание аналитической модели производительности труда

На пятом этапе была создана аналитическая модель производительности труда, учитывающая формирующие ее факторы и влияющие на них параметры. Модель позволила оценить влияние различных факторов на производительность труда и прогнозировать изменения при трансформации параметров.

Этап 6. Расчет производительности труда

На шестом этапе был проведен расчет производительности труда на основе созданной аналитической модели. Результаты расчетов показали, что внедрение новых технологий и методов управления ресурсами позволяет значительно повысить производительность труда. Например, повышение уровня квалификации работников и доступность новых технологий оказали наибольшее влияние на производительность труда.

Этап 7. Корректировка параметров и факторов

На седьмом этапе были проведены корректировки параметров и факторов, направленные на повышение производительности труда. Корректировки включали оптимизацию



Рис. 2. Параметры, влияющие на факторы

Таблица 2. Оценка весов и ранжирование параметров

Параметр	Вес	Ранг
Уровень квалификации работников	0,18	1
Доступность новых технологий	0,16	2
Стоимость материалов	0,15	3
Эффективность логистики	0,14	4
Уровень автоматизации процессов	0,13	5

логистических процессов, внедрение цифровых технологий и повышение квалификации работников. Результаты корректировок показали, что эти меры позволяют достичь значительного увеличения производительности труда.

В результате проведенного исследования была доказана рабочая гипотеза о том, что комплексный подход, включающий внедрение новых технологий и методов управления ресурсами, позволяет значительно повысить производительность труда при выполнении работ по благоустройству территорий в условиях стесненности.

Проведенное исследование позволило выявить ключевые факторы и параметры, влияющие на производительность труда при выполнении работ по благоустройству территорий в условиях стесненности. Основные результаты исследования подтверждают, что комплексный подход, включающий внедрение новых технологий и методов управления ресурсами, способствует значительному повышению производительности труда.

В ходе исследования были определены и ранжированы основные факторы. Анализ показал, что эти факторы оказывают существенное влияние на производительность труда. Были также определены параметры, влияющие на эти факторы.

Созданная аналитическая модель производительности труда позволила оценить влияние различных факторов и прогнозировать изменения при преобразовании параметров. Расчеты показали, что внедрение новых технологий и методов управления ресурсами позволяет значительно повысить производительность труда. Например, повышение уровня квалификации работников и доступность новых технологий оказали наибольшее влияние на производительность труда.

Таким образом, достигнута поставленная цель исследования – разработка и обоснование методов и технологий, способных значительно повысить эффективность работ

по благоустройству территорий в условиях стесненности. Полученные результаты имеют практическую значимость и могут быть использованы для разработки рекомендаций по повышению производительности труда в данной области.

Для дальнейшего повышения производительности труда при выполнении работ по благоустройству территорий в стесненных условиях рекомендуется:

- продолжать внедрение новых технологий и инноваций;
- повышать уровень квалификации работников;
- оптимизировать складирование материалов;
- оптимизировать логистические процессы;
- внедрять цифровые технологии и системы автоматизации;
- развивать кадровый потенциал и мотивацию работников;
- наметить перспективы дальнейших исследований.

Прогнозируется, что с развитием технологий и улучшением методов управления ресурсами производительность труда при выполнении работ по благоустройству территорий будет постепенно повышаться. Внедрение новых технологий и инноваций, а также оптимизация трудовых процессов будут способствовать улучшению качества выполняемых работ и повышению эффективности использования ресурсов. Это, в свою очередь, будет способствовать улучшению качества городской среды и повышению уровня жизни населения.

Литература

1. Лapidус, А.А. Особенности организации строительства при комплексном развитии городских территорий / А.А. Лapidус, Т.Х. Бидов, В.С. Лоткин // Известия Тульского государственного университета. – Серия: Технические науки. – 2024. – № 4. – С. 238–242. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-4-238-239.
2. Лapidус, А.А. Метод повышения производительности труда в строительстве / А.А. Лapidус // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19. – Вып. 8. – С. 1365–1372. – DOI: 10.22227/1997-0935.2024.8.1365-1372.
3. Хубаев, А.О. Повышение эффективности производства геодезических работ с применением беспилотных летательных аппаратов / А.О. Хубаев, Н.В. Макаев, Н.В. Шевченко // Известия Тульского государственного университета. – Серия: Технические науки. – 2024. – № 2. – С. 412–418. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-412-413.
4. Бидов, Т.Х. Методика оценки факторов, влияющих на эффективность реализации строительного проекта генподрядной организацией в направлении Fit-out / Т.Х. Бидов, А.О. Хубаев, Е.А. Помятко, А.Д. Котельникова // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19. – № 9. – С. 1562–1569. – DOI:10.22227/1997-0935.2024.9.1562-1569.
5. Бидов, Т.Х. Особенности разработки проекта организации строительства для объектов жилого назначения в рамках программы реновации / Т.Х. Бидов, Р.С. Фатуллаев, А.О. Хубаев [и др.] // Строительное производство. – 2022. – № 4. – С. 100–105. – DOI:10.54950/26585340_2022_4_100. – EDN OVKEKE.
6. Ельников, Д.Д. Оценка влияния комплексного обследования технического состояния здания на примере объекта культурного наследия / Д.Д. Ельников, Я.В. Шестерикова, Т.Х. Бидов, Р.С. Фатуллаев // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 6(84). – С. 14–18. – EDN GWGKLN.
7. Лapidус, А.А. Формирование производственно-технологических модулей, обосновывающих использование методов неразрушающего контроля при возведении монолит-

ных конструкций гражданских зданий / А.А. Лapidус, Т.Х. Бидов // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 1(91). – С. 36–39. – EDN ZDOIOT.

8. Хубаев, А.О. Организационно-технологический потенциал использования методов неразрушающего контроля при производстве бетонных работ в зимний период / А.О. Хубаев, Т.Х. Бидов // Наука и бизнес: пути развития. – 2018. – № 4(82). – С. 101–104. – EDN OUOHIL.

References

1. Lapidus, A.A. Osobennosti organizatsii stroitelstva pri kompleksnom razvitii gorodskikh territorii / A.A. Lapidus, T.Kh. Bidov, V.S. Lotkin // Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. – Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 4. – S. 238–242. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-4-238-239.

2. Lapidus, A.A. Metod povysheniia proizvoditelnosti truda v stroitelstve / A.A. Lapidus // Vestnik MGSU. – 2024. – T. 19. – Vyp. 8. – S. 1365–1372. – DOI: 10.22227/1997-0935.2024.8.1365-1372.

3. Khubaev, A.O. Povysheenie effektivnosti proizvodstva geodezicheskikh rabot s primeneniem bespilotnykh letatelnykh apparatov / A.O. Khubaev, N.V. Makaev, N.V. Shevchenko // Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. – Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 2. – S. 412–418. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-412-413.

4. Bidov, T.Kh. Metodika otsenki faktorov, vliiaushchikh na effektivnost realizatsii stroitel'nogo proekta genpodriadnoi organizatsiei v napravlenii Fit-out / T.Kh. Bidov, A.O. Khubaev, E.A. Pomytko, A.D. Kotelnikova // Vestnik MGSU. – 2024. – T. 19. – № 9. – S. 1562–1569. – DOI: 10.22227/1997-0935.2024.9.1562-1569.

5. Bidov, T.Kh. Osobennosti razrabotki proekta organizatsii stroitelstva dlia obektov zhilogo naznacheniia v ramkakh programmy renovatsii / T.Kh. Bidov, R.S. Fatullaev, A.O. Khubaev [i dr.] // Stroitel'noe proizvodstvo. – 2022. – № 4. – S. 100–105. – DOI: 10.54950/26585340_2022_4_100. – EDN OVKEKE.

6. Elnikova, D.D. Otsenka vliianiia kompleksnogo obsledovaniia tekhnicheskogo sostoiianiia zdaniia na primere obekta kulturnogo naslediia / D.D. Elnikova, Ia.V. Shesterikova, T.Kh. Bidov, R.S. Fatullaev // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 6(84). – S. 14–18. – EDN GWGKLN.

7. Lapidus, A.A. Formirovanie proizvodstvenno-tekhnologicheskikh modulei, obosnovyvaiushchikh ispolzovanie metodov nerazrushaiushchego kontroliia pri vozvedenii monolitnykh konstrukttsii grazhdanskikh zdanii / A.A. Lapidus, T.Kh. Bidov // Nauka i biznes: puti razvitiia. – 2019. – № 1(91). – S. 36–39. – EDN ZDOIOT.

8. Khubaev, A.O. Organizatsionno-tekhnologicheskii potentzial ispolzovaniia metodov nerazrushaiushchego kontroliia pri proizvodstve betonnykh rabot v zimnii period / A.O. Khubaev, T.Kh. Bidov // Nauka i biznes: puti razvitiia. – 2018. – № 4(82). – S. 101–104. – EDN OUOHIL.

Increase of Labor Productivity in the Performance of Works on Improvement of Territories in Conditions of Tightness

A.A. Lapidus, A.E. Krotov, S.D. Subbotina

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

Key words and phrases: increase of labor productivity; improvement of territories in conditions of tightness; factors affecting labor productivity.

Abstract. The aim of the article is to develop and substantiate methods and technologies that can significantly increase the efficiency of landscaping works in cramped conditions. The relevance of the study is due to the need to solve the most important problems associated with the rational use of resources, improving the quality of work performed and reducing the cost of their implementation. In the course of the conducted research the data concerning the increase of labor productivity in the performance of works on improvement of territories in conditions of tightness have been systematized and analyzed.

© A.A. Лapidус, A.E. Кротов, С.Д. Субботина, 2025

УДК 69

Преимущества таблиц выбора при создании семейств

К.М. Овечкин, О.М. Зверева

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург (Россия)*

Ключевые слова и фразы: семейства; таблица выбора; программный комплекс.

Аннотация. Цель: оценить возможные проблемы при создании семейств, изучить правила заполнения таблицы выбора и сформировать таблицу выбора с параметрами. Задачи: оценить программные комплексы, в которых возможно создавать семейства, составить таблицу выбора с параметрами и подгрузить ее в семейство. Гипотеза: использование таблицы выбора позволяет быстрее создать семейство и делает его более компактным для пользователя. Методы: эмпирические, теоретические, такие как сравнение, анализ, материальное моделирование. Достигнутые результаты: проанализированы возможные программные комплексы, в которых можно создавать семейства, изучены методы формирования таблицы выбора, использование таблицы выбора в семействе.

Введение

Одна из основных задач инженера-проектировщика – точно и быстро воссоздать информационную модель исходя из строительного задания. Для эффективного выполнения этой задачи можно использовать ТИМ. ТИМ – это методология, которая позволяет создавать ИМ здания или инфраструктурного объекта. С помощью ТИМ можно не только проектировать и визуализировать объект, но и рассчитывать количество материалов, необходимых для постройки данного объекта.

Для точного и быстрого построения модели используют системные семейства в программном комплексе; в данных семействах уже прописаны формулы для подсчета массы, будь это арматурный стержень или объем, если это какой-нибудь бетонный объект.

Но, как правило, системных семейств бывает недостаточно, и инженеры-проектировщики либо сами моделируют нужный им объект, а все необходимые объемы для ведомости объемов работ (**ВОР**) прописывают в спецификации вручную, либо используют более правильный метод, который заключается в создании нового семейства, в котором задают все его геометрические характеристики и прописывают все формулы для подсчета материалов [2].

Целью данного исследования является создание семейства закладного изделия, которое ускорит работу сотрудников при проектировании новых объектов.

Оценка программных комплексов, в которых могут создаваться семейства

В мире архитектурного проектирования не существует универсального решения, которое бы решало все возникающие задачи. Однако сочетание разнообразных систем автоматизированного проектирования (**САПР**) на одной информационной платформе с помощью двусторонней интеграции позволяет покрыть весь спектр необходимых функций. Давайте сравним некоторые программные продукты, выделим их сильные и слабые стороны.

Revit

Преимущества:

- высокая популярность на рынке;
- идеальное сочетание с другими продуктами Autodesk;
- поддержка интегрированного процесса проектирования в окружении для коллективной работы;
- проектирование инженерных систем (Revit MEP);
- эффективное представление проектов;
- большой набор готовых элементов (семейств), включая стены, элементы фундаментных блоков (**ФБС**) и электрические розетки;
- удобство настройки библиотечных элементов без необходимости программирования.

Недостатки:

- сложность интерфейса и большое количество функций для начинающих;
- лицензирование только для Windows, что исключает использование на Mac;
- необходимость создания и настройки семейств для собственных задач, что занимает много времени;
- неполная многопоточность программы, требующая мощного процессора;
- большой размер файлов [3].

ArchiCAD

Преимущества:

- интуитивно понятный интерфейс, удобный для начинающих;
- хорошая русификация и наличие подробного русскоязычного руководства;
- обучающие материалы, разработанные компанией GRAPHISOFT, предназначены для студентов, новичков и профессионалов;
- версии для ОС Windows и Mac;
- развитая поддержка IFC для межплатформенного обмена данными на уровне информационного моделирования зданий;
- высокий уровень визуализации;
- быстрое развитие функционала, появление новых команд и возможностей для расчетов, проектирования и моделирования.

Недостатки:

- недостаточное количество параметрических GDL объектов по умолчанию;
- некоторые расширения не получают должного обновления [3].

Tekla Structures

Преимущества:

- специализация в проектировании конструкций, особенно в сложных проектах, где важна высокая точность;
- возможность работы со сложными геометриями и создание детализированных 3D-моделей;
- поддержка различных материалов, таких как сталь, бетон, дерево и композитные материалы;
- интеграция с другими решениями Trimble и сторонним программным обеспечением для улучшения обмена данными и сотрудничества;
- возможность настройки и написания скриптов под конкретные требования проекта.

Недостатки:

- сложный интерфейс, требующий дополнительного времени на изучение;
- отсутствие широких архитектурных и **MEP**-возможностей, что делает ее менее подходящей для междисциплинарных проектов;
- высокая стоимость, что может быть проблемой для небольших фирм и проектов;
- требования к мощному оборудованию, особенно для работы с большими и сложными моделями;
- проблемы с производительностью, такие как медленная обработка при работе с крупными моделями.

Исходя из вышеописанных достоинств и недостатков, создание таблицы выбора лучше всего будет вести в Autodesk Revit [4].

Анализ возможных проблем при создании семейств

При создании семейства важно учитывать несколько факторов. Во-первых, следует правильно выбрать версию *Revit*; обычно для создания семейств используют *Revit* 2019 г., потому что в нем, исходя из сравнения с 2022-й и 2023-й версиями, меньше всего ошибок, связанных с привязками и с зависаниями системы.

Во-вторых, если семейство было создано в *Revit* 2019, то оно спокойно откроется, как в 2022-й, так и в 2023-й версиях, но если семейство было создано в *Revit* 2023, то его невозможно будет импортировать в версии ниже и придется создавать семейство заново уже в другой версии (рис. 1).

В-третьих, важно правильно привязывать элементы друг к другу и стараться обходиться меньшим количеством привязок, потому что если использовать большее количество размерных линий, то система может попросту зависнуть. Помимо того что семейство может зависнуть, нужно понимать, что его может дорабатывать другой человек, и следует создать ему максимально комфортную среду, для того чтобы он сразу смог разобраться, что к чему привязано (рис. 2).

В-четвертых, нужно правильно присваивать имена параметрам, которые будут учитываться при попадании в спецификации, если это прописано в правилах компании: все семейства, которые уже есть в проектах, попадают в спецификацию по конкретным параметрам, например масса или количество, поэтому если называть параметры без каких-либо правил, то после создания семейство вряд ли попадет в какую-либо спецификацию и придется переделывать имена параметров.

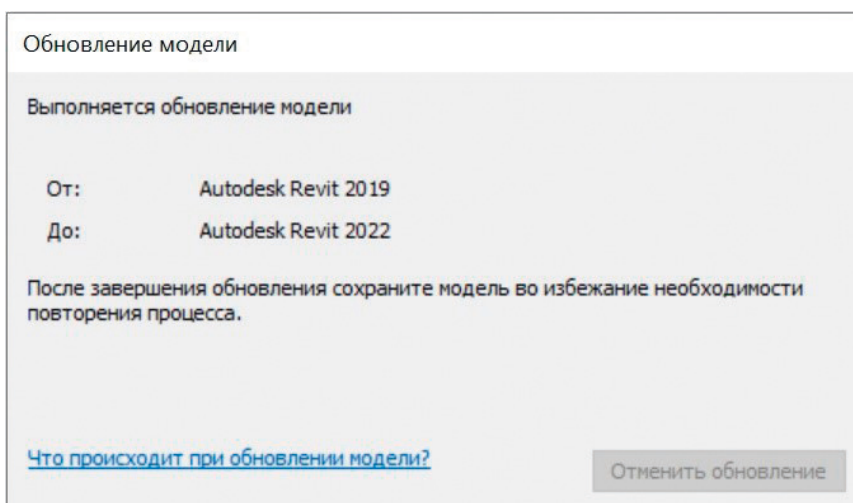


Рис. 1. Обновление семейства с 2019 до 2022-й версии

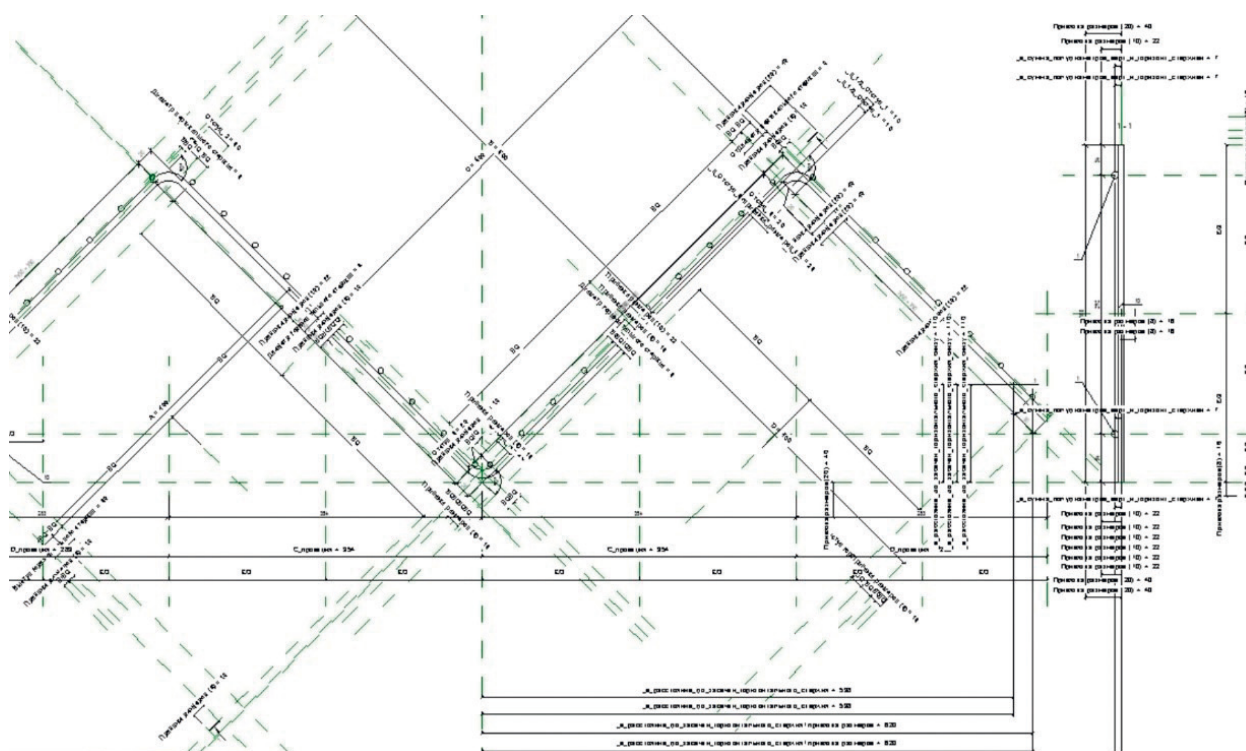


Рис. 2. Пример неправильных привязок в семействе

Преимущества таблицы выбора

Существует несколько способов в создании семейства, у которых будут меняться параметры:

- создание таблицы выбора;
- создание множества типов.

Таблица выбора – это отдельно от Revit созданная таблица в Microsoft Excel, в которой прописываются все имена параметров и их значения для каждого номера

№	А	В	С	Д	Е	Г	З	И
1	Плита закладная 01 ОСТ 34-10-468-89	468	1	Плита закладная 01 ОСТ 34-10-468-89	ОСТ 34-10-468-89	200	170	15
2	Плита закладная 02 ОСТ 34-10-468-89	468	2	Плита закладная 02 ОСТ 34-10-468-89	ОСТ 34-10-468-89	250	180	20
3	Плита закладная 03 ОСТ 34-10-468-89	468	3	Плита закладная 03 ОСТ 34-10-468-89	ОСТ 34-10-468-89	250	230	45
4	Плита закладная 04 ОСТ 34-10-468-89	468	4	Плита закладная 04 ОСТ 34-10-468-89	ОСТ 34-10-468-89	330	230	45
5	Плита закладная 05 ОСТ 34-10-468-89	468	5	Плита закладная 05 ОСТ 34-10-468-89	ОСТ 34-10-468-89	380	180	20
6	Плита закладная 06 ОСТ 34-10-468-89	468	6	Плита закладная 06 ОСТ 34-10-468-89	ОСТ 34-10-468-89	450	180	20
7	Плита закладная 07 ОСТ 34-10-468-89	468	7	Плита закладная 07 ОСТ 34-10-468-89	ОСТ 34-10-468-89	530	180	20
8	Плита закладная 08 ОСТ 34-10-468-89	468	8	Плита закладная 08 ОСТ 34-10-468-89	ОСТ 34-10-468-89	580	180	20
9	Плита закладная 09 ОСТ 34-10-468-89	468	9	Плита закладная 09 ОСТ 34-10-468-89	ОСТ 34-10-468-89	630	180	20
10	Плита закладная 10 ОСТ 34-10-468-89	468	10	Плита закладная 10 ОСТ 34-10-468-89	ОСТ 34-10-468-89	720	180	20
11	Плита закладная 01 ОСТ 34-10-469-89	469	1	Плита закладная 01 ОСТ 34-10-469-89	ОСТ 34-10-469-89	200	110	10
12	Плита закладная 02 ОСТ 34-10-469-89	469	2	Плита закладная 02 ОСТ 34-10-469-89	ОСТ 34-10-469-89	250	115	15
13	Плита закладная 03 ОСТ 34-10-469-89	469	3	Плита закладная 03 ОСТ 34-10-469-89	ОСТ 34-10-469-89	250	180	80
14	Плита закладная 04 ОСТ 34-10-469-89	469	4	Плита закладная 04 ОСТ 34-10-469-89	ОСТ 34-10-469-89	350	110	10
15	Плита закладная 05 ОСТ 34-10-469-89	469	5	Плита закладная 05 ОСТ 34-10-469-89	ОСТ 34-10-469-89	310	220	20
16	Плита закладная 06 ОСТ 34-10-469-89	469	6	Плита закладная 06 ОСТ 34-10-469-89	ОСТ 34-10-469-89	400	220	20
17	Плита закладная 07 ОСТ 34-10-469-89	469	7	Плита закладная 07 ОСТ 34-10-469-89	ОСТ 34-10-469-89	450	220	20
18	Плита закладная 08 ОСТ 34-10-469-89	469	8	Плита закладная 08 ОСТ 34-10-469-89	ОСТ 34-10-469-89	470	220	20
19	Плита закладная 09 ОСТ 34-10-469-89	469	9	Плита закладная 09 ОСТ 34-10-469-89	ОСТ 34-10-469-89	560	220	20
20	Плита закладная УТ3-309045 СБ	45	0	Плита закладная УТ3-309045 СБ	УТ3-309045 СБ	200	110	10
21	Плита закладная УТ3-309045-1 СБ	45	1	Плита закладная УТ3-309045-1 СБ	УТ3-309045-1 СБ	250	115	15
22	Плита закладная УТ3-309045-2 СБ	45	2	Плита закладная УТ3-309045-2 СБ	УТ3-309045-2 СБ	250	180	80
23	Плита закладная УТ3-309045-3 СБ	45	3	Плита закладная УТ3-309045-3 СБ	УТ3-309045-3 СБ	350	110	10
24	Плита закладная УТ3-309050 СБ	50	0	Плита закладная УТ3-309050 СБ	УТ3-309050 СБ	310	220	20
25	Плита закладная УТ3-309050-1 СБ	50	1	Плита закладная УТ3-309050-1 СБ	УТ3-309050-1 СБ	400	220	20
26	Плита закладная УТ3-309050-2 СБ	50	2	Плита закладная УТ3-309050-2 СБ	УТ3-309050-2 СБ	450	220	20
27	Плита закладная УТ3-309050-3 СБ	50	3	Плита закладная УТ3-309050-3 СБ	УТ3-309050-3 СБ	470	220	20
28	Плита закладная УТ3-309050-4 СБ	50	4	Плита закладная УТ3-309050-4 СБ	УТ3-309050-4 СБ	580	220	20
29	Плита закладная УТ3-309110 СБ	110	0	Плита закладная УТ3-309110 СБ	УТ3-309110 СБ	200	170	15
30	Плита закладная УТ3-309110-1 СБ	110	1	Плита закладная УТ3-309110-1 СБ	УТ3-309110-1 СБ	250	180	20
31	Плита закладная УТ3-309110-2 СБ	110	2	Плита закладная УТ3-309110-2 СБ	УТ3-309110-2 СБ	250	230	45
32	Плита закладная УТ3-309110-3 СБ	110	3	Плита закладная УТ3-309110-3 СБ	УТ3-309110-3 СБ	330	230	45
33	Плита закладная УТ3-309111 СБ	111	0	Плита закладная УТ3-309111 СБ	УТ3-309111 СБ	380	180	20
34	Плита закладная УТ3-309111-1 СБ	111	1	Плита закладная УТ3-309111-1 СБ	УТ3-309111-1 СБ	450	180	20
35	Плита закладная УТ3-309111-2 СБ	111	2	Плита закладная УТ3-309111-2 СБ	УТ3-309111-2 СБ	530	180	20
36	Плита закладная УТ3-309111-3 СБ	111	3	Плита закладная УТ3-309111-3 СБ	УТ3-309111-3 СБ	580	180	20
37	Плита закладная УТ3-309111-4 СБ	111	4	Плита закладная УТ3-309111-4 СБ	УТ3-309111-4 СБ	630	180	20
38	Плита закладная УТ3-309111-5 СБ	111	5	Плита закладная УТ3-309111-5 СБ	УТ3-309111-5 СБ	720	180	20

Рис. 3. Часть заполненной таблицы выбора

Строительство

Номер серии

468

Номер закладной по серии

9

Текст

Наименование

Плита закладная 09 ОСТ ...

Обозначение

ОСТ 34-10-468-89

Рис. 4. Параметры для поиска значения из таблицы выбора

Колонна прямоугольного сечения
457 x 475 мм

Поиск

Колонна прямоугольного сечения

457 x 475 мм

475 x 610 мм

610 x 610 мм

Последние использованные типы

Колонна прямоугольного сечения : 457 x 475 мм

Рис. 5. Пример создания множества типов

закладной; после создания данной таблицы она подгружается в Revit, и в семействе нужно будет сформировать несколько ключевых параметров, которые будут искать в данной таблице нужную строку со всеми параметрами, после чего они будут применены для размеров в качестве меток и получится соответствующая закладная (рис. 3). То есть таблицы выбора удобны тем, что, зная одно или несколько значений, мы можем получить все остальные (рис. 4).

Создание различных типов заключается в том, что мы каждый размер вводим руками и сохраняем его как тип, таким образом, у нас получится большой список выбора (рис. 5).

Разберем преимущества и недостатки этих двух вариантов.

Создание таблицы выбора

Преимущества:

- легкость действий для пользователя (нужно поменять значения управляющих параметров, и все значения у семейства поменяются);
- отсутствие длинного списка типов, в котором необходимо будет искать нужное семейство;
- возможность изменения формы элементов в зависимости от управляющих параметров;
- возможность скрытия любого элемента в зависимости от управляющего параметра.

Недостатки:

- необходимо потратить время на создание таблицы в Excel;
- трудность в ориентировании в данной таблице, если параметров будет много.

Создание множества типов

Преимущества:

- возможность быстро создавать типы простой сменой размеров параметров.

Недостатки:

- появляется большой список у пользователя, в котором трудно будет найти нужный тип;
- нет возможности в типах менять форму у каких-либо элементов;
- нет возможности скрытия элементов при создании типов.

Таким образом, если нам нужно создать семейство, в котором будет множество типов и есть элементы, которые от типа к типу будут скрываться или менять свою форму, то нам поможет только создание таблицы выбора; но если у нас будет мало типов и ничего не нужно скрывать, то можно создать пару типов и не тратить время на создание таблицы выбора.

Правила при создании таблицы выбора

Создавать таблицу будем в Microsoft Excel, а потом сохранять ее в CSV и подгружать в Revit.

Условно таблицу можно разделить на 2 зоны: первая строка содержит имена параметров и их типы данных с единицами измерений, все последующие – строки с информацией по конкретным типоразмерам (рис. 6).

Разберем, что такое тип данных рядом с именем параметра. Каждый параметр имеет различный тип счисления, будь то текст, целое число, угол или площадь, поэтому,

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		DN##PIP E_SIZE# #MILLIM ETERS	d##LENG TH##MIL LIMETER S	U##ANGL E##DECI MAL DEGREE S	D##LEN GTH##MI LLIMETE RS	Z##LENG TH##MIL LIMETER S	L##LENG TH##MIL LIMETER S	M##NUM BER##G ENERAL	Name##OTHER##
2	350697	65	76.1	90	87.12	44	97	2.07	Отвод 90° Sanpress XL DN 65 (d 76.1)
3	350680	80	88.9	90	100	67	120	2.67	Отвод 90° Sanpress XL DN 80 (d 88.9)
4	350703	100	108	90	119	77	140	3.845	Отвод 90° Sanpress XL DN 100 (d 108)
5	351342	65	76.1	45	87.12	30	83	1.815	Отвод 45° Sanpress XL DN 65 (d 76.1)
6	351359	80	88.9	45	100	32	85	2.16	Отвод 45° Sanpress XL DN 80 (d 88.9)
7	351366	100	108	45	119	36	99	2.979	Отвод 45° Sanpress XL DN 100 (d 108)

Рис. 6. Разделение таблицы выбора на зоны

Type of parametr (ENG)	Type of parametr (RUS)	Database Identifiers
Text	Текст	##OTHER##
Integer	Целое	##NUMBER##GENERAL
Angle	Угол	##ANGLE##DEGREES
Area	Площадь	##AREA##SQUARE_METERS
Cost per Area	Стоимость на единицу площади	##COST_PER_AREA##COST_PER_SQUARE_FOOT
Distance	Расстояние	##DISTANCE##FEET
Length	Длина	##LENGTH##MILLIMETERS
Mass Density	Массовая плотность	##MASS_DENSITY##KILOGRAMS_PER_CUBIC_METER
Number	Количество/Число	##NUMBER##GENERAL
Rotation Angle	Угол поворота	##ROTATION_ANGLE##DEGREES
Slope	Уклон	##SLOPE##SLOPE_DEGREES
Speed	Скорость	##SPEED##KILOMETERS_PER_HOUR
Time	Время	##TIMEINTERVAL##SECONDS
Volume	Объем	##VOLUME##CUBIC_METERS
Currency	Денежная единица	##CURRENCY##CURRENCY
URL	URL	##OTHER##
Material	Материал	##OTHER##
Image	Изображение	##OTHER##
Yes/No	Да/Нет	##NUMBER##GENERAL
Multiline Text	Многострочный текст	##OTHER##
<Family Type...>	Типоразмер семейства	##OTHER##

Рис. 7. Все типы данных для таблицы выбора

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		DN##PIP E_SIZE# #MILLIM ETERS	d##LENG TH##MIL LIMETER S	U##ANGL E##DECI MAL DEGREE S	D##LEN GTH##MI LLIMETE RS	Z##LENG TH##MIL LIMETER S	L##LENG TH##MIL LIMETER S	M##NUM BER##G ENERAL	Name##OTHER##
2	350697	65	76.1	90	87.12	44	97	2.07	Отвод 90° Sanpress XL DN 65 (d 76.1)
3	350680	80	88.9	90	100	67	120	2.67	Отвод 90° Sanpress XL DN 80 (d 88.9)
4	350703	100	108	90	119	77	140	3.845	Отвод 90° Sanpress XL DN 100 (d 108)
5	351342	65	76.1	45	87.12	30	83	1.815	Отвод 45° Sanpress XL DN 65 (d 76.1)
6	351359	80	88.9	45	100	32	85	2.16	Отвод 45° Sanpress XL DN 80 (d 88.9)
7	351366	100	108	45	119	36	99	2.979	Отвод 45° Sanpress XL DN 100 (d 108)

Рис. 8. Порядок расположения управляющих параметров и простых данных

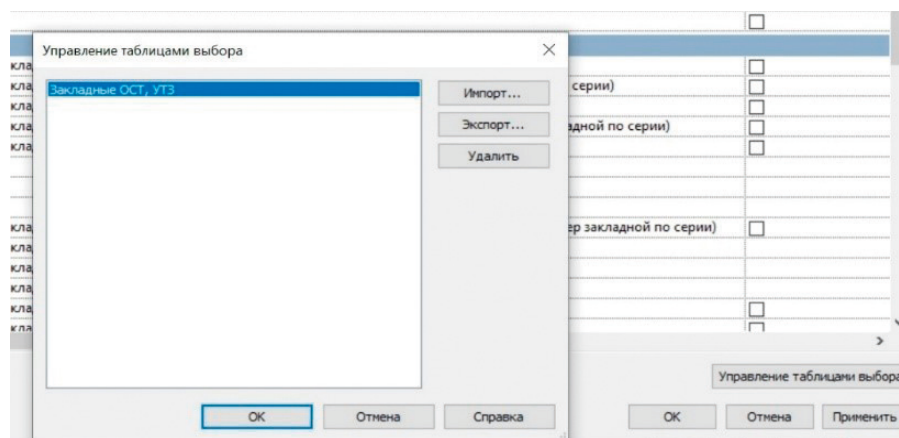


Рис. 9. Импорт таблицы выбора в Revit

для того чтобы Revit правильно воспринял наши данные, мы должны рядом с именем параметра добавить его тип данных (рис. 7).

Правило заполнения ячейки с именем параметра: «Имя параметра##тип данных##единицы измерения##».

Пример: Плита_Длина##length##millimeters. Расшифровывается как параметр с именем «Плита_Длина», имеет тип данных «Длина» с единицами измерения «Миллиметры».

Дальше видим, что в начале таблицы, в верхней строке первого столбца, располагается пустая ячейка, которая выполняет функцию заголовка для столбца с названиями размеров и маркером разделителя. В этой же строке, начиная со второй ячейки, записаны наименования характеристик и их типы данных.

В первом столбце обязательно должны быть указаны данные в виде текста; ввод чисел здесь приведет к тому, что Revit интерпретирует их как текст. Здесь можно указать название или номер модели. Настройка порядка столбцов является ключевой для корректного функционирования механизма выбора. Всегда первым стоит столбец с текстовыми данными – это названия размеров, если бы их создавали отдельно.

Далее столбцы можно разделить на две основные категории: столбцы с «управляющими параметрами» и столбцы с «данными» (рис. 8).

Рассмотрим, что подразумевается под «управляющими параметрами» и столбцами с «данными»:

- управляющие параметры – это ключевые характеристики, по которым Revit будет искать информацию. Они должны быть указаны первыми в таблице и будут служить основой для формулы, необходимой для извлечения данных. Ссылки на эти параметры в формуле должны следовать в том же порядке, что и в таблице выбора;

- данные – это все остальные параметры, которые будут выходить из таблицы с помощью управляющих параметров. Они могут идти в любом порядке.

Управляющих параметров может быть несколько, главное – расположить их в начале таблицы.

После того как таблица заполнена, необходимо сохранить ее в формате CSV и загрузить ее в семейство.

Для того чтобы подгрузить таблицу в семейство необходимо перейти в пункт управления таблицами выбора, нажать «Импорт» и выбрать созданную таблицу (рис. 9).

Заключение

Проведенное исследование показало, что если создавать большое семейство с применением формирования новых типов, то есть шанс допустить ошибки в размерах, так как их придется расставлять вручную от типа к типу; а также нет возможности для скрытия элемента или смены формы элемента, если это будет необходимо; и во время использования семейства перед пользователем будет появляться большой список со всеми типами, в котором будет тяжело найти нужное семейство, если типов будет большое количество.

В случае создания семейства с использованием таблицы выбора можно задать несколько управляющих параметров, по которым пользователь сможет менять тип на другой; а также от смены управляющих параметров будут меняться скрытие элементов, если это необходимо, и их форма, что упрощает работу пользователя.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций и правил для создания таблиц выбора и внедрении их в семейства, для чего нужно:

- 1) создать свод правил по заполнению таблицы выбора;
- 2) подготовить рекомендации по применению таблицы выбора в семействе.

Литература

1. Инженерное моделирование 3D-BIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://3dbim.pro/>.
2. Софткультура [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://softculture.cc/blog/entries/articles/semeystva-v-revit>.
3. AMS [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://autocad-specialist.ru/blog/revit-vs-archicad.html>.
4. INER [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://inerstroy.by/o-kompanii/stati/sravnenie-bim-platform.html>.

References

1. Inzhenernoe modelirovanie 3D-BIM [Electronic resource]. – Access mode : <https://3dbim.pro/>.
2. Softkultura [Electronic resource]. – Access mode : <https://softculture.cc/blog/entries/articles/semeystva-v-revit>.
3. AMS [Electronic resource]. – Access mode : <https://autocad-specialist.ru/blog/revit-vs-archicad.html>.
4. INER[Electronic resource]. – Access mode : <https://inerstroy.by/o-kompanii/stati/sravnenie-bim-platform.html>.

Advantages of Selection Tables when Creating Families

K.M. Ovechkin, O.M. Zvereva

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg (Russia)*

Key words and phrases: families; selection table; software package.

Abstract. The purpose of the study is to evaluate possible problems when creating families, study the rules for filling in the selection table, and create a selection table with parameters. The tasks are to evaluate software packages in which it is possible to create families, compile a selection table with parameters, and upload it to the family. The hypothesis suggests that using the selection table allows you to create a family faster and makes it more compact for the user. The study used empirical and theoretical methods, such as comparison, analysis, and material modeling. The results are as follows: possible software packages in which families can be created are analyzed, methods of forming a selection table and the use of a selection table in a family are studied.

© К.М. Овечкин, О.М. Зверева, 2025

УДК 624.154.535

Технико-экономическое сравнение забивных свай и свай-РИТ в условиях города Красноярска

В.А. Рудских, С.П. Холодов, А.Д. Шаповалов, Д.А. Плоп

*ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
г. Красноярск (Россия)*

Ключевые слова и фразы: сваи-РИТ; свайный фундамент; несущая способность свай; разрядно-импульсный метод.

Аннотация. Цель данной работы – сравнительный анализ свайных фундаментов, устраиваемых на сваях по разрядно-импульсной технологии (**РИТ**) и традиционных забивных сваях, рассчитанных на идентичную проектную нагрузку от несущей конструкции высотного здания. В рамках работы выполнен расчет несущей способности различных диаметров и типов свай в грунтовых условиях города Красноярска, под каждую конфигурацию свай запроектирован ростверк с учетом конструктивных требований, предъявляемых нормативными документами. В результате работы сделан вывод о целесообразности применения разрядно-импульсной технологии для соответствующих грунтовых условий и проектных нагрузок.

В качестве объекта исследования рассматривается высотное здание в г. Красноярске, фундаментом которого служат забивные сваи, спроектированные для опирания несущей стены здания с монолитным железобетонным каркасом. Данный метод погружения свай рассматривается в работах [1–5]. Сваи устраивались в галечниковом грунте с песчаным заполнителем по технологии, описанной в [8]. Методика подбора свай-**РИТ** подробно рассматривается в технических рекомендациях, разработанных ГУП «НИИМосстрой» [5]. Методика была применена для подбора свай-РИТ в инженерно-геологических условиях г. Красноярска. В качестве альтернативы забивным сваям рассматривались сваи-РИТ трех типоразмеров: свая-РИТ $d = 250$ мм, свая-РИТ $d = 400$ мм, свая-РИТ $d = 450$ мм. В статье приведен расчет несущей способности описанных свай по грунту и по материалу, а также проведено сравнение материалоемкости свай.

Определение несущей способности свай по грунту

Несущая способность свай-РИТ по грунту, согласно СП 24.13330.2021 [6], определяется по формуле (1):

$$F_d = Y_{kk} \cdot Y_{cnt} (Y_{cR} \cdot R_{rit} \cdot A_{rit} + Y_{cf} \cdot \sum u_{irit} f h_i), \quad (1)$$

Таблица 1. Определение несущей способности свай по грунту

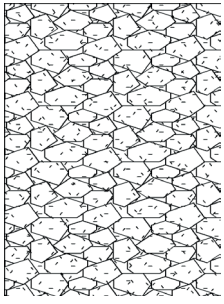
Отм.	Инженерно-геологическая колонка	Толщина слоя, h_i	Расстояние от поверхности до середины	f_i , кПа	u_{1i}	u_{2i}	u_{3i}	u_{4i}
–3.000								
–7.000		0,5	3,25	49,25	1,2	0,785	1,26	1,41
		0,5	3,75	51,75				
		0,5	4,25	53,75				
		0,5	4,75	55,25				
		0,5	5,25	56,50				
		0,5	5,75	57,50				
		0,5	6,25	58,50				
		0,5	6,75	59,50	1,178	2,26	2,51	
	Забивная свая	$Y_{R,R} \cdot R \cdot A = 873 \text{ кН}; Y_{cf} \cdot \sum u_{1i} h_i f_i = 265,2 \text{ кН}$ $F_d = 1138,2 \text{ кН}$						
	Свая-РИТ $d = 250 \text{ мм}$	$Y_{cR} \cdot R_{rit} \cdot A_{rit} = 841,76 \text{ кН}; Y_{cf} \cdot \sum u_{rit2i} h_i f_i = 240,73 \text{ кН}$ $F_d = 1082,49 \text{ кН}$						
	Свая-РИТ $d = 400 \text{ мм}$	$Y_{cR} \cdot R_{rit} \cdot A_{rit} = 1760,82 \text{ кН}; Y_{cf} \cdot \sum u_{rit3i} h_i f_i = 400,67 \text{ кН}$ $F_d = 2161,49 \text{ кН}$						
	Свая-РИТ $d = 450 \text{ мм}$	$Y_{cR} \cdot R_{rit} \cdot A_{rit} = 2147,34 \text{ кН}; Y_{cf} \cdot \sum u_{rit4i} h_i f_i = 447,64 \text{ кН}$ $F_d = 2594,98 \text{ кН}$						

Таблица 2. Исходные данные для подбора арматуры

Наименование сваи	d_s , мм	N, шт.	d_k , мм
Для сваи-РИТ диаметром 250 мм	14	6	156
Для сваи-РИТ диаметром 400 мм	12	6	273
Для сваи-РИТ диаметром 450 мм	12	6	355,6

где $Y_{kk} = 1,0$; $Y_{cnt} = 1,0$; $Y_{cR} = 1,3$; $Y_{cf} = 1,3$ – коэффициенты, принятые в соответствии с требованиями [6];

$R_{rit} = 3303,6 \text{ кПа}$ – расчетное сопротивление массива грунта под нижним концом сваи;

$A_{rit} = 0,196; 0,41; 0,5 \text{ м}^2$ – площадь опирания на грунт свай-РИТ $d = 250, 400$ и 450 мм соответственно.

Несущая способность забивных свай, согласно СП 24.13330.2021, определяется по формуле (2):

$$F_d = Y_c \cdot (Y_{R,R} \cdot R \cdot A + u \cdot \sum Y_{R,f} f_{ii}), \quad (2)$$

где $Y_c = 1,0$; $Y_{R,R} = 1,0$; $Y_{R,f} = 1,0$; $u = 1,2 \text{ м}$ – коэффициенты, принятые в соответствии с требованиями [6];

$R = 9700 \text{ кПа}$ – расчетное сопротивление массива грунта под нижним концом сваи;

$A = 0,09 \text{ м}^2$ – площадь опирания на грунт забивной сваи;

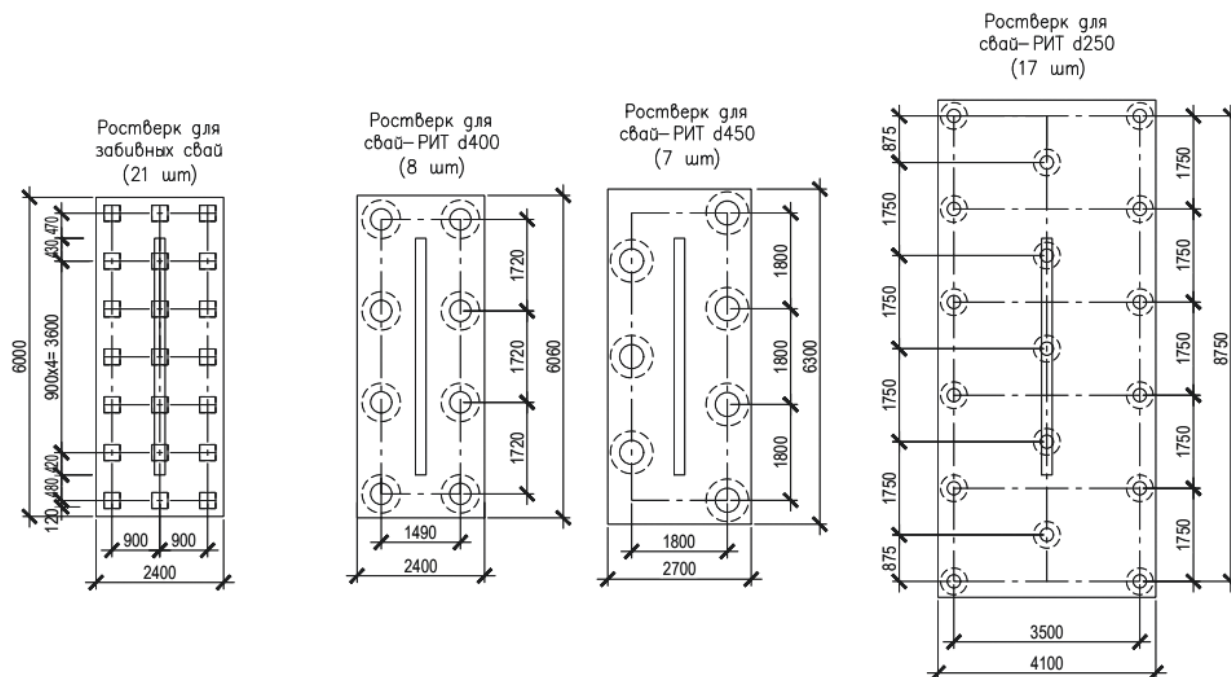


Рис. 1. Ростверки для свай

В таблице 1 показано определение несущей способности свай для забивной свай и свай-РИТ $d = 250\ 400\ 450\ \text{мм}$.

Определение несущей способности свай по материалу

Несущая способность забивной свай принята по технической документации [7] и составляет 600 кН.

Исходные данные для свай-РИТ представлены в таблице 2. В ней указаны диаметры стержней рабочей арматуры периодического профиля класса А400, количество стержней рабочей арматуры и диаметры колец, на которые устанавливаются стержни рабочей арматуры

Сечение ростверков, а также количество свай показано на рис. 1.

Для высотных зданий прочность свай-РИТ круглого сечения, изготовленной из бетона класса на сжатие В30 и армированной шестью равномерно распределенными по окружности продольными стержнями, согласно ТР 50-180-06 [8], определяется из условия (3):

$$N_e \leq \frac{2}{3} \cdot R_b \cdot A \cdot r \cdot \frac{\sin^3 \pi \epsilon_{\text{cir}}}{\pi} + R_s \cdot A_{s, \text{tot}} \cdot r_s \cdot \left(\frac{\sin^3 \pi \epsilon_{\text{cir}}}{\pi} + \varphi \right). \quad (3)$$

Проверка прочности свай, погружаемых разрядно-импульсным методом (РИТ), показала удовлетворение заданным условиям, следовательно, выбранный диаметр и армирование свай соответствуют проектным требованиям.

Таблица 3. Техничко-экономическое сравнение фундаментов

	Свая-РИТ d = 250 мм (уш. 500 мм)	Свая-РИТ d = 400 мм (уш. 720 мм)	Свая-РИТ d = 450 мм (уш. 800 мм)	Забивная свая
Материалоемкость одной сваи				
Бетон, м ³ / %	<u>0,24</u> 66,67	<u>0,63</u> 175	<u>0,82</u> 227,78	<u>0,36</u> 100
Арматура, т / %	<u>0,029</u> 181,25	<u>0,021</u> 131,25	<u>0,021</u> 131,25	<u>0,016</u> 100
Допустимая нагрузка на сваю, кН / %	<u>773</u> 128,8	<u>1 544</u> 257,33	<u>1 854</u> 309	<u>600</u> 100
Материалоемкость всех свай				
Кол-во свай в кусте	17	8	7	21
Бетон, м ³ / %	<u>4,03</u> 53,3	<u>5,08</u> 75,5	<u>5,77</u> 76,3	<u>7,56</u> 100
Арматура, т / %	<u>0,181</u> 53,9	<u>0,171</u> 50,9	<u>0,150</u> 44,6	<u>0,336</u> 100
Материалоемкость ростверка				
Габариты ростверка, м (АхВхН)	9,35 x 4,1 x 1,2	6 x 2,4 x 1,2	6,3 x 2,7 x 1,2	6 x 2,4 x 1,2
Бетон, м ³ / %	<u>46,00</u> 266,2	<u>17,28</u> 100	<u>20,41</u> 118,1	<u>17,28</u> 100
Арматура, т / %	<u>0,963</u> 209,4	<u>0,460</u> 100	<u>0,822</u> 178,7	<u>0,460</u> 100
Общая материалоемкость				
Бетон, м ³ / %	<u>50,03</u> 201,4	<u>22,36</u> 90	<u>26,18</u> 105,4	<u>24,84</u> 100
Арматура, т / %	<u>1,144</u> 143	<u>0,631</u> 78,88	<u>0,972</u> 121,5	<u>0,80</u> 100

Общая материалоемкость свай и их сравнение

Расчет объема бетона для свай-РИТ выполняется с учетом уширения по формуле (4):

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h + \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3. \quad (4)$$

Общая материалоемкость, требуемая для свай-РИТ диаметром 250, 400, 450 и забивных свай, а также их ростверков представлена в таблице 3.

Вывод

Сравнение показало, что по несущей способности на грунте забивные сваи уступают только сваям-РИТ диаметром 400 мм и 450 мм. При этом, несмотря на большую допустимую нагрузку свай-РИТ диаметром 250 мм и меньшую материалоемкость, чем у забивных свай, их применение оказывается неэффективным из-за нормативного требования устраивать расстояние между уширениями соседних свай не менее 1 м в свету. Наименьшую материалоемкость показал ростверк на сваях-РИТ диаметром 400 мм, расход бетона и

арматуры ниже на 10 и 21% соответственно по сравнению с забивными сваями. Для оценки общей экономической эффективности использования разрядно-импульсной технологии планируется проведение дополнительных исследований, учитывающих стоимость проведения строительно-монтажных работ и оборудования для их проведения.

Литература

1. Прокопенко, Д.В. Методика расчета группы свай-РИТ по деформациям в нелинейно-деформируемом грунтовом основании / Д.В. Прокопенко // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2021. – № 2(85). – С. 130–135. – EDN STQVLU.
2. Харин, Ю.И. Некоторые преимущества свай по РИТ-технологии на примере слабых грунтов Туниса / Ю.И. Харин // Перспективы науки. – 2019. – № 6(117). – С. 91–93. – EDN BRDMTV.
3. Быховцев, В.Е. Расчет РИТ-свай по первому предельному состоянию / В.Е. Быховцев, Д.В. Прокопенко, Л.А. Цурганова // Проблемы физики, математики и техники. – 2015. – № 3(24). – С. 90–93. – EDN UNFMDL.
4. Кубецкий, В.Л. Применение свай-РИТ в фундаментах высотных зданий / В.Л. Кубецкий, В.И. Еремин // Вестник МГСУ. – 2012. – № 4. – С. 240–245. – EDN PABGXJ.
5. Сваи по технологии «РИТ» в Москве и Подмосковье // ПСК. Основания и фундаменты : официальный сайт. – 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://inzhenery.ru/stati/svai-po-tekhnologii-rit>.
6. СП 24.13330.2021. СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты. Актуализированное издание СП 24.13330.2011. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты 2010-12-27 : дата введения 2021-01-15. – М. : Минстрой России, 2021. – 113 с.
7. Серия 1.011.1-10 Сваи забивные железобетонные. Вып. 2 «Сваи цельные сплошного квадратного сечения с напрягаемой арматурой».
8. ТР 50-180-06. Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (свай-РИТ) / разработаны ГУП «НИИМосстрой». – М. : ООО «УИЦ БЕК», 2006. – 68 с.

References

1. Prokopenko, D.V. Metodika rascheta gruppy svai-RIT po deformatciiam v nelineino-deformiruemom gruntovom osnovanii / D.V. Prokopenko // Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo. – 2021. – № 2(85). – S. 130–135. – EDN STQVLU.
2. Kharin, Iu.I. Nekotorye preimushchestva svai po RIT-tekhnologii na primere slabых gruntov Tunisa / Iu.I. Kharin // Perspektivy nauki. – 2019. – № 6(117). – S. 91–93. – EDN BRDMTV.
3. Bykhovtcev, V.E. Raschet RIT-svai po pervomu predelnomu sostoianiiu / V.E. Bykhovtcev, D.V. Prokopenko, L.A. Tsurganova // Problemy fiziki, matematiki i tekhniki. – 2015. – № 3(24). – S. 90–93. – EDN UNFMDL.
4. Kubetckii, V.L. Primenenie svai-RIT v fundamentakh vysotnykh zdanii / V.L. Kubetckii, V.I. Eremin // Vestnik MGSU. – 2012. – № 4. – S. 240–245. – EDN PABGXJ.

5. Svai po tekhnologii "RIT" v Moskve i Podmoskove // PSK. Osnovaniia i fundamenty : ofitsialnyi sait. – 2020 [Electronic resource]. – Access mode : <https://inzhenery.ru/stati/svai-po-tekhnologii-rit>.

6. SP 24.13330.2021. SNiP 2.02.03-85 Svainye fundamenty. Aktualizirovannoe izdanie SP24.13330.2011. SNiP2.02.03-85. Svainyefundamenty2010-12-27: data vvedeniia 2021-01-15. – M. : Minstroï Rossii, 2021. – 113 s.

7. Seriia 1.011.1-10 Svai zabivnye zhelezobetonnye. Vyp. 2 "Svai tselnye sploshnogo kvadratnogo secheniia s napriagaemoi armaturoi".

8. TR 50-180-06. Tekhnicheskie rekomendatsii po proektirovaniu i ustroistvu svainykh fundamentov, vypolniaemykh s ispolzovaniem razriadno-impulsnoi tekhnologii dlia zdaniï povyshennoi etazhnosti (svai-RIT) / razrabotan GUP "NIIMosstroï". – M. : OOO "UITc VEK", 2006. – 68 s.

Technical and Economic Comparison of Driven Piles and Piles Manufactured Using Discharge-Pulse Technology in the Conditions of Krasnoyarsk City

V.A. Rudskikh, S.P. Kholodov, A.D. Shapovalov, D.A. Plop

*Siberian Federal State Educational Institution of Higher Education,
Krasnoyarsk (Russia)*

Key words and phrases: DPT piles; pile foundation; pile bearing capacity; discharge-pulse technology.

Abstract. The purpose of this study is a comparative analysis of pile foundations constructed using discharge-pulse technology (**DPT**) and traditional driven piles, both designed to withstand identical design loads from the load-bearing structure of a high-rise building. The study includes calculations of the bearing capacity of piles with varying diameters and types in the soil conditions of Krasnoyarsk City. For each pile configuration, a pile cap was designed in compliance with structural requirements stipulated by regulatory documents. The study concludes with recommendations on the feasibility of applying discharge-impulse technology for corresponding soil conditions and design loads.

© В.А. Рудских, С.П. Холодов, А.Д. Шаповалов, Д.А. Плоп, 2025

УДК 692.232.2

Обследование тепловой защиты здания

Н.Ю. Заварзин¹, К.П. Зубарев^{1, 2, 3}

¹ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы»;

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет»;

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

Ключевые слова и фразы: энергоэффективность зданий; тепловая защита зданий; теплоизоляционные материалы; теплоизоляционные технологии; методы обследования зданий; нормативные требования к тепловой защите; сравнительный анализ материалов; компьютерное моделирование зданий.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы энергоэффективности зданий и их тепловой защиты. Обосновывается важность исследования теплозащиты зданий в современных условиях. Проводится анализ существующих теоретических подходов к определению и оценке теплозащитных свойств зданий, включая изучение нормативных документов, методических рекомендаций и научных публикаций. Исследуется влияние различных теплоизоляционных материалов и технологий на энергоэффективность зданий, включая анализ их теплофизических свойств, экологической безопасности и экономической целесообразности применения. Рассматриваются методы обследования тепловой защиты зданий, такие как инструментальные методы измерения, расчетные методы оценки и компьютерное моделирование. Проводится сравнительный анализ различных теплоизоляционных материалов и технологий для различных типов зданий и климатических условий.

Цель исследования состоит в проведении анализа существующих теоретических подходов к определению и оценке теплозащитных свойств зданий, включая изучение нормативных документов, методических рекомендаций и научных публикаций, посвященных данной проблематике.

Задачи исследования:

- изучить основные понятия и нормативные требования к тепловой защите зданий, включая такие параметры, как теплопередача, сопротивление теплопередаче, коэффициент теплопроводности и точка росы;
- рассмотреть методы обследования тепловой защиты зданий, такие как инструментальные методы измерения, расчетные методы оценки и компьютерное моделирование;
- провести сравнительный анализ различных теплоизоляционных материалов и технологий для различных типов зданий и климатических условий, учитывая их теплофизические свойства, экологическую безопасность и экономическую целесообразность применения.

Гипотеза исследования. Эффективность тепловой защиты здания зависит от правильного выбора теплоизоляционных материалов и технологий, которые должны соответствовать типу здания, климатическим условиям, бюджету и требованиям к экологической безопасности.

Результаты исследования. Выявлены основные факторы, влияющие на эффективность тепловой защиты зданий, включая тип здания, климатические условия, выбор теплоизоляционных материалов и технологий. Проведен анализ существующих теоретических подходов к определению и оценке теплозащитных свойств зданий, включая изучение нормативных документов и методических рекомендаций. Исследовано влияние различных теплоизоляционных материалов и технологий на энергоэффективность зданий, включая анализ их теплофизических свойств, экологической безопасности и экономической целесообразности применения. Рассмотрены методы обследования тепловой защиты зданий, такие как инструментальные методы измерения, расчетные методы оценки и компьютерное моделирование.

Введение

Важность исследования теплозащиты зданий обусловлена несколькими факторами. Во-первых, значительная часть энергии, потребляемой в современном обществе, приходится на отопление и кондиционирование зданий. Улучшение теплозащитных характеристик зданий позволяет существенно сократить эти энергозатраты, что приводит к экономии финансовых средств и снижению нагрузки на энергетическую систему. Во-вторых, комфорт проживания в зданиях напрямую зависит от их теплового режима. Эффективная теплоизоляция обеспечивает стабильную температуру внутри помещений, предотвращая перегрев летом и переохлаждение зимой, создавая комфортные условия для проживания и работы людей, повышая их качество жизни и производительность труда [1].

В-третьих, теплозащита зданий играет важную роль в разрешении экологических проблем. Снижение потребления энергии на отопление и кондиционирование приводит к сокращению выбросов парниковых газов, которые являются одной из основных причин глобального изменения климата.

Таким образом, улучшение теплозащиты зданий способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду и сохранению природных ресурсов для будущих поколений.

Задача исследования

Провести анализ существующих теоретических подходов к определению и оценке теплозащитных свойств зданий, включая изучение нормативных документов, методических рекомендаций и научных публикаций, посвященных данной проблематике.

Исследовать влияние различных теплоизоляционных материалов и технологий на энергоэффективность зданий, включая анализ их теплофизических свойств, экологической безопасности и экономической целесообразности применения.

Основные понятия и нормативные требования к тепловой защите зданий

Теплопередача представляет собой процесс переноса тепловой энергии от более нагретого тела к менее нагретому вследствие разности температур. В строительной физике различают несколько видов теплопередачи – теплопроводность, конвекция и тепловое излучение. Теплопроводность – это процесс переноса тепловой энергии внутри твердого тела за счет взаимодействия его частиц [2]. Конвекция – это процесс переноса тепловой энергии посредством перемещения жидкостей или газов [3]. Тепловое излучение – это процесс переноса тепловой энергии в виде электромагнитных волн.

Соппротивление теплопередаче (R) является величиной, обратной коэффициенту теплопередачи, и характеризует способность ограждающей конструкции препятствовать прохождению теплового потока. Чем выше сопротивление теплопередаче, тем лучше теплоизоляционные свойства конструкции. Сопротивление теплопередаче измеряется в квадратных метрах на градус Цельсия, деленных на ватт ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) [4].

Коэффициент теплопроводности (λ) является физической величиной, характеризующей способность материала проводить тепло. Он показывает количество теплоты, которое проходит через единицу площади материала толщиной в один метр при разности температур в один градус Цельсия. Коэффициент теплопроводности измеряется в ваттах на метр на градус Цельсия ($\text{Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$) [5]. Чем ниже коэффициент теплопроводности материала, тем лучше его теплоизоляционные свойства.

Точка росы – это температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе, начинает конденсироваться в виде росы [6]. В строительстве важно учитывать точку росы при проектировании ограждающих конструкций, с тем чтобы предотвратить образование конденсата внутри конструкции, что может привести к ее увлажнению и ухудшению теплоизоляционных свойств.

В настоящее время в Российской Федерации действуют различные строительные нормы и правила, регламентирующие требования к тепловой защите зданий. Одним из основных документов является СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» [привод. по: 7]. Данный свод правил устанавливает требования к теплоизоляционным характеристикам ограждающих конструкций жилых,

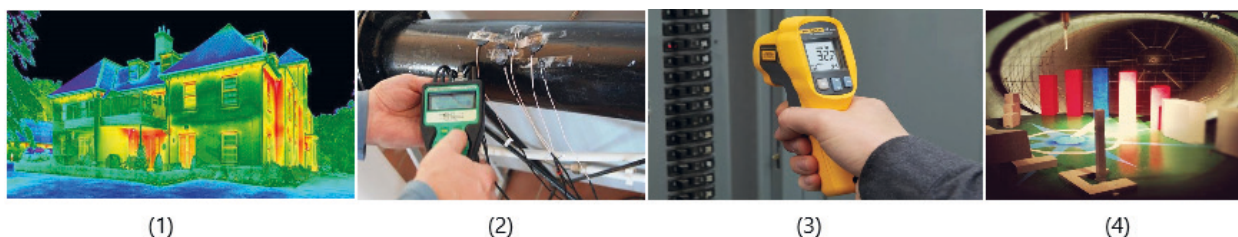


Рис. 1. Инструментальные методы измерения тепловых потоков здания: тепловизионное обследование (1), измерение тепловых потоков (2), измерение температуры поверхности (3), аэродинамические измерения (4)

общественных и производственных зданий, исходя из климатических условий региона строительства.

В соответствии с СП 50.13330.2012, ограждающие конструкции зданий должны обеспечивать нормируемое сопротивление теплопередаче, которое зависит от климатических условий региона строительства, назначения здания и других факторов [привод. по: 7]. Кроме того, нормативные документы устанавливают требования к теплозащитным свойствам отдельных элементов здания, таких как окна, двери, кровля и т.д.

Анализ действующих строительных норм и правил показывает, что требования к тепловой защите зданий постоянно повышаются в связи с необходимостью снижения энергопотребления и повышения комфорта проживания. В этой связи исследования, направленные на совершенствование методов расчета теплотехнических характеристик зданий и разработку новых эффективных теплоизоляционных материалов, приобретают особую актуальность.

Методы обследования тепловой защиты зданий

Обследование тепловой защиты зданий представляет собой комплекс мероприятий, направленных на оценку теплотехнических характеристик здания и выявление дефектов, приводящих к теплопотерям. Для решения этой задачи используются различные методы, которые можно классифицировать на инструментальные, расчетные и методы компьютерного моделирования.

Инструментальные методы измерения основаны на непосредственном измерении тепловых потоков, температур и других параметров, характеризующих тепловой режим здания (см. рис. 1). К наиболее распространенным инструментальным методам относятся:

1. Тепловизионное обследование. Данный метод основан на использовании тепловизоров – специальных приборов, которые регистрируют инфракрасное излучение, исходящее от поверхности ограждающих конструкций. Тепловизионное обследование позволяет выявлять места утечек тепла, дефекты теплоизоляции, а также другие проблемы, связанные с тепловой защитой здания [3].

2. Измерение тепловых потоков. Для измерения тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции, используются специальные приборы – тепломеры. Данные, полученные в результате измерения тепловых потоков, позволяют оценить фактическое сопротивление теплопередаче конструкций и сравнить его с нормативными требованиями [1].

3. Измерение температуры поверхности. Для измерения температуры поверхности ограждающих конструкций используются контактные или бесконтактные термометры. Данные о температуре поверхности позволяют оценить тепловое состояние конструкций и выявить места, где температура отличается от ожидаемой [6].

4. Аэродинамические измерения. Данный метод основан на измерении скорости и направления движения воздуха внутри и снаружи здания. Аэродинамические измерения позволяют выявить места проникновения холодного воздуха через неплотность в ограждающих конструкциях, а также оценить эффективность работы систем вентиляции [7] (рис. 1).

Расчетные методы оценки основаны на использовании математических моделей и нормативных документов для расчета теплотехнических характеристик здания. К наиболее распространенным расчетным методам относятся:

1. Расчет сопротивления теплопередаче. Данный расчет выполняется в соответствии с требованиями СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003». Расчет сопротивления теплопередаче позволяет оценить способность ограждающей конструкции препятствовать прохождению теплового потока.

2. Расчет теплопотерь. Данный расчет выполняется с целью определения общего количества теплоты, которое теряется зданием через ограждающие конструкции, окна, двери и другие элементы. Расчет теплопотерь позволяет оценить энергоэффективность здания и определить необходимые мероприятия по улучшению тепловой защиты.

3. Расчет точки росы. Данный расчет выполняется для определения температуры, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе, начинает конденсироваться. Расчет точки росы позволяет предотвратить образование конденсата внутри ограждающих конструкций, что может привести к их увлажнению и ухудшению теплоизоляционных свойств [2–5].

Компьютерное моделирование является современным и эффективным методом обследования тепловой защиты зданий. С помощью специальных программных комплексов можно создавать трехмерные модели зданий, учитывать различные факторы, влияющие на тепловой режим, и проводить детальный анализ теплотехнических характеристик. Компьютерное моделирование позволяет выявлять проблемные зоны в тепловой защите здания, оптимизировать конструктивные решения и прогнозировать энергопотребление.

Выбор конкретных методов обследования тепловой защиты зданий зависит от целей исследования, типа здания, его конструктивных особенностей и других факторов. В большинстве случаев для получения наиболее полной и объективной информации рекомендуется комплексное использование различных методов, сочетающих инструментальные измерения, расчетные методы и компьютерное моделирование.

Сравнительный анализ теплоизоляционных материалов и технологий для различных типов зданий и климатических условий

В современном строительстве выбор теплоизоляционных материалов и технологий играет решающую роль в обеспечении энергоэффективности зданий. Разнообразие представленных на рынке решений обуславливает необходимость проведения тщательного сравнительного анализа с целью выявления наиболее эффективных вариантов для различных типов зданий и климатических условий (табл. 1).

Для жилых зданий в умеренном климате оптимальным выбором может стать минеральная вата или базальтовая вата, обеспечивающие хорошую теплоизоляцию, паропроницаемость и пожаробезопасность. Для зданий с повышенными требованиями к влагостойкости, таких как бассейны или бани, рекомендуется использовать ЭППС или ППУ. В регионах с жарким климатом предпочтение следует отдавать материалам с высокой теплоемкостью, таким как минеральная вата или керамические блоки. Для экологически ориентированных проектов рекомендуется использовать эковату или другие натуральные материалы (табл. 2).

Таблица 1. Сравнение теплоизоляционных материалов [1–3]

Материал	Теплопроводность (Вт/м·К)	Плотность (кг/м³)	Преимущества	Недостатки	Применение
Минеральная вата	0,032–0,040	30–200	Высокая теплоизоляция, пожаробезопасность, паропроницаемость	Может впитывать влагу, требует защиты	Утепление стен, кровли, перекрытий
Базальтовая вата	0,034–0,039	50–200	Высокая тепло- и звукоизоляция, негорючесть, устойчивость к влаге	Более высокая стоимость	Утепление фасадов, кровли, огнезащита
Стекловата	0,032–0,043	10–150	Низкая стоимость, хорошая теплоизоляция, негорючесть	Раздражает кожу и дыхательные пути, требует защиты	Утепление стен, кровли, трубопроводов
Пенополистирол (ППС)	0,030–0,035	15–50	Отличная теплоизоляция, влагостойкость, легкость	Горючесть, выделение токсичных веществ при горении	Утепление фасадов, фундаментов
Экструдированный пенополистирол (ЭППС)	0,028–0,032	25–45	Высокая теплоизоляция, влагостойкость, прочность	Горючесть, высокая стоимость	Утепление фундаментов, полов, фасадов
Пенополиуретан (ППУ)	0,022–0,028	30–60	Высокая теплоизоляция, адгезия, долговечность	Высокая стоимость, сложность нанесения	Напыление на поверхности любой формы
Эковата	0,037–0,042	30–50	Экологически чистый материал, хорошая теплоизоляция	Боится влаги, требует защиты	Утепление стен, кровли

Таблица 2. Сравнительный анализ теплоизоляционных технологий [2; 5; 6]

Технология	Преимущества	Недостатки	Применение
Наружное утепление фасадов	Эффективно, не уменьшает внутреннее пространство	Требует профессионального монтажа, может изменить внешний вид здания	Жилые и общественные здания
Внутреннее утепление стен	Простота монтажа, доступность	Уменьшает внутреннее пространство, может привести к образованию конденсата	Жилые помещения
Утепление кровли	Снижает теплопотери через крышу	Требует тщательной гидроизоляции	Жилые дома, коттеджи
Утепление пола	Создает комфорт в помещении	Может потребовать поднятия уровня пола	Квартиры, частные дома
Вентилируемые фасады	Обеспечивают вентиляцию и защиту от влаги	Более высокая стоимость	Жилые и общественные здания

Наружное утепление фасадов является наиболее эффективным способом снижения теплопотерь, но требует профессионального монтажа и может изменить внешний вид здания. Внутреннее утепление стен является более доступным вариантом, но уменьшает внутреннее пространство и может привести к образованию конденсата. Утепление кровли и пола является важной мерой для снижения теплопотерь в частных домах и коттеджах.

Вентилируемые фасады обеспечивают хорошую вентиляцию и защиту от влаги, но имеют более высокую стоимость.

Проведенный сравнительный анализ позволяет сделать вывод о том, что выбор теплоизоляционных материалов и технологий является сложной задачей, требующей учета множества факторов. Для достижения максимальной энергоэффективности здания необходимо комплексно подходить к решению данного вопроса, учитывая тип здания, климатические условия, бюджет и требования к экологической безопасности.

Заключение

Результаты исследования показали, что выбор оптимального теплоизоляционного материала и технологии зависит от множества факторов, включая тип здания, климатические условия, бюджет и требования к экологической безопасности, что подтверждают исследования ведущих ученых [8–12]. Для жилых зданий в умеренном климате оптимальным выбором может стать минеральная вата или базальтовая вата, обеспечивающие хорошую теплоизоляцию, паропроницаемость и пожаробезопасность. Для зданий с повышенными требованиями к влагостойкости, таких как бассейны или бани, рекомендуется использовать ЭППС или ППУ. В регионах с жарким климатом предпочтение следует отдавать материалам с высокой теплоемкостью, таким как минеральная вата или керамические блоки. Для экологически ориентированных проектов рекомендуется использовать эковату или другие натуральные материалы.

Литература

1. Береговой, А.М. Энергоактивность зданий, использующих тепло солнечной радиации / А.М. Береговой, Я.Ю. Моськин // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2024. – № 1(18). – С. 4–7.
2. Береговой, А.М. Мероприятия по тепловой защите зданий и энергосбережение в системе естественной вентиляции помещений / А.М. Береговой, И.С. Шурыгин // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2023. – № 2(17). – С. 4–8.
3. Корнилов, Т.А. Теплоэффективные решения цокольной части зданий с железобетонным каркасом на свайных фундаментах / Т.А. Корнилов // Технологии бетонов. – 2025. – № 1(198). – С. 55–60.
4. Береговой, А.М. Повышение энергоэффективности малоэтажных жилых зданий / А.М. Береговой, Е.С. Маризина // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2022. – № 1(14). – С. 3–7.
5. Карпов, Д.Ф. Выявление скрытых дефектов тепловой защиты зданий и определение некоторых термических свойств конструкционных строительных материалов неразрушающим методом тепловидения / Д.Ф. Карпов, М.В. Павлов, А.Г. Гудков // Вестник Дагестанского государственного технического университета. – Серия: Технические науки. – 2023. – Т. 50. – № 1. – С. 174–182. – DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-174-184.
6. Корнилов, Т.А. Теплотехнические свойства цокольного перекрытия деревянных домов из МХМ-панелей / Т.А. Корнилов, И.А. Докторов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. – Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2024. – № 1. – С. 34–46. – DOI:10.25686/2542-114X.2024.1.34.
7. Корнилов, Т.А. Конструктивное решение цокольного перекрытия зданий с несущими стенами из бетонных камней / Т.А. Корнилов, А.Я. Никифоров, В.Н. Эверстова // Про-

мышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 7. – С. 33–40. – DOI:10.33622/0869-7019.2024.07.33-40.

8. Радаев, А.Е. Использование средств оптимизационного моделирования для обоснования характеристик энергоэффективного конструктивного решения / А.Е. Радаев, О.С. Гамаюнова, Г.А. Бардина // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – № 27(79). – С. 5–25.

9. Зубарев, К.П. Теоретические и экспериментальные методы определения сопротивления теплопередаче. Обзор литературы / К.П. Зубарев, А.И. Бородулина, А.Р. Галлямова // Строительные материалы. – 2021. – № 6. – С. 9–14. – DOI:10.31659/0585-430X-2021-792-6-9-14.

10. Зубарев, К.П. Расчет толщины утеплителя стен зданий при нестационарном влажностном режиме ограждающей конструкции / К.П. Зубарев, М.И. Рынкoвская // Перспективы науки. – 2023. – № 1(160). – С. 99–101.

11. Zubarev, K.P. Derivation of the equation of unsteady-state moisture behaviour in the enclosing structures of buildings using a discrete-continuous approach / K.P. Zubarev // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – Vol. 17. – № 4. – P. 83–90. – DOI:10.22337/2587-9618-2021-17-4-83-90.

12. Kokaya, D. Environmental analysis of residential exterior wall construction in temperate climate / D. Kokaya, D. Zaborova, T. Koriakovtseva // Magazine of Civil Engineering. – 2023. – № 8 (124). – P. 114–122. – DOI: 10.34910/MCE.124.10.

References

1. Beregovoi, A.M. Energoaktivnost zdaniy, ispolzuiushchikh teplo solnechnoi radiatsii / A.M. Beregovoi, I.A. Iu. Moskin // Vestnik PGUAS: stroitelstvo, nauka i obrazovanie. – 2024. – № 1(18). – С. 4–7.

2. Beregovoi, A.M. Meropriiatiia po teplovoi zashchite zdaniy i energosberezhenie v sisteme estestvennoi ventilatsii pomeshchenii / A.M. Beregovoi, I.S. Shurygin // Vestnik PGUAS: stroitelstvo, nauka i obrazovanie. – 2023. – № 2(17). – С. 4–8.

3. Kornilov, T.A. Teploeffektivnye resheniia tsokolnoi chasti zdaniy s zhelezobetonnyim karkasom na svainykh fundamentakh / T.A. Kornilov // Tekhnologii betonov. – 2025. – № 1(198). – С. 55–60.

4. Beregovoi, A.M. Povyshenie energoeffektivnosti maloetazhnykh zhilykh zdaniy / A.M. Beregovoi, E.S. Marizina // Vestnik PGUAS: stroitelstvo, nauka i obrazovanie. – 2022. – № 1(14). – С. 3–7.

5. Karpov, D.F. Vyavlenie skrytykh defektov teplovoi zashchity zdaniy i opredelenie nekotorykh termicheskikh svoystv konstruktsionnykh stroitelnykh materialov nerazrushaiushchim metodom teplovideniia / D.F. Karpov, M.V. Pavlov, A.G. Gudkov // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2023. – T. 50. – № 1. – С. 174–182. – DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-174-184.

6. Kornilov, T.A. Teploekhnicheskie svoystva tsokolnogo perekrytiia dereviannykh domov iz MKhM-panelei / T.A. Kornilov, I.A. Doktorov // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. – Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii. – 2024. – № 1. – С. 34–46. – DOI:10.25686/2542-114X.2024.1.34.

7. Kornilov, T.A. Konstruktivnoe reshenie tsokolnogo perekrytiia zdaniy s nesushchimi stenami iz betonnykh kamnei / T.A. Kornilov, A.Ia. Nikiforov, V.N. Everstova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2024. – № 7. – С. 33–40. – DOI:10.33622/0869-7019.2024.07.33-40.

8. Radaev, A.E. Ispolzovanie sredstv optimizatsionnogo modelirovaniia dlia obosnovaniia kharakteristik energoeffektivnogo konstruktivnogo resheniia / A.E. Radaev, O.S. Gamaiunova, G.A. Bardina // Stroitelstvo i tekhnogennaia bezopasnost. – 2022. – № 27(79). – S. 5–25.

9. Zubarev, K.P. Teoreticheskie i eksperimentalnye metody opredeleniia soprotivleniia teploperedache. Obzor literatury / K.P. Zubarev, A.I. Borodulina, A.R. Galliamova // Stroitelnye materialy. – 2021. – № 6. – S. 9–14. –DOI:10.31659/0585-430X-2021-792-6-9-14.

10. Zubarev, K.P. Raschet tolshchiny uteplitelia sten zdanii pri nestatsionarnom vlazhnostnom rezhime ograzhdaiushchei konstrukcii / K.P. Zubarev, M.I. Rynkovskaia // Perspektivy nauki. – 2023. – № 1(160). – S. 99–101.

A Survey of the Thermal Protection of the Building

N.Y. Zavarzin¹, K.P. Zubarev^{1, 2, 3}

¹ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba;

² National Research Moscow State University of Civil Engineering;

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

Key words and phrases: energy efficiency of buildings; thermal protection of buildings; thermal insulation materials; thermal insulation technologies; methods of surveying buildings; regulatory requirements for thermal protection; comparative analysis of materials; computer modeling of buildings.

Abstract. The article considers the issues of energy efficiency of buildings and their thermal protection. It substantiates the importance of studying the thermal protection of buildings in modern conditions. An analysis of existing theoretical approaches to defining and assessing the thermal protection properties of buildings is carried out, including the study of regulatory documents, methodological recommendations and scientific publications. The influence of various thermal insulation materials and technologies on the energy efficiency of buildings is studied, including an analysis of their thermophysical properties, environmental safety and economic feasibility of use. Methods for examining the thermal protection of buildings, such as instrumental measurement methods, calculation methods for assessing and computer modeling are considered. A comparative analysis of various thermal insulation materials and technologies for different types of buildings and climatic conditions is carried out.

© Н.Ю. Заварзин, К.П. Зубарев, 2025

УДК 69

**Влияние BIM на коммуникации
и взаимодействие между участниками
строительного проекта:
анализ изменений
в организационных структурах**

А.В. Баулин, А.А. Анисимов

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

Ключевые слова и фразы: BIM; организационные структуры; строительное производство; строительство; повышение эффективности.

Аннотация. Цель: определить и оценить влияние технологии BIM на процессы коммуникации и взаимодействие между участниками строительного проекта, выявить изменения в организационных структурах строительных компаний, вызванные внедрением BIM. Задачи: провести анализ теоретических и методологических основ исследования BIM в девяти коммуникациях и взаимодействиях в строительстве; определить ключевые факторы, влияющие на коммуникацию и взаимодействие участников строительного проекта в традиционном процессе; проанализировать, как BIM влияет на стабильность и сотрудничество между различными дисциплинами и отделами в строительном проекте. Гипотеза: внедрение BIM в строительство проекта приводит к повышению эффективности коммуникаций и взаимодействия между участниками, а также требует адаптации структурных компаний для реализации полной возможности BIM в этой области. Метод: использование комплексного подхода. Достигнутые результаты: BIM является мощным средством для улучшения коммуникации, взаимодействия и координации между местными строительными проектами. Внедрение BIM требует значительных изменений в организационных структурах строительства компаний, включая создание новых ролей, управление проектно-ориентированными командами и разработку новых процессов. Успешное внедрение BIM позволяет повысить эффективность, снизить затраты и улучшить качество строительных проектов.

Введение

Технологическое информационное моделирование (**BIM**) трансформирует строительную промышленность, позволяя выходить за рамки простого представления о зданиях и применять комплексный подход к управлению данными на протяжении всего жизненного цикла проекта [1]. BIM предполагает создание централизованной, параметрической 3D-модели, которая анализирует архитектурные, инженерные и конструктивные данные, что позволяет участникам проекта получать доступ к актуальной информации и эффективно взаимодействовать [2]. Эта технология оказывает положительное влияние на процессы коммуникации и взаимодействия между всеми заинтересованными сторонами, включая архитекторов, инженеров, подрядчиков, субподрядчиков, поставщиков и владельцев [3].

В традиционном строительном процессе, где используются обычно двухмерная документация и последовательный подход к проектированию и строительству, коммуникационные барьеры и недостаточность информации часто приводят к ошибкам, задержкам и увеличению затрат [4]. BIM, напротив, предлагает прозрачную и доступную платформу для обмена данными, сокращения количества запросов на информацию, ускорения процессов согласования и улучшения координации между различными дисциплинами [5].

Однако преимущества BIM реализуются не автоматически. Внедрение BIM требует не только инвестиций в программное обеспечение и оборудование, но и изменений в организационной структуре и культуре компании [6]. Традиционные, иерархические модели управления, где информация расположена сверху вниз, часто не соответствуют принципам совместной работы и обмена информацией, которые исключаются на основе BIM [7]. Успешное внедрение BIM требует перехода к более гибким, проектно-ориентированным организационным структурам, где специалисты из разных дисциплин работают совместно над созданием и использованием BIM-моделей [8].

Более того, внедрение BIM часто влечет за собой изменение ролей и участия участников проекта. Например, появляется новая роль BIM-менеджера, отвечающего за координацию и управление BIM-процессами, а также обучение и поддержку сотрудников [9]. Также меняется роль архитекторов и инженеров, которые должны научиться работать с 3D-моделями и использовать BIM-инструменты для анализа и оптимизации проектных решений [10]. В рамках исследования будут рассмотрены как теоретические аспекты, так и практические примеры применения BIM в различных строительных компаниях с целью выявить лучшие практики и основные проблемы, возникающие при переходе к новым моделям управления строительством.

Приведенные выше исследования формулируют основную проблему – внедрение новых технологий осложнено необходимостью перестройки бизнес-процессов, изменениями в управленческих практиках и интеграцией новых технологий в уже установленные рабочие процессы.

Материалы и методы

В статье для исследования BIM в сфере коммуникаций и взаимодействия организационных структур будет использован комплексный подход. Это позволит получить более глубокое и объективное представление о внедрении BIM и сформулировать практические рекомендации для построения компаний.

Результаты

Представленные результаты исследования, основанные на использовании методов – обзор литературы, детальный анализ кейс-стади и массового опроса, обеспечивают комплексное влияние BIM на коммуникацию, взаимодействие и организационные структуры в строительном проекте. Исследование выявило не только преимущества BIM, но и проблемы, возникающие у участников строительного процесса при переходе к новой парадигме.

1. Изменения в коммуникациях и информации:

- **улучшенная прозрачность и визуализация:** использование BIM-моделей значительно повышает прозрачность проектной информации. Ключевым моментом является то, что визуализация в 3D-связи с различными заинтересованными сторонами, включая заказчиков, часто не соблюдает глубокие технические указания [1]. Опрос показал, что **92 % респондентов** отметили улучшение понимания проекта благодаря видимости BIM-моделей, особенно на начальных стадиях. Примеры кейс-стади, такие как использование BIM-моделей на заседаниях, позволяют быстрее выявлять и разрешать коллизии, что приводит к сокращению количества запросов на раскрытие и переделку;

- **повышение эффективности коммуникаций и сокращение времени принятия решений:** централизация информации в BIM-моделях способствует повышению эффективности коммуникаций. Результаты опроса показывают, что **80 % респондентов** отмечают измерение времени, затрачиваемого на поиск информации. Анализ протоколов совещаний кейс-стади подтвердил, что благодаря BIM-модели заседания стали более структурированными, время, затрачиваемое на принятие решений, сократилось в среднем на **15–20 %**;

- **улучшение координации и снижение количества ошибок:** BIM играет ключевую роль в улучшении координации между различными дисциплинами [5]. Анализ кейс-стади показал, что BIM-модели позволяют выявить коллизии и несоответствия в проекте на более поздних стадиях, что приводит к уменьшению количества ошибок. Опрос показал, что **75 % респондентов** отметили снижение количества ошибок и переделок в проектах, использующих BIM;

- **улучшение взаимодействия с поставщиками и субподрядчиками:** BIM поддерживает взаимодействие с поставщиками и субподрядчиками. Кейс-стади показал, что предоставление доступа к BIM-моделям позволяет поставщикам и субподрядчикам лучше планировать поставки и работу, что приводит к сокращению задержек и повышению эффективности работы. Опрос показал, что **68 % респондентов** отметили улучшение взаимодействия с поставщиками и субподрядчиками;

- **развитие культуры совместной работы:** BIM способствует развитию культуры совместной работы участников проекта. Предварительный просмотр в 3D и возможность совместной работы с BIM-моделью обеспечивают более тесное сотрудничество и обмен информацией [7].

2. Трансформация организационных структур:

- **переход к проектно-ориентированным командам:** внедрение BIM требует перехода от иерархических структур к гибким проектным командам. Опрос показал, что 70 % респондентов считают, что команда получает выгоду от BIM. Кейс-стади подтверждает, что успешные BIM-проекты основаны на деятельности кросс-функциональных специалистов из разных регионов;

- **появление новых ролей и обязанностей:** внедрение BIM приводит к появлению новых ролей, таких как BIM-менеджер, BIM-координатор, BIM-модельер [9]. Опрос показал, что **65 % респондентов** прогнозируют появление новых ролей в своих организациях после внедрения BIM. Кейс-стади продемонстрировал, что BIM-менеджеры играют ключевую роль в конкуренции и управлении BIM-процессами;

- **изменение ролей и обязанностей архитекторов и инженеров:** BIM также влияет на роль архитекторов и инженеров, которые должны научиться работать с 3D-моделями и использовать BIM-инструменты для анализа и оптимизации проектных решений [10]. Ключевым моментом является то, что успешные BIM-проекты характеризуются активным привлечением архитекторов и инженеров в процесс проектирования и планирования.

3. Факторы, влияющие на успешное внедрение BIM:

- стратегическое планирование и поддержка со стороны руководства;
- комплексное обучение и повышение квалификации;
- разработка и внедрение стандартов BIM;
- поддержка открытых стандартов (IFC);
- развитие культуры сотрудничества;

Обсуждение

Настоящее исследование, подтвержденное анализом литературы, кейс-стади и опросом, показывает, что BIM трансформирует методы строительства, влияя на коммуникацию, взаимодействие и организацию. Работа опирается на труды Брайда, Истмана, Кригеля и Брэдли, направленные на повышение прозрачности, эффективности коммуникаций и конкуренции. Исследование углубляет понимание этих процессов, требующих изменений в организационной культуре (Хардин, МакКул, Себастьян, ван Берло) и перехода к проектным командам с децентрализацией принятия решений, что крайне важно для достижения развития BIM.

Данное исследование показало, что BIM улучшает коммуникацию (централизованное хранение, 3D-визуализация) и взаимодействие с поставщиками/субподрядчиками (планирование, риски).

Ограничения исследования: кейс-стади ограничены масштабными проектами, опрос – опыт респондентов, фокус на крупных компаниях.

Рекомендации для последующих исследований: ускорить выбор проектов/участников, оценить влияние BIM на разные проекты и МСП, разработать стандарты BIM, перейти к гибким структурам для максимального использования BIM и адаптации к изменениям в отрасли.

Выводы

BIM оказывает положительное влияние на коммуникацию и взаимодействие, улучшает доступность и прозрачность информации, визуализируя проект и сокращая количество ошибок [3]. Централизованным хранилищам информации и оставлена совместная работа над моделью.

Внедрение BIM требует трансформации организационных структур. Традиционные часто не соответствуют принципам совместной работы, поэтому необходим переход к более гибким структурам, предусматривающим кросс-функциональные команды и внедрение новых ролей [17].

Успешное внедрение BIM требует комплексного подхода, поддержки управления, обучения, разработки стандартов, культуры и мониторинга эффективности. BIM обеспечивает взаимодействие с поставщиками и субподрядчиками. Основные трудности условий: устойчивость к изменениям, нехватка специалистов и высокие затраты.

Литература

1. Истман, К.М. Справочник BIM : Руководство по информационному моделированию зданий для владельцев, менеджеров, архитекторов, инженеров, подрядчиков и производителей / К.М. Истман, П. Тейхольц, Р. Сакс, К. Листон. – John Wiley & Sons, 2018. – 648 с.
2. Суккар, Б. Структура информационного моделирования зданий: фундамент для исследований и поставок / Б. Суккар // Автоматизация в строительстве. – 2009. – № 18(3). – С. 357–375.
3. Брайд, Д. Преимущества информационного моделирования зданий (BIM) для проектов / Д. Брайд, М. Брокетас, Дж.М. Волм // Международный журнал управления проектами. – 2013. – № 31(7). – С. 971–980.
4. Бернштейн, П.Г. Управление строительными проектами / П.Г. Бернштейн. – Pearson Education, 2007.
5. Кригель, Э. BIM для владельцев зданий и застройщиков: экономическое обоснование использования BIM в проектах / Э. Кригель, Д. Брэдли. – John Wiley & Sons, 2008.
6. Себастьян, Р. BIM на малых и средних предприятиях: практическое руководство / Р. Себастьян, Л. ван Берло. – Routledge, 2010.
7. Хардин, Б. BIM и управление строительством: проверенные инструменты, методы и рабочие процессы / Б. Хардин, Д. МакКул. – John Wiley & Sons, 2015.
8. Факторы успеха развития BIM-технологий в строительстве // Стройка. – 2017. – № 10. – С. 12–15.
9. Смит, Д.К. Информационное моделирование зданий : стратегическое руководство по внедрению для архитекторов, инженеров, строителей и управляющих активами недвижимости / Д.К. Смит, М. Тардиф. – John Wiley & Sons, 2009.
10. Ли, С. Что обеспечивает хорошую производительность проекта BIM? / С. Ли, Дж. Кунц, М. Фишер, Р. Левитт // Автоматизация в строительстве. – 2006. – № 15(2). – С. 164–173.

References

1. Istman, K.M. Spravochnik BIM : Rukovodstvo po informatcionnomu modelirovaniu zdanii dlia vladeltcev, menedzherov, arkhitektorov, inzhenerov, podriadchikov i proizvoditelei / K.M. Istman, P. Teikholtc, R. Saks, K. Liston. – John Wiley & Sons, 2018. – 648 c.
2. Sukkar, B. Struktura informatcionnogo modelirovaniia zdanii: fundament dlia issledovaniia i postavok / B. Sukkar // Avtomatizatsiia v stroitelstve. – 2009. – № 18(3). – S. 357–375.
3. Braid, D. Preimushchestva informatcionnogo modelirovaniia zdanii (BIM) dlia proektov / D. Braid, M. Broketas, Dzh.M. Volm // Mezhdunarodnyi zhurnal upravleniia proektami. – 2013. – № 31(7). – S. 971–980.
4. Bernstein, P.G. Upravlenie stroitelnyimi proektami / P.G. Bernstein. – Pearson Education, 2007.
5. Krigel, E. BIM dlia vladeltcev zdanii i zastroishchikov: ekonomicheskoe obosnovanie ispolzovaniia BIM v proektakh / E. Krigel, D. Bredli. – John Wiley & Sons, 2008.

6. Sebastian, R. BIM na malykh i srednikh predpriatiiakh: prakticheskoe rukovodstvo / R. Sebastian, L. van Berlo. – Routledge, 2010.
7. Khardin, B. BIM i upravlenie stroitelstvom: proverennye instrumenty, metody i rabochie protsessy / B. Khardin, D. MakKul. – John Wiley & Sons, 2015.
8. Faktory uspekha razvitiia BIM-tekhnologii v stroitelstve // Stroika. – 2017. – № 10. – S. 12–15.
9. Smit, D.K. Informatcionnoe modelirovanie zdaniy : strategicheskoe rukovodstvo po vnedreniiu dlia arkhitektorov, inzhenerov, stroitelei i upravliaiushchikh aktivami nedvizhimosti / D.K. Smit, M. Tardif. – John Wiley & Sons, 2009.
10. Li, S. Chto obespechivaet khoroshuiu proizvoditelnost proekta BIM? / S. Li, Dzh. Kuntc, M. Fisher, R. Levitt // Avtomatizatsiia v stroitelstve. – 2006. – № 15(2). – S. 164–173.

Impact of BIM on Communications and Interactions between Construction Project Participants Analysis Of Changes in Organizational Structures

A.V. Baulin, A.A. Anisimov

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

Key words and phrases: TIM; organizational structures; construction production; construction; efficiency improvement.

Abstract. The study aims to identify and evaluate the impact of BIM technology on communication and interaction processes between construction project participants, and to identify and evaluate changes in the organizational structures of construction companies caused by BIM implementation. The objectives are to analyze the theoretical and methodological foundations for the study of BIM in nine communication and interaction in construction; to identify the key factors affecting the communication and interaction of construction project participants in the traditional process; to analyze how BIM affects the stability and cooperation between different disciplines and departments in a construction project. The hypothesis of the research suggests that the implementation of BIM in project construction leads to an increase in the effectiveness of communication and interaction between participants, and requires the adaptation of structural companies to realize the full capability of BIM in this area. An integrated approach was used in the study. As a result of the study, it has been found that BIM is a powerful tool to improve communication, collaboration and coordination between local construction projects. Implementing BIM requires significant changes in companies' construction organizational structures, including creating new roles, managing project-oriented teams, and developing new processes. Successful BIM implementation can increase efficiency, reduce costs, and improve the quality of construction projects.

© A.B. Баулин, А.А. Анисимов, 2025

УДК 69

Проблемы и решения при внедрении ТИМ-технологий и цифровых двойников в существующие организационные структуры управления строительным производством

А.В. Баулин, А.А. Анисимов, В.С. Лоткин

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

Ключевые слова и фразы: ТИМ; цифровой двойник; организационная структура; строительное производство; строительство; повышение эффективности; снижение затрат.

Аннотация: цель: выявить и рассмотреть основные проблемы, возникающие при внедрении технологий информационного моделирования (ТИМ) и цифровых двойников в организационных структурах управления строительным производством, а также предложить возможные решения для преодоления этих проблем и повышения эффективности технологий обработки данных. Задачи: провести анализ существующих организационных структур управления строительным производством; выявить и классифицировать основные проблемы, возникающие при внедрении ТИМ-технологий; выявить и классифицировать основные проблемы, возникающие при внедрении технологий цифровых двойников; проанализировать причины возникновения выявленных проблем. Гипотеза: основными проблемами, которые приводят к эффективному внедрению ТИМ-технологий и цифровых двойников в организациях, являются: недостаточная квалификация персонала в области BIM и цифровых двойников, сопротивление изменениям со стороны сотрудников, нечеткое управление ролями и ответственностью в рамках BIM-процессов, отсутствие стандартизации и унификации BIM-моделей, а также недостаточная интеграция ТИМ-технологий с существующими методами управления. Разрешение этих проблем требует пересмотра организационной структуры, обучения обучающих программ и разработки стандартов BIM. Метод: использование ком-

плексного подхода. Достигнутые результаты: успешное внедрение ТИМ-технологий и цифровых двойников в строительное производство требует комплексного подключения, предполагающего не только технологические, но и организационные изменения. Ключевыми факторами успеха являются поддержка сопровождения, квалифицированный персонал, четкая стратегия, единые стандарты и протоколы, а также интеграция с существующими цепочками поставок. Внедрение ТИМ-технологий и цифровых двойников позволяет повысить эффективность управления строительным производством, снизить затраты и улучшить качество производства.

Введение

Внедрение технологий информационного моделирования (ТИМ/BIM) и цифровых двойников в строительную отрасль является большим шагом вперед, позволяющим улучшить координацию, снизить затраты, повысить качество и изменить настройки. Однако интеграция этих технологий в организационные структуры связана с проблемами, включающими необходимость значительных изменений в рабочих процессах, высоких начальных инвестиций и организационной трансформации. Современная строительная отрасль активно адаптируется к цифровым трансформациям, используя ТИМ для создания цифровых моделей объектов и цифровых двойников для диптихов и прогнозирования характеристик производительности в кратчайшие сроки.

В качестве примеров успешного применения ТИМ можно привести данные, представленные в работе С. Eastman и его коллег. Они подчеркивают, что ТИМ позволяет сократить затраты на строительство на 20–30 % за счет минимизации ошибок, улучшения управления данными и конкуренции [1]. Авторы приводят примеры из практики, где внедрение ТИМ способствовало сокращению сроков проектирования и строительства, уменьшению числа коллизий в строительных чертежах и улучшению качества конечного продукта. Например, в одном из кейсов ТИМ сократили количество изменений в проекте на 55 %, что положительно повлияло на время реализации.

Что касается цифровых двойников, то их использование открывает дополнительные возможности для управления эксплуатацией объектов. В исследовании J. Zhang и его коллег описывается случай применения цифровых двойников для мониторинга инженерных систем зданий [2]. В ходе работы исследователи разработали систему, которая анализировала данные с датчиков, выявляя неисправности и прогнозируя отказы. Это привело к сокращению расходных затрат на 15 % и уменьшению времени на обслуживание на 25 %.

Однако, несмотря на очевидные преимущества, внедрение ТИМ и цифровых двойников сталкивается с рядом проблем. Одной из ключевых трудностей является сопротивление изменениям внутри организаций. J. Won и G. Lee [3] отмечают, что основной барьер – нехватка квалифицированных специалистов и опасения по поводу высоких начальных затрат на ПО, оборудование и обучение. Решением может стать внедрение образовательных программ для популяризации ТИМ и повышения квалификации.

Технологические барьеры, такие как несовместимость ПО, также затрудняют внедрение ТИМ. С. Wang и др. [4] указывают на то, что разные платформы у подрядчиков, проектировщиков и заказчиков усложняют передачу данных, вызывая дублирование, ошибки

и задержки. Решение – разработка единого стандарта обмена данными, например на основе **IFC**.

Для разрешения проблем несовместимости данных используется международный стандарт ISO 19650-1, который регламентирует процессы обмена, хранения и актуализации информации на основе ТИМ, повышения совместимости ПО и эффективности проектов [13]. В России аналогичная работа ведется в рамках ГОСТ Р 57559-2017, который регламентирует правила выполнения информационной модели зданий и сооружений на различных стадиях проектирования, строительства и эксплуатации [14].

Внедрение ТИМ и цифровых двойников значительно повышает эффективность проектирования, изготовления и эксплуатации. ТИМ создают детализированные цифровые модели с информацией о проекте по всем аспектам – улучшение управления и снижение рисков [5]. Цифровые двойники, в свою очередь, предоставляют реальное время для отображения физических объектов, что позволяет управлять ими с высокой степенью точности и оперативности. Это особенно важно для мониторинга состояния строящихся объектов и их последующей эксплуатации, что подтверждается исследованиями в области цифровых двойников в строительстве [6].

Внедрение ТИМ и цифровых двойников, несмотря на преимущества, осложнено техническими, организационными и человеческими факторами. К техническим проблемам относится несовместимость ПО. Например, автор работы [7] указывает на проблемы, связанные с интеграцией различных ТИМ-платформ и стандартов обмена данными, что часто приводит к потере информации или ее некорректному восприятию, а к организационным относит необходимость перестройки бизнес-процессов и изменения культур [8].

В работе [9] исследуются принципы и сложность строительства ТИМ. Исследователь указывает на необходимость поэтапных изменений, затрагивающих все аспекты компании, а также стабильность со стороны политики руководства. Особое внимание уделяется изменению стоимости, которая может стать неподъемной для туалетного бизнеса.

Помимо развития технологий, необходимо уделить внимание понятию «управление строительным производством». Управление строительным производством – это комплекс мер по координации, планированию, организации и контролю строительного процесса для достижения целей проекта (бюджет, своевременность, качество), включая управление ситуацией, безопасностью и соблюдение нормативов.

Современные исследования определяют направление развития цифровых технологий (**BIM**, **IoT**, цифровые двойники) в управлении строительным производством. Например, в статье [10] авторы анализируют, что эти технологии улучшают прогнозирование, коммуникацию и мониторинг, повышая эффективность управления проектами.

Другой аспект управления строительным производством касается устойчивого развития. В исследовании [11] подчеркивается важность интеграции принципов устойчивости в управление строительными проектами. Авторы акцентируют внимание на том, что управление должно учитывать экологические, социальные и экономические аспекты, что требует новых подходов к планированию и реализации проектов.

Приведенные выше исследования формулируют основную проблему – внедрение новых технологий осложнено необходимостью перестройки бизнес-процессов, изменениями в управленческих практиках и интеграцией новых технологий в уже установленные рабочие процессы.

Материалы и методы

Для проведения данного исследования использовался комплексный подход, включающий литературный обзор и изучение реальных примеров проектов, где были применены ТИМ и цифровые двойники.

Данный подход позволяет оценить опыт абсолютно разных представителей отрасли и выделить ключевые моменты, требующие отдельного внимания не только участников процесса, но и науки в целом.

Результаты

Связь цифрового двойника и ТИМ-технологии формируется как следствие одного из другого, где разрабатываемая модель является прародителем будущего элемента цифровой копии проекта. Для понимания того, как реализуется внедрение таких технологий, а также проблематики согласованности организационных структур обратимся к примеру реальных объектов.

Применение цифровых двойников в строительной отрасли хотя и обладает значительным потенциалом, на данный момент остается относительно редким явлением. Тем не менее успешные примеры их внедрения уже дают возможность оценить преимущества этой технологии.

Примером крупного проекта с использованием современных технологий является строительство Лахта-центра в Санкт-Петербурге. На всех этапах было выполнено цифровое моделирование, наблюдались сложные климатические условия и возлагалась нагрузка на инженерные системы. Цифровой двойник моделей фасадов, привлеченных и инженерных сетей минимизировал ошибки при строительстве. Использование двойного двойника для диптихов, управления энергоэффективностью и планирования ремонтных работ позволяет снизить расходы на 15 % [15].

Еще один пример – реконструкция стадиона «Лужники» к ЧМ-2018. Был произведен цифровой двойной контроль всех элементов конструкций, систем и инфраструктуры с высокой точностью при планировании работ. Модель помогала протестировать условия эксплуатации, включая эвакуацию. Модернизация цифрового двойника, используемого для управления объектом, привела к сокращению расходов на 20 % и повышению надежности работы системы [16].

Рассмотрев все вышеизложенные примеры, выделим следующие блоки и проблемы:

- **технические проблемы:** инфраструктура IT: многие компании сталкиваются с необходимостью модернизации IT-систем для поддержки ТИМ. Программное обеспечение: высокая стоимость лицензий на специализированное ПО;
- **человеческий фактор:** обучение: недостаток квалифицированных специалистов, требующих специализированного обучения. Сопротивление изменениям: психологический барьер среди сотрудников, связанный с изменением рабочих процессов;
- **организационные проблемы:** корпоративная культура: необходимость изменения корпоративной культуры для принятия инноваций. Координация: проблемы в координации между различными подразделениями и внешними партнерами;
- **финансовые аспекты:** начальные инвестиции: высокие затраты на внедрение, которые могут быть неподъемными для малых и средних предприятий. ROI: трудности в оценке возврата на инвестиции из-за долгосрочной природы выгод от ТИМ.

Обсуждение

Строительная отрасль является одним из драйверов экономики страны и имеет большое количество направлений. Одной из особенностей всегда являлась вариативность формата управления строительной организацией и производством. Этот аспект – неотъемлемая часть отрасли в силу специфичности и уникальности каждого объекта. Для более линейных объектов, таких как жилое строительство, во многом уже сформированы типовые подходы, используемые девелоперами по всей стране. Рассматривая промышленное строительство или возведение уникальных зданий, необходимо применять иные формы ведения проекта, в том числе и в части управления процессом.

В настоящий момент общепринято выделять следующие формы организационных структур управления строительным производством [12].

Централизованные и децентрализованные структуры управления: особенности и применение

Организационные структуры управления (централизованные и децентрализованные) важны для планирования эффективности и контроля в строительстве. Централизованные структуры жестко регламентированы, решения принимаются на уровне переговоров. Децентрализованные структуры (проектные, матричные, сетевые) обеспечивают эффективное распределение ресурсов и быстрый процесс изменения.

Современные вызовы в управлении строительным производством

Главная проблема – заблуждение, что современные технологии полностью заменяют человека в управлении проектами. ТИМ и цифровые двойники – это инструменты, помогающие специалистам, но не заменяющие их опыт и навыки.

Роль ТИМ и цифровых двойников как инструментов управления

ТИМ и цифровые двойники расширяют возможности управления строительными проектами. ТИМ детализируют проектирование, оптимизируют взаимодействие и минимизируют ошибки. Цифровые двойники позволяют отслеживать состояние объекта на начальном этапе и прогнозировать риски. Однако эти технологии требуют участия специалистов для получения качественных данных и принятия решений.

Интеграция технологий в строительное производство: преимущества и вызовы

Внедрение ТИМ и цифровых двойников в части пересмотра подходов к управлению в строительстве требует не только технической подготовки, но и изменения культуры управления: понимания, что эти технологии – инструменты для улучшения скорости, качества и безопасности, а не замены человеческого участия.

Выводы

Для повышения эффективности деятельности строительной компании необходимо инвестировать в развитие и внедрение технологий, которые позволят корректировать структуру, кадровый потенциал и, благодаря использованию мягкому внедрению и обучению, автоматизировать процессы с помощью ТИМ. Оптимизированная структура должна быть

простой и адаптивной, в результате чего она станет цифровым двойником, что значительно повысит качество, безопасность и экономический эффект.

Таким образом, главная задача строительства предприятий – упрощение взаимодействия, четкое определение функций, удобное согласование процессов и рациональная координация с помощью ТИМ. Важно не только правильно выстраивать процессы, но и инвестировать в обучение и внедрение технологий. Понимание технологий как инструмента – залог эффективности управления строительной компанией.

Литература

1. Eastman, C. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers / C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. – 3rd ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. – 648 p.
2. Zhang, J. Digital twin-driven BIM-based approach for building operation and maintenance / J. Zhang, Y. Chen, Z. Lv // Automation in Construction. – 2020. – Vol. 116. – P. 103179. – DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103179.
3. Won, J. Identifying the factors that influence BIM acceptance in construction organizations / J. Won, G. Lee // Automation in Construction. – 2016. – Vol. 68. – P. 194–202. – DOI: 10.1016/j.autcon.2016.05.018.
4. Wang, C. Integration of BIM and Internet of Things for smart construction management: A review / C. Wang, L. Ding, Y. Zou // Automation in Construction. – 2020. – Vol. 122. – P. 103517. – DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103517.
5. Ожгибесова, К.Е. Технологии информационного моделирования (ТИМ) в строительстве РФ: особенности применения на различных стадиях жизненного цикла объекта / К.Е. Ожгибесова, Р.Р. Мингареева, С.Р. Сондуева // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2021. – № 11-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-informatsionnogo-modelirovaniya-tim-v-stroitelstve-rf-osobennosti-primeneniya-na-razlichnyh-stadiyah-zhiznennogo-tsikla>.
6. Ghaffarianhoseini, A. Building Information Modelling (ТИМ) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges / A. Ghaffarianhoseini, J. Tooke, A. Ghaffarianhoseini et al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 75. – P. 1046–1053.
7. Красиков, В.Е. Обзор основных характеристик и проблем при интеграции информационных систем / В.Е. Красиков // Вопросы науки и образования. – 2020. – № 15(99) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-osnovnyh-harakteristik-i-problem-pri-integratsii-informatsionnyh-sistem>.
8. Alreshidi, E. Factors affecting the adoption of building information modelling in the Saudi Arabian construction industry: An empirical analysis / E. Alreshidi, M. Mourshed, Y. Rezgui // International Journal of Construction Management. – 2017. – Vol. 17(3). – P. 182–201.
9. Уфимцева, С.Н. Сложности внедрения BIM-технологий в строительную организацию / С.Н. Уфимцева // Молодой ученый. – 2022. – № 11(406). – С. 185–188. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://moluch.ru/archive/406/89522/>.
10. Oesterreich, T.D. The impact of digital technologies on construction performance: A review / T.D. Oesterreich, F. Teuteberg // Journal of Construction Engineering and Management. – 2019. – Vol. 145(2). – Art. 04018122.
11. Kajikawa, Y. Sustainable construction project management: A conceptual framework / Y. Kajikawa, J. Mori, I. Sakata // Sustainability. – 2020. – Vol. 12(3). – Art. 1023.

12. Тухарели, А.В. Организационная структура управления строительным предприятием и принципы ее формирования / А.В. Тухарели, Т.Ф. Чередниченко, З.С. Басангова // ИВД. – 2019. – № 5(56). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionnaya-struktura-upravleniya-stroitelnyim-predpriyatiem-i-printsipy-ee-formirovaniya>.

13. ISO 19650-1: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling – Information management using building information modelling. – Geneva : ISO, 2018.

14. ГОСТ Р 57559–2017. Межгосударственный стандарт. Информационное моделирование зданий и сооружений. Правила выполнения информационной модели зданий и сооружений на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации. Введ. 2017-12-01. – М. : Стандартинформ, 2017.

15. Лахта Центр : официальный сайт проекта. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.lahta.center>.

16. Проект реконструкции стадиона «Лужники». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.luzhniki.ru>.

References

5. Ozhgibesova, K.E. Tekhnologii informatcionnogo modelirovaniia (TIM) v stroitelstve RF: osobennosti primeneniia na razlichnykh stadiakh zhiznennogo tsikla obekta / K.E. Ozhgibesova, R.R. Mingareeva, S.R. Sondueva // Gumanitarnye, sotcialno-ekonomicheskie i obshchestvennye nauki. – 2021. – № 11-1 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-informatsionnogo-modelirovaniya-tim-v-stroitelstve-rf-osobennosti-primeneniya-na-razlichnyh-stadiyah-zhiznennogo-tsikla>.

7. Krasikov, V.E. Obzor osnovnykh kharakteristik i problem pri integratsii informatcionnykh sistem / V.E. Krasikov // Voprosy nauki i obrazovaniia. – 2020. – № 15(99) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-osnovnyh-harakteristik-i-problem-pri-integratsii-informatsionnyh-sistem>.

9. Ufimtceva, S.N. Slozhnosti vnedreniia BIM-tekhnologii v stroitelnuu organizatciu / S.N. Ufimtceva // Molodoi uchenyi. – 2022. – № 11(406). – S. 185–188 [Electronic resource]. – Access mode : <https://moluch.ru/archive/406/89522/>.

12. Tukhareli, A.V. Organizatsionnaia struktura upravleniia stroitelnyim predpriatiem i printcipy ee formirovaniia / A.V. Tukhareli, T.F. Cherednichenko, Z.S. Basangova // IVD. – 2019. – № 5(56). – [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionnaya-struktura-upravleniya-stroitelnyim-predpriyatiem-i-printsipy-ee-formirovaniya>.

14. GOST R 57559–2017. Mezghosudarstvennyi standart. Informatcionnoe modelirovanie zdani i sooruzhenii. Pravila vypolneniia informatcionnoi modeli zdani i sooruzhenii na stadiakh proektirovaniia, stroitelstva i ekspluatatsii. Vved. 2017-12-01. – М. : Standartinform, 2017.

15. Lakhta Tcentr : ofitcialnyi sait proekta. – [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.lahta.center>.

16. Proekt rekonstrukcii stadiona "Luzhniki". – [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.luzhniki.ru>.

Problems and Solutions when Implementing Information Modeling Technologies and Digital Twins into Existing Organizational Structures of Construction Production Management

A.V. Baulin, A.A. Anisimov, V.S. Lotkin

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

Key words and phrases: IMT; digital twin; organizational structure; construction production; construction; efficiency improvement; cost reduction.

Abstract. The purpose of the study is to identify and review the main problems encountered with information modeling technologies (IMTs) and digital twins in construction management organizational structures, and to propose possible solutions to overcome these problems and improve the efficiency of data processing technologies. The objectives are to analyze the existing organizational structures of construction production management; to identify and classify the main problems arising in the implementation of IMTs; to identify and classify the main problems arising in the implementation of digital twin technologies; to analyze the causes of the identified problems. The hypothesis assumes that the main problems that lead to effective implementation of IMTs and digital twins in organizations are: insufficient qualification of personnel in the field of BIM and digital twins, resistance to change on the part of employees, unclear management of roles and responsibilities within BIM-processes, lack of standardization and unification of BIM-models, as well as insufficient integration of IMTs with existing management methods. Solving these problems requires revision of organizational structure, training of training programs and development of BIM standards. An integrated approach has been used. Successful implementation of TIM technologies and digital twins in construction production requires a comprehensive connection that includes not only technological but also organizational changes. Key success factors include supportive maintenance support, qualified personnel, a clear strategy, uniform standards and protocols, and integration with existing supply chains. The introduction of IMTs and digital twins can improve the efficiency of construction production management, reduce costs and improve the quality of production.

© А.В. Баулин, А.А. Анисимов, В.С. Лоткин, 2025

УДК 69.05

Теоретические основы повышения качества строительного процесса через улучшение сопряжения разнородных процессов

П.А. Говоруха, Д.В. Равочкин, И.А. Снегирев

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

Ключевые слова и фразы: качество строительства; сопряжение разнородных процессов; строительный процесс; цифровизация; BIM; CPM; Lean Construction; PERT.

Аннотация. В статье рассматриваются современные методологии повышения качества строительного процесса через улучшение сопряжения разнородных процессов, включая инженерно-монтажные и отделочные работы. Целью исследования является анализ существующих подходов (**CPM**, **PERT**, Lean Construction, **BIM**) и выявление их преимуществ, ограничений и перспективных направлений развития. Применены методы сравнительного анализа и критического рассмотрения практических аспектов внедрения цифровых технологий в строительство. В результате исследования обнаружены проблемы недостаточной гибкости традиционных методологий, сложности внедрения BIM и Lean Construction, а также влияние цифровизации на повышение эффективности строительного процесса.

Современные подходы и методологии в строительстве

Сегодня в строительстве особое внимание уделяется интеграции разнородных процессов с использованием передовых технологий [1]. Большую роль в повышении координации и снижении потерь играют методы, такие как BIM, Lean Construction, IPD и др. Рассмотрим эти подходы более детально.

Методология критического пути (CPM)

Метод критического пути (**CPM**) является широко применяемым методом планирования строительных проектов. В основе CPM лежит концепция последовательности задач, выполнение которых влияет на продолжительность проекта. Этот метод помогает определить задачи, которые критичны для соблюдения сроков. Диаграмма критического пути представлена на рис. 1.

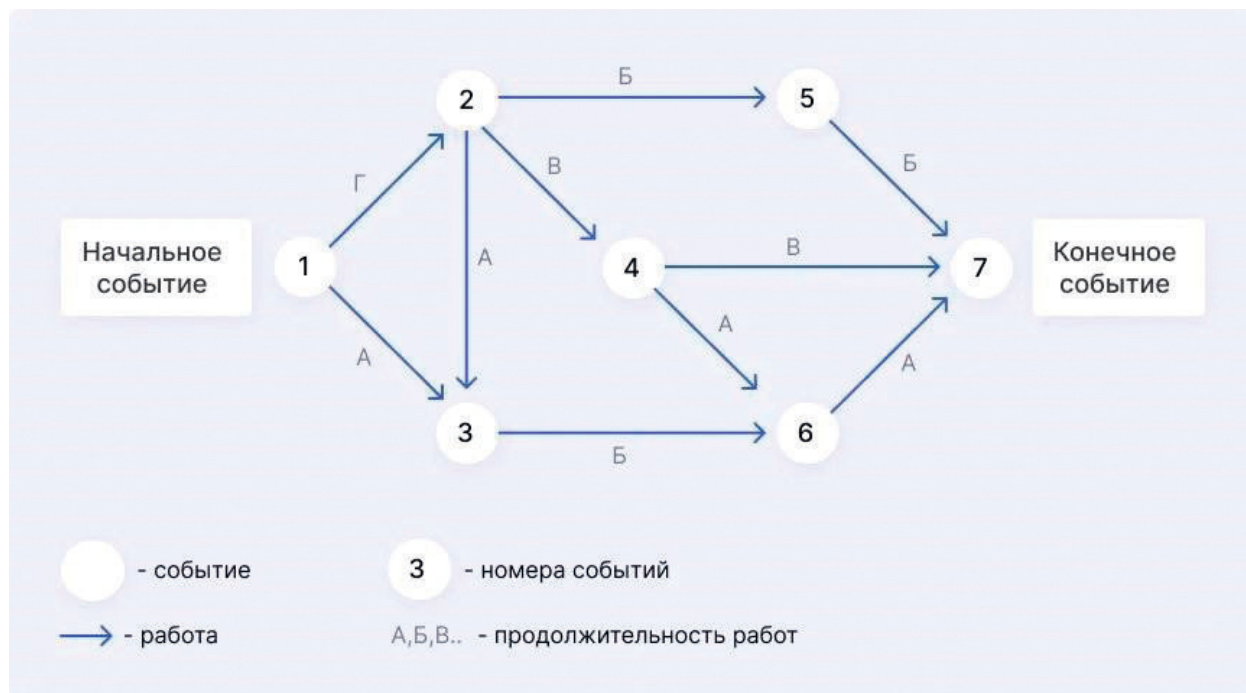


Рис. 1. Диаграмма критического пути (CPM)

Процесс внедрения CPM включает несколько этапов:

- разделение проекта на задачи;
- определение зависимостей между задачами;
- определение времени, необходимого для выполнения каждой задачи;
- построение графика и выделение критического пути.

Тем не менее метод CPM имеет ограничения. Он ориентирован на заранее определенные сроки, что делает его малогибким при возникновении неожиданных ситуаций. В современных условиях CPM часто комбинируется с другими методологиями, например с Lean Construction или BIM, что позволяет более точно планировать и минимизировать риски.

Методология PERT

Метод **PERT** используется для управления проектами, где существует высокая степень неопределенности. В отличие от CPM, PERT опирается на оценку вероятности задержек и неопределенности в сроках.

Процесс PERT включает следующие этапы:

- определение задач проекта;
- оценка времени выполнения задач на основе оптимистичного, пессимистичного и наиболее вероятного времени;
- расчет временных вероятностей и создание графика с учетом вероятности завершения работ в различные сроки.

Метод PERT эффективен в гибких графиках, когда время выполнения работ сложно предсказать. Однако он требует точных данных и высокой квалификации для корректной оценки вероятностей.



Рис. 2. Принципы BIM

Методология Lean Construction

Lean Construction – это методология, основанная на принципах бережливого производства, изначально разработанных для промышленности. В строительстве этот подход направлен на минимизацию потерь – времени, ресурсов, материалов и трудозатрат. Цель Lean – постоянно улучшать процессы и оптимизировать их с учетом реальных условий [2].

Основные принципы Lean Construction:

- снижение потерь – устранение неэффективных процессов, которые не добавляют ценности конечному продукту;
- оптимизация логистики и поставок – улучшение процессов поставки материалов и их правильное использование для сокращения времени простоя;
- непрерывные улучшения – внедрение инноваций и технологий на всех этапах строительства;
- гибкость и адаптивность – быстрая адаптация к изменениям и неожиданным обстоятельствам, что важно для сложных инженерных и отделочных работ.

Методология BIM (Building Information Modeling)

BIM (Building Information Modeling) является наиболее современным подходом к строительству, который активно используется в крупных проектах по всему миру. Принципы BIM отражены на рис. 2. BIM представляет собой интеграционную модель, объединяющую все этапы проектирования, строительства и эксплуатации зданий в единую цифровую модель [2; 3].

Преимущества BIM:

- интеграция всех этапов проекта в одну 3D-модель, доступную для всех участников проекта;
- прогнозирование возможных проблем до начала строительства, таких как ошибки в проекте, пересечение труб и конструкций;

- управление данными на всех этапах – проектирование, поставка материалов, изменения в проекте и коммуникации между участниками.

Критический анализ существующих подходов и аналогов

Несмотря на достижения в области методологий и внедрения новых технологий, существующие подходы в строительной практике имеют ряд проблем, которые ограничивают их эффективность при решении задач интеграции разнородных процессов [4].

Проблемы методологии CPM и PERT

Методы CPM и PERT хотя и являются основой для большинства строительных проектов, сталкиваются с рядом ограничений:

- ограниченная гибкость. Метод CPM ориентирован на заранее определенные сроки, что затрудняет его применение в условиях динамично меняющихся факторов. При возникновении непредвиденных ситуаций, таких как задержки поставок или изменения в проекте, CPM оказывается малоэффективным, так как не учитывает возможные изменения в процессе.
- неучет всех рисков. Хотя метод PERT включает вероятностный подход, он не всегда способен учесть все риски, связанные с проектом. Например, непредсказуемые события, такие как изменения в законодательстве, природные катастрофы или кризисы на рынке строительных материалов, могут сильно повлиять на сроки реализации проекта;
- высокие требования к точности данных. Оба метода требуют точных данных для построения графиков, что может быть проблематично в строительных проектах, где часто возникают неопределенности.

Проблемы метода Lean Construction

Несмотря на многочисленные преимущества Lean Construction, в том числе снижение затрат и оптимизацию процессов, этот подход имеет свои сложности:

- высокие требования к квалификации персонала. Для успешного внедрения Lean требуется, чтобы все участники строительного процесса были высококвалифицированы и готовы к постоянному обучению. Это может быть сложно для компаний, работающих с большим количеством сотрудников, особенно в условиях ограниченных ресурсов;
- сопротивление изменениям. Внедрение Lean в организации с устоявшимися процессами может встретить сопротивление, поскольку сотрудники могут не быть готовы к изменениям или предпочитать проверенные методы работы;
- необходимость постоянного мониторинга. Для того чтобы Lean был эффективен, необходим постоянный контроль за всеми этапами строительства, что требует дополнительных затрат времени и ресурсов.

Проблемы внедрения BIM

Методология BIM считается одним из самых перспективных инструментов для интеграции разнородных процессов, однако ее внедрение в строительную практику также сопряжено с рядом проблем:

- высокие начальные затраты. Внедрение BIM требует значительных инвестиций в программное обеспечение, оборудование и обучение персонала. Для малых и средних компаний такие расходы могут быть непосильными;

- недостаток квалифицированных специалистов. Для эффективного использования BIM необходимы специалисты, которые обладают знаниями как в области архитектуры, так и инженерных дисциплин;
- технические сложности интеграции. Внедрение BIM в уже существующие строительные процессы и системы управления проектами может быть технически сложным. Компании могут столкнуться с проблемами синхронизации данных между различными программами и системами.

Заключение

Повышение качества строительного процесса требует комплексного подхода к интеграции разнородных процессов. Применение современных методологий, таких как CPM, PERT, Lean Construction и BIM, позволяет снизить потери, оптимизировать координацию подрядчиков и повысить эффективность строительства. Однако внедрение этих методологий сопряжено с рядом проблем, включая необходимость высокой квалификации персонала, технические сложности и сопротивление изменениям.

Литература

1. Теличенко, В.И. Технология возведения зданий и сооружений : учеб. для строит. вузов / В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лапидус. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2004. – 446 с.
2. Машарипов, В.М. Управление строительными проектами: анализ развития методологий, стандартов, методов и интеграция Lean, BIM и гибких подходов / В.М. Машарипов, В.В. Лучкина // Components of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 11(101). – С. 68–75.
3. Кононенко, В.В. Основы BIM-менеджмента в строительстве / В.В. Кононенко, В.Р. Гученко, Д.Д. Гринев, Д.В. Гулякин // Components of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 5(95). – С. 84–88.
4. Лапидус, А.А. Потенциал эффективности организационно-технологических решений строительного объекта / А.А. Лапидус // Вестник МГСУ. – 2014. – № 1. – С. 175–180.

References

1. Telichenko, V.I. Tekhnologiya vozvedeniia zdanii i sooruzhenii : ucheb. dlia stroit. vuzov / V.I. Telichenko, O.M. Terentev, A.A. Lapidus. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Vyssh. shk., 2004. – 446 s.
2. Masharipov, V.M. Upravlenie stroitelnyimi proektami: analiz razvitiia metodologii, standartov, metodov i integratsiia Lean, BIM i gibkikh podkhodov / V.M. Masharipov, V.V. Luchkina // Somponents of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 11(101). – S. 68–75.
3. Kononenko, V.V. Osnovy BIM-menedzhmenta v stroitelstve / V.V. Kononenko, V.R. Guchenko, D.D. Grinev, D.V. Guliakin // Somponents of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 5(95). – S. 84–88.
4. Lapidus, A.A. Potencial effektivnosti organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenii stroitelnogo obekta / A.A. Lapidus // Vestnik MGSU. – 2014. – № 1. – S. 175–180.

Theoretical Foundations for Improving the Quality of the Construction Process through the Enhancement of Heterogeneous Process Integration

P.A. Govorukha, D.V. Ravochkin, I.A. Snegirev

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

Key words and phrases: digitalization; integration of heterogeneous processes; construction process; construction quality; BIM; CPM; Lean Construction; PERT.

Abstract. This paper explores modern approaches to improving the quality of the construction process by enhancing the integration of heterogeneous processes. Special attention is given to the **CPM**, **PERT**, Lean Construction, and **BIM** methodologies, along with their advantages and limitations. The study examines the challenges of coordinating engineering, installation, and finishing works, as well as the role of digitalization and innovative technologies aimed at increasing the efficiency of construction projects. Additionally, promising industry development directions are presented, including automation, robotics, and sustainable construction.

© П.А. Говоруха, Д.В. Равочкин, И.А. Снегирев, 2025

УДК 69.05

Внедрение гибких систем управления в строительном производстве

П.А. Говоруха, И.А. Снегирев, Д.В. Равочкин

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

Ключевые слова и фразы: гибкие системы управления; строительное производство; инновационные технологии; автоматизация процессов; оптимизация ресурсов; Lean; Agile; Scrum.

Аннотация. В данной статье рассматривается внедрение гибких систем управления, таких как **Agile**, **Scrum** и **Lean**, в строительное производство. Основной целью является анализ эффективности применения гибких методологий для оптимизации процессов управления проектами в строительной отрасли и определение их влияния на производительность и качество. Задачи исследования: изучить теоретические основы и основные принципы Agile, Scrum и Lean; проанализировать текущее состояние управления проектами в строительстве и выявить существующие проблемы, оценить практический опыт внедрения гибких методологий в строительные компании. Гипотеза исследования: предполагается, что внедрение гибких систем управления, таких как Agile, Scrum и Lean, в строительное производство приведет к повышению эффективности работы команд, сокращению сроков выполнения проектов и улучшению качества конечного продукта. Для достижения поставленных целей использовались следующие методы: анализ литературы по методологиям Agile, Scrum и Lean, кейс-стади на примере строительных компаний, успешно применяющих данные подходы. Результаты исследования показали, что применение гибких систем управления в строительстве позволяет сократить сроки выполнения проектов, повысить уровень удовлетворенности клиентов и улучшить взаимодействие внутри команд.

Адаптация строительной отрасли к вызовам современности: внедрение гибких систем управления проектами

В современных условиях динамичного развития экономики и стремительного изменения технологий строительная отрасль сталкивается с рядом вызовов, требующих адаптивных и эффективных методов управления проектами. Традиционные подходы к управлению строительством зачастую оказываются недостаточно гибкими для быстрого реагирования на изменения требований заказчиков, рыночные условия и технологические новшества. В связи с этим внедрение гибких систем управления, таких как Agile, Scrum и Lean, становится особенно актуальным.

Методология Agile

Agile – это методология управления проектами, ориентированная на гибкость, сотрудничество и быструю адаптацию к изменениям. Основные принципы включают акцент на взаимодействии между участниками, работающем продукте, сотрудничестве с заказчиком и способности реагировать на изменения.

Строительная отрасль традиционно ассоциируется с жесткими графиками, фиксированными бюджетами и детализированными планами. Однако в последние годы наблюдается растущий интерес к внедрению Agile-подходов в строительство. Эти методы, изначально разработанные для IT-сферы, предлагают новые возможности для повышения эффективности, гибкости и качества выполнения проектов.

Внедрение Agile в строительстве открывает новые горизонты для повышения эффективности и качества управления проектами. Несмотря на то что этот подход требует изменений в культуре компании и способах взаимодействия, его преимущества могут существенно изменить традиционные методы работы в отрасли. Гибкость, сотрудничество и постоянная обратная связь становятся ключевыми факторами успешной реализации строительных проектов в условиях современного рынка.

Методология Scrum

Scrum – одна из самых широко применяемых Agile-методологий, созданная на рубеже 1990-х годов. Структура Scrum предполагает разделение проекта на максимально короткие в плане времени этапы, называемые спринтами. Продолжительность каждого спринта не более одной – четырех недель. Перед каждым спринтом проходит планирование, во время спринта – работа, после него – тестирование и корректирование.

Самыми важными элементами Scrum являются:

- роли: три основные роли в Scrum: владелец продукта, Scrum-мастер и команда разработчиков;
- артефакты: основные артефакты включают в себя Product Backlog (список требований), Sprint Backlog (список задач для спринта) и Increment (доработанный продукт);
- церемонии: в Scrum предусмотрены регулярные встречи, такие как Sprint Planning (планирование спринта), Daily Scrum (ежедневные стендапы), Sprint Review (обзор спринта) и Sprint Retrospective (ретроспектива).

Scrum направлен на постоянное улучшение, самоорганизацию команды и активное взаимодействие с заинтересованными сторонами и стал крайне популярным в ИТ-индустрии благодаря своей простоте и эффективности.

Методология Lean

Lean-методология фокусируется на минимизации потерь и оптимизации процессов. Включает в себя анализ потоков работ, выявление узких мест и внедрение решений для повышения эффективности. Lean позволяет не только сократить затраты, но и улучшить качество конечного продукта.

Ключевые принципы Lean:

- устранение потерь: определение и минимизация всех видов потерь в процессе производства;
- создание ценности: фокус на создании ценности для клиента путем оптимизации процессов;
- непрерывное улучшение: стремление к постоянному совершенствованию процессов и продуктов;
- участие сотрудников: вовлечение всех сотрудников в процессы улучшения и принятия решений.

Внедрение Lean требует изменений в культуре компании и подходах к управлению проектами, но результаты могут значительно превзойти ожидания. Строительные компании, готовые адаптироваться к принципам бережливого производства, смогут не только повысить свою конкурентоспособность, но и создать более устойчивые и эффективные процессы.

Современные тенденции и будущее

С развитием технологий и изменением рынка гибкие системы управления продолжают эволюционировать. В последние годы наблюдается рост интереса к таким концепциям, как **DevOps** (интеграция разработки и операций), Agile-системы управления проектами в масштабах всей организации (**SAFe**) и использование искусственного интеллекта для улучшения процессов.

Гибкие методологии становятся все более распространенными не только в ИТ-сфере, но и в других отраслях, таких как маркетинг, образование и управление проектами.

Гибкие системы управления, такие как Agile, Scrum и Lean, представляют собой мощные инструменты для повышения эффективности команд и улучшения качества продуктов. Их развитие отражает необходимость адаптации к быстро меняющимся условиям рынка и требованиям клиентов. С течением времени эти методологии будут продолжать развиваться, внедряя новые практики и подходы для достижения лучших результатов.

Преимущества и недостатки существующих подходов

Преимущества:

1. Гибкость: все три методологии (Agile, Scrum и Lean) предлагают высокий уровень гибкости, что позволяет адаптироваться к изменениям в требованиях клиентов и внешней среде.
2. Улучшение коммуникации: эти подходы способствуют более эффективному взаимодействию между участниками проекта, что особенно важно в строительстве, где задействовано множество специалистов.
3. Снижение затрат: Lean-методы помогают выявить и устранить потери, что приводит к снижению затрат и повышению эффективности.
4. Увеличение скорости выполнения проектов: итеративные подходы Agile и Scrum позволяют ускорить процесс выполнения задач за счет фокусировки на результатах.

Недостатки:

1. Сложности внедрения: внедрение Agile и Scrum требует изменения корпоративной культуры и может столкнуться с сопротивлением со стороны сотрудников.
2. Недостаток опыта: в России пока наблюдается нехватка специалистов, знакомых с данными методологиями, что затрудняет их эффективное применение.
3. Необходимость постоянного обучения: для успешного применения Lean-методов требуется постоянное обучение сотрудников, что может быть ресурсозатратным.
4. Риск недооценки традиционных методов: переход на новые методологии может привести к недооценке проверенных традиционных подходов к управлению проектами.

Заключение

Внедрение гибких систем управления в строительное производство – это не просто тренд, а необходимость в условиях современного рынка. Agile, Scrum и Lean предлагают инструменты для повышения эффективности, улучшения качества и снижения затрат. Однако успешная трансформация требует не только внедрения новых методологий, но и пересмотра корпоративной культуры, обучения сотрудников и интеграции цифровых решений. Технологии, такие как BIM, IoT и искусственный интеллект, усиливают потенциал Agile, делая процессы еще более прозрачными и управляемыми. Строительные компании, готовые адаптироваться к новым методам работы, смогут не только выжить в конкурентной среде, но и занять лидирующие позиции на рынке. Будущее отрасли принадлежит тем, кто уже сегодня делает ставку на гибкость, инновации и непрерывное совершенствование.

Литература

1. Машарипов, В.М. Управление строительными проектами: анализ развития методологий, стандартов, методов и интеграция Lean, BIM и гибких подходов / В.М. Машарипов, В.В. Лучкина // Components of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 11(101). – С. 68–75.
2. Преображенская, Т.В. Управление проектами : учеб. пособие / Т.В. Преображенская, М.Ш. Муртазина, А.А. Алетдинова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – 123 С.
3. Малюк, В.И. Стратегический менеджмент. Организация стратегического развития : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В.И. Малюк. – М. : Юрайт, 2017. – 361 с.
4. Чуланова, О.Л. Технология управления проектами и проектными командами на основе методологии гибкого управления проектами Agile // Вестник евразийской науки. – 2018. – 11 с.

References

1. Masharipov, V.M. Upravlenie stroitel'nymi proektami: analiz razvitiia metodologii, standartov, metodov i integratsiia Lean, BIM i gibkikh podkhodov / V.M. Masharipov, V.V. Luchkina // Somponents of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 11(101). – S. 68–75.
2. Preobrazhenskaia, T.V. Upravlenie proektami : ucheb. posobie / T.V. Preobrazhenskaia, M.Sh. Murtazina, A.A. Aletdinova. – Novosibirsk : Izd-vo NGTU, 2018. – 123 S.

3. Maliuk, V.I. Strategicheskii menedzhment. Organizatsiia strategicheskogo razvitiia : uchebnik i praktikum dlia bakalavriata i magistratury / V.I. Maliuk. – M. : Iurait, 2017. – 361 s.
4. Chulanova, O.L. Tekhnologiya upravleniia proektami i proektnymi komandami na osnove metodologii gibkogo upravleniia proektami Agile // Vestnik evraziiskoi nauki. – 2018. – 11 s.

Implementation of Flexible Management Systems in the Construction Industry

P.A. Govorukha, I.A. Snegirev, D.V. Ravochkin

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

Key words and phrases: flexible management systems; construction production; innovative technologies; process automation; resource optimization; Lean; Agile; Scrum.

Abstract. This article discusses the implementation of flexible management systems such as **Agile**, **Scrum** and **Lean** in construction production. The main goal is to analyze the effectiveness of flexible methodologies for optimizing project management processes in the construction industry and identify their impact on productivity and quality. Research objectives: to study the theoretical foundations and basic principles of Agile, Scrum and Lean, to analyze the current state of project management in construction and identify existing problems, to evaluate the practical experience of implementing agile methodologies in construction companies. Research hypothesis: It is assumed that the introduction of flexible management systems such as Agile, Scrum, and Lean in construction production will lead to increased team efficiency, shorter project completion times, and improved end product quality. To achieve these goals, the following methods were used: literature analysis on Agile, Scrum and Lean methodologies, case studies using the example of construction companies that successfully apply these approaches. The results of the study showed that the use of flexible management systems in construction makes it possible to reduce project completion times, increase customer satisfaction and improve interaction within teams.

© П.А. Говоруха, И.А. Снегирев, Д.В. Равочкин, 2025

УДК 69.055.7

Системный подход к управлению ресурсами с целью предотвращения отклонений от графика СМР

О.Б. Забелина, К.А. Матевосян

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

Ключевые слова и фразы: управление ресурсами; отклонения от графика; календарное планирование; оптимизация процессов; производственные риски; график строительства.

Аннотация. В работе рассматривается теоретико-методологическая основа системного подхода к управлению ресурсами в строительстве с целью предотвращения отклонений от календарных графиков строительно-монтажных работ. Проанализированы современные научные взгляды на структуру и функции ресурсного управления, а также рассмотрены ключевые элементы финансово-экономического обоснования, влияющего на проектные решения. Особое внимание уделено роли информационного моделирования (**BIM**) в управлении инвестиционно-строительными проектами, а также проблемам планирования и координации при ресурсном обеспечении. Обобщены подходы к классификации факторов, влияющих на реализацию проектов, и выделены ключевые вызовы, связанные с задержками и неэффективным распределением ресурсов.

Соблюдение календарных сроков при реализации строительных проектов является одной из ключевых задач в управлении строительством. Нарушение сроков выполнения строительно-монтажных работ ведет к увеличению затрат, снижению рентабельности проекта и может повлиять на безопасность эксплуатации объекта. Для выработки организационно-технологических решений необходимо установить, какие факторы в наибольшей степени способствуют задержкам, и определить критерии оптимизации, обеспечивающие устойчивость проектных графиков [1].

Повышение эффективности проектного планирования в строительстве основывается на грамотном распределении ресурсов, использовании цифровых решений и адаптивных моделей управления (рис. 1). Эти методы основаны на математических алгоритмах, технологиях ИИ и цифровых платформах. В работе З.М. Магруповой и Д.С. Смирнова

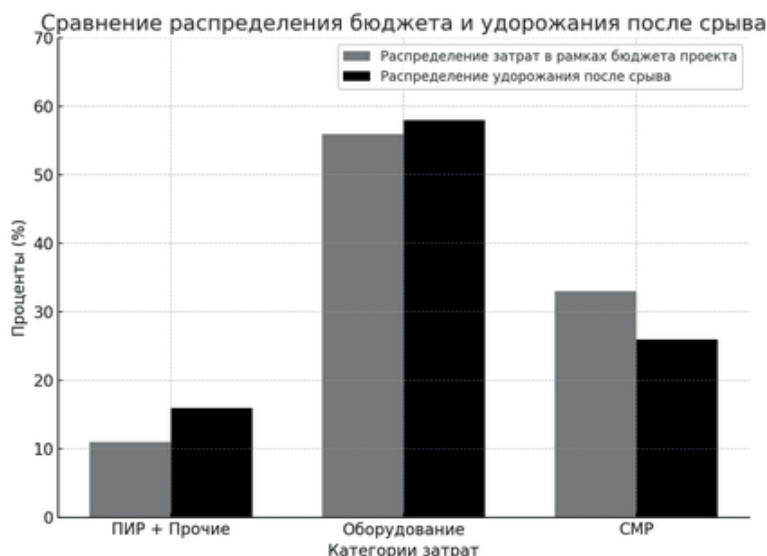


Рис. 1. Бюджет этапов работ и распределение удорожания после срыва сроков [2]

представлена методика матричного календарного планирования, позволяющая адаптировать графики в зависимости от изменяющихся условий и сократить издержки времени [2].

Задержки при вводе объектов в эксплуатацию нередко обусловлены накопившимися дефектами в незавершенных конструкциях, особенно при длительном приостановлении строительства. Чем дольше объект находится в замороженном состоянии, тем выше вероятность повреждений, требующих затратного ремонта. Отсутствие консервации или незавершенность ключевых этапов значительно увеличивает издержки на устранение дефектов [3].

При восстановлении объектов применяются различные методы, включая очистку поверхностей, заделку трещин и усиление конструкций. Однако эффективность этих мероприятий зависит от длительности простоя. В случае коррозионного разрушения необходима полная остановка процессов деградации, а использование защитных покрытий требует дополнительных обоснований и применяется ограниченно.

Ошибки, допущенные на стадии планирования, часто становятся причиной отклонений по срокам и бюджету. Недостаток точных исходных данных приводит к формированию нереалистичных графиков, особенно в сложных инфраструктурных проектах [4]. Для исправления таких ситуаций используются методы сбора статистики с аналогичных объектов, декомпозиция проекта и применение инструментов сетевого анализа.

Применение алгоритмов машинного обучения на основе исторических данных позволяет с высокой точностью прогнозировать длительность работ. Установлено, что более чем половина операций в анализируемых проектах заняла на 3 и более дней больше, чем планировалось [5].

Для обеспечения стабильности поставок строительных материалов применяется многокритериальная модель оценки рисков. Она позволяет ранжировать контрагентов, исключать ненадежных поставщиков и формировать корректирующие действия в случае отклонений, это способствует стабилизации графиков [6].

В производстве монолитных конструкций управление поставками оказывает влияние на продолжительность операций. Введение комплексного показателя длительности,

Таблица 1. Сравнительный анализ организационно-технологических решений

Решение	Достоинства	Недостатки	Трудоемкость внедрения	Влияние на сроки
1. Буферное планирование и CCPM	Повышает надежность, позволяет адаптироваться к рискам	Требуется статистики, подготовки	Средняя	Снижение риска задержек, повышение устойчивости
2. BIM и цифровая координация	Сокращает количество ошибок и конфликтов,	Высокая стоимость, требует обучения	Высокая	Сокращение потерь времени и ошибок
3. Lean и комплексные бригады	Повышает производительность, снижает потери, стабилизирует сроки	Необходима перестройка организации труда	Средняя	Устойчивое ускорение выполнения операций

учитывающего как трудоемкость, так и надежность снабжения, дает возможность сократить сроки работ [7].

Примером эффективной организации являются комплексные бригады, которые выполняют полный цикл операций. За счет универсальности персонала и гибкой структуры удастся перераспределять нагрузку и снижать зависимость от перебоев в поставках [8].

В рамках логистической устойчивости предлагается синхронизация поставок с производственным ритмом и использование специализированного ПО. Это позволяет адаптировать график в реальном времени, выравнивая загрузку ресурсов [9].

Опыт применения комплексных бригад в многоэтажном строительстве показал их эффективность на этапах инженерного оснащения и отделки. Контроль исполнительной документации и координация поставок позволяют минимизировать влияние отклонений на сроки ввода объекта [10].

Информационное моделирование (**BIM**) демонстрирует высокую эффективность в условиях нестабильной логистики. Визуализация в формате 4D и планирование временных окон обеспечивают точную синхронизацию всех операций [11].

Решение 1 предполагает использование буферного планирования на основе метода критической цепи. Временные резервы интегрируются в график для компенсации вероятных сбоев. Такой подход формирует адаптивную модель с возможностью оперативного переключения между задачами и использования резервных мощностей.

Решение 2 основано на внедрении BIM и цифровых платформ для координации. Единая модель обеспечивает синхронизацию участников проекта, своевременное обновление документации и устранение логических ошибок. Интеграция с календарными планами позволяет управлять сроками в режиме реального времени.

Решение 3 заключается в применении **Lean-подхода** и комплексных бригад. Такой формат организации труда исключает потери времени между операциями, обеспечивает равномерную загрузку, а внедрение системы **Last Planner** и практики **Just-in-Time** оптимизирует весь производственный цикл (табл. 1).

Выводы. Проведенный анализ теоретических основ управления сроками СМР и обзор научной литературы позволили систематизировать существующие подходы к планированию строительных проектов и выявить основные направления их оптимизации. Установлено, что наибольшее влияние на своевременность выполнения СМР оказывают организационно-технологические решения, уровень автоматизации процессов, качество управления ресурсами и применение цифровых технологий. В современных исследова-

ниях акцент смещается на интеграцию информационного моделирования, машинного обучения и предиктивной аналитики для предсказания сбоев и адаптивного корректирования графиков работ.

Литература

1. Забелина, О.Б. Исследование проблем технического и геотехнического мониторинга несущих конструкций отдельных видов монолитных работ в рамках научно-технического сопровождения строительства / О.Б. Забелина, Д.С. Седов // *Components of Scientific and Technological Progress*. – 2024. – № 1(91). – С. 32–38.
2. Магруппова, З.М. Календарное планирование инвестиционного проекта на основе матричного управления / З.М. Магруппова, Д.С. Смирнов // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2009. – № 23. – С. 20–25.
3. Шипелев, И.Л. О причинах задержки введения в эксплуатацию объектов незавершенного строительства и пути их решения / И.Л. Шипелев, А.В. Ермакова, Е.Р. Манташова // *Форум молодежной науки*. – 2020. – № 4. – С. 23–27.
4. Уразова, Н.Г. Роль планирования в снижении неопределенности при реализации крупных строительных проектов / Н.Г. Уразова, А.В. Мартынюк // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. – 2015. – № 4(15). – С. 115–125.
5. Коньков, В.Е. Прогнозирование срывов сроков строительства с использованием машинного обучения на основе исторических данных о фактической продолжительности завершённых проектов / В.Е. Коньков, В.И. Широков, М.Г. Жабицкий // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2024. – № 8. – С. 35–47.
6. Иванова, Д.И. Многокритериальная оценка рисков при выборе поставщика материалов для строительства / Д.И. Иванова, А.И. Матвеева, П.Е. Манохин // *Научные междисциплинарные исследования*. – 2021. – № 4. – С. 128–134.
7. Степанов, А.Е. Оптимизация монолитных работ при возведении жилых зданий / А.Е. Степанов, А.Б. Малыгин // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. – 2020. – № 2(32). – С. 76–78.
8. Лapidус, А.А. Оптимизация сроков возведения малоэтажных многоквартирных домов при использовании комплексных бригад / А.А. Лapidус, Д.В. Топчий, В.С. Ратомская, А.Н. Романенков // *Инновации и инвестиции*. – 2019. – № 9. – С. 257–260.
9. Покаместова, Э.В. Расчет сметной стоимости и оптимизация сроков строительства на примере жилого дома / Э.В. Покаместова // *Инновационная наука*. – 2018. – № 12. – С. 89–91.
10. Ратомская В.С. Использование комплексных бригад с целью оптимизации сроков строительства и ввода в эксплуатацию многоэтажных жилых домов / В.С. Ратомская, В.С. Зенов, А.Н. Романенков, А.А. Лapidус // *Московский экономический журнал*. – 2019. – № 7. – С. 503–509.
11. Туманов, С.Л. Информационное моделирование на этапе планирования строительства / С.Л. Туманов, Ю.В. Гущина, Н.С. Макрушин [и др.] // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура*. – 2023. – № 3. – С. 30–36.

References

1. Zabelina, O.B. Issledovanie problem tekhnicheskogo i geotekhnicheskogo monitoringa nesushchikh konstruktsii otdelnykh vidov monolitnykh rabot v ramkakh nauchno-tekhnicheskogo

soprovozhdeniia stroitelstva / O.B. Zabelina, D.S. Sedov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 1(91). – S. 32–38.

2. Magrupova, Z.M. Kalendarnoe planirovanie investitsionnogo proekta na osnove matrichnogo upravleniia / Z.M. Magrupova, D.S. Smirnov // Ekonomicheskii analiz: teoriia i praktika. – 2009. – № 23. – S. 20–25.

3. Shipelev, I.L. O prichinakh zaderzhki vvedeniia v ekspluatatsiiu obektov nezavershennogo stroitelstva i puti ikh resheniia / I.L. Shipelev, A.V. Ermakova, E.R. Mantashova // Forum molodezhnoi nauki. – 2020. – № 4. – S. 23–27.

4. Urazova, N.G. Rol planirovaniia v snizhenii neopredelennosti pri realizatsii krupnykh stroitelnykh proektov / N.G. Urazova, A.V. Martyniuk // Izvestiia vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost. – 2015. – № 4(15). – S. 115–125.

5. Konkov, V.E. Prognozirovaniie sryvov srokov stroitelstva s ispolzovaniem mashinnogo obucheniia na osnove istoricheskikh dannykh o fakticheskoi prodolzhitel'nosti zavershennykh proektov / V.E. Konkov, V.I. Shirokov, M.G. Zhabitskii // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – № 8. – S. 35–47.

6. Ivanova, D.I. Mnogokriterialnaia otsenka riskov pri vybore postavshchika materialov dlia stroitelstva / D.I. Ivanova, A.I. Matveeva, P.E. Manokhin // Nauchnye mezhdistsiplinarnye issledovaniia. – 2021. – № 4. – S. 128–134.

7. Stepanov, A.E. Optimizatsiia monolitnykh rabot pri vozvedenii zhilykh zdaniy / A.E. Stepanov, A.B. Malygin // Inzhenerno-stroitelnyi vestnik Prikaspiia. – 2020. – № 2(32). – S. 76–78.

8. Lapidus, A.A. Optimizatsiia srokov vozvedeniia maloetazhnykh mnogokvartirnykh domov pri ispolzovanii kompleksnykh brigad / A.A. Lapidus, D.V. Topchii, V.S. Ratomskaia, A.N. Romanenkov // Innovatsii i investitsii. – 2019. – № 9. – S. 257–260.

9. Pokamestova, E.V. Raschet smetnoi stoimosti i optimizatsiia srokov stroitelstva na primere zhilogo doma / E.V. Pokamestova // Innovatsionnaia nauka. – 2018. – № 12. – S. 89–91.

10. Ratomskaia V.S. Ispolzovanie kompleksnykh brigad s tseliu optimizatsii srokov stroitelstva i vvoda v ekspluatatsiiu mnogoetazhnykh zhilykh domov / V.S. Ratomskaia, V.S. Zenov, A.N. Romanenkov, A.A. Lapidus // Moskovskii ekonomicheskii zhurnal. – 2019. – № 7. – S. 503–509.

11. Tumanov, S.L. Informatcionnoe modelirovanie na etape planirovaniia stroitelstva / S.L. Tumanov, Iu.V. Gushchina, N.S. Makrushin [i dr.] // Vestnik IuUrGU. Seriia: Stroitelstvo i arkhitektura. – 2023. – № 3. – S. 30–36.

Choosing a Method and Determining the Feasibility of Decisions When Moving Buildings

O.B. Zabelina, K.A. Matevosyan

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

Key words and phrases: resource management; schedule deviations; project scheduling; process optimization; production risks; construction timeline.

Abstract. This paper explores the theoretical and methodological foundations of a systematic approach to resource management in construction, aimed at preventing deviations

from construction and installation schedules. The study focuses on current scientific perspectives regarding the structure and functions of resource planning, along with the influence of financial and economic justification on design decisions. Particular emphasis is placed on the role of Building Information Modeling (**BIM**) in managing investment and construction projects, as well as challenges related to planning and coordination of resource supply. The study reviews classifications of key project risk factors and highlights the main issues associated with delays and inefficient resource distribution.

© О.Б. Забелина, К.А. Матевосян, 2025

УДК 69.055.7

Оптимизация организационно-технологических процессов в целях ускоренного строительства многоэтажных зданий

О.Б. Забелина, З.С. Мкоян

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

Ключевые слова и фразы: ускоренное строительство; fast-track; BIM; сборно-монолитные конструкции; строительное производство; оптимизация сроков.

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические и прикладные аспекты формирования организационно-технологических решений, направленных на ускоренное строительство многоэтажных зданий. Проведен обзор современных подходов к оптимизации строительного процесса с учетом требований по сокращению календарных сроков, технологической последовательности и ресурсной координации. Проанализированы методики сокращения длительности работ за счет параллельной организации процессов, внедрения индустриальных технологий, цифровизации управления и механизации строительного производства. Особое внимание уделено технологиям *fast-track*, сборно-монолитному строительству, интеграции *BIM* и применению новых бетонных составов, обеспечивающих высокие темпы выполнения работ. Представленные решения обоснованы с позиции повышения эффективности производственного цикла и возможности их адаптации к условиям конкретных объектов. Материалы исследования могут быть использованы при разработке проектной документации, календарного планирования и формировании стратегии управления сроками на этапе реализации строительных проектов.

Современные технологии строительства ориентированы на сокращение сроков возведения объектов без ущерба качеству и надежности. В условиях активной урбанизации и растущего спроса на жилье и коммерческую недвижимость ускоренное строительство многоэтажных зданий приобретает особую актуальность. Применение эффективных организационно-технологических решений позволяет оптимизировать процессы и повысить рентабельность проектов за счет снижения временных и трудовых затрат [1].

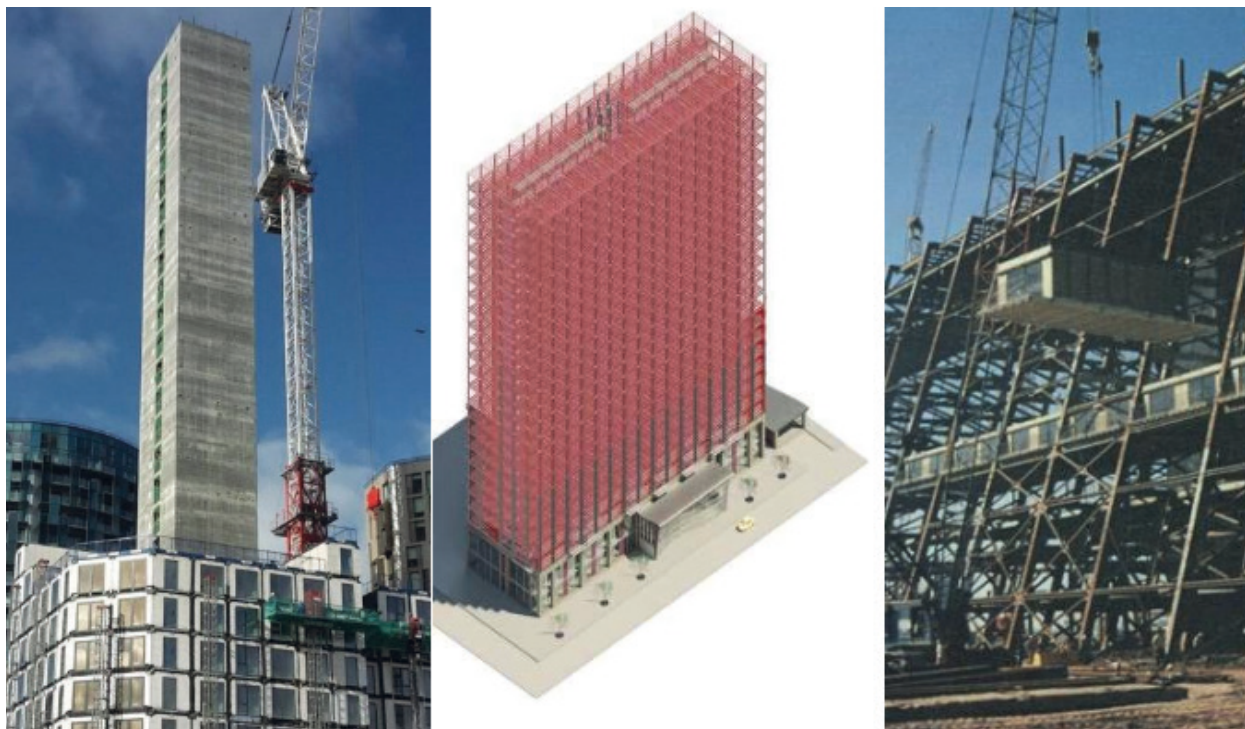


Рис. 1. Строительство высотных зданий с крупноблочными модульными элементами



Рис. 2. Возведение многоэтажных зданий с поярусным выдерживанием конструкций

Модульное строительство многоэтажных зданий

Г.В. Заятдинов [2] рассматривает модульное строительство как перспективное направление для ускоренного возведения зданий в России. Предварительное изготовление модулей в заводских условиях обеспечивает высокую точность, минимизирует объем работ на площадке и снижает влияние климатических факторов. Это снижает риск технологических ошибок и позволяет значительно ускорить строительный процесс.

Однако для масштабного внедрения данной технологии требуются: развитие производственной инфраструктуры, адаптация нормативной базы и подготовка

квалифицированных кадров. Кроме того, необходима отлаженная логистика доставки и сборки модулей на площадке.

В международной практике, как показывают исследования Thai Huu-Tai и коллег [3], модульное строительство широко применяется при плотной городской застройке. Примеры реализованных проектов демонстрируют, что данная технология не только ускоряет строительство высотных зданий, но и снижает нагрузку на городскую инфраструктуру, уровень шума и транспортные издержки (рис. 1).

Сборно-монолитные технологии в многоэтажном строительстве

С.Г. Головнев и Л.А. Беркович исследуют применение сборно-монолитной технологии при строительстве высотных зданий [4]. Метод сочетает преимущества сборных и монолитных конструкций, обеспечивая высокую скорость возведения и надежность зданий. Отмечаются такие плюсы, как сокращение сроков бетонирования, снижение трудозатрат и повышение эксплуатационных характеристик. Частичное применение сборных элементов ускоряет монтаж, что делает технологию актуальной для многоэтажного строительства в условиях ограниченного времени. При этом подчеркивается важность точной координации поставок, контроля качества узлов и механизированного монтажа для предотвращения дефектов на стыках (рис. 2).

Применение BIM-технологий в ускоренном строительстве

Е.С. Безрукова и В.Н. Уткина исследуют влияние внедрения BIM-технологий на эффективность проектирования высотных зданий [5]. По их мнению, цифровое моделирование всех конструктивных элементов в виртуальной среде до начала строительства позволяет существенно снизить количество проектных ошибок и несогласованностей. BIM-технологии также облегчают координацию между участниками строительства, ускоряют согласование документации и способствуют сокращению сроков реализации проекта за счет повышения управляемости на всех этапах.

Автоматизация строительных процессов и ИИ

О. Kachiside и Т. Adeusi анализируют влияние искусственного интеллекта и роботизации на организацию ускоренного строительства [6]. Авторы отмечают, что ИИ способен прогнозировать возможные задержки, оптимизировать графики выполнения работ и оперативно вносить корректировки в план производства. Дополнительно рассматриваются системы автоматизированного контроля качества и роботизированные механизмы, которые позволяют сократить влияние человеческого фактора и повысить технологическую точность выполнения операций.

Оптимизация логистики и управление ресурсами

Ч. Лю и его соавторы акцентируют внимание на значении автоматизации логистических процессов в строительстве высотных объектов [7]. В их исследовании подчеркивается, что применение цифровых платформ и систем управления ресурсами позволяет значительно снизить количество простоев, повысить точность поставок и наладить более четкое взаимодействие между подрядчиками и поставщиками. Такая интеграция особенно важна в условиях плотного графика и большого объема строительных операций, характерных для многоэтажного строительства.

Таблица 1. Факторы, влияющие на продолжительность строительства

Группа факторов	Примеры влияющих факторов
Организационные	Несогласованность графиков, ошибки в очередности работ, слабая координация участников
Проектные	Недостаточная проработка проектных решений, частые изменения проектной документации
Технологические	Выбор неэффективных технологий, нарушения технологической последовательности
Кадровые	Нехватка квалифицированных кадров, отсутствие профессиональной службы технадзора, слабая экспертиза
Экономические	Недостаточное финансирование, рост затрат на фоне продления сроков
Внешние	Погодные условия, перебои в поставках, административные ограничения
Информационные	Ограниченный доступ к цифровым системам, отказ автоматизированного контроля
Управленческие	Задержки в принятии решений, слабое оперативное планирование, отсутствие специалистов в сфере управления
Стратегические	Отсутствие эффективной стратегии воспроизводства и развития предприятия, слабое планирование СМР
Ресурсные	Недостаток материальных и человеческих ресурсов, отсутствие данных о рынке подрядчиков и поставщиков
Правовые, договорные	Отсутствие опыта в регулировании споров, пробелы в типовой договорной документации

Экономическая эффективность автоматизированной логистики

В продолжение темы исследование подчеркивает, что автоматизация логистики не только влияет на сроки, но и позволяет снизить издержки проекта [8]. Авторы выделяют такие эффекты, как снижение потребности в складских площадях, уменьшение транспортных затрат и оптимизация закупочной политики. Эти преимущества делают автоматизированную логистику ключевым элементом в стратегии ускоренного строительства.

Методология Fast-Track в строительстве высотных зданий

D. MacDonald и его коллеги рассматривают реализацию **fast-track**-подхода, основанного на совмещении проектирования и строительства [9]. Такой формат позволяет значительно сократить сроки реализации проекта, но требует высокой степени синхронности между участниками, быстрой корректировки проектных решений и надежной системы управления. Авторы подчеркивают, что использование BIM, календарного планирования и AR-технологий играет ключевую роль в обеспечении управляемости и минимизации рисков. При этом важно сохранять баланс между сроками, качеством и стоимостью проекта, поскольку его нарушение приводит к срыву ключевых показателей [10] (табл. 1).

Выводы

Анализ показал, что ускоренное строительство многоэтажных зданий является приоритетным направлением развития отрасли в условиях урбанизации и жестких сроков

реализации проектов. Такие технологии, как модульное и сборно-монолитное строительство, BIM, автоматизация и метод fast-track, позволяют значительно сократить продолжительность строительного цикла без ущерба качеству.

Их успешное применение зависит от уровня организационной подготовки, согласованности участников и внедрения цифровых инструментов. Особенно важны автоматизация контроля и использование платформ, позволяющих управлять сроками в режиме реального времени.

Литература

1. Забелина, О.Б. Исследование методов водопонижения при строительстве высотных зданий в условиях прибрежных районов Санкт-Петербурга / О.Б. Забелина, Д. Энгин // Перспективы науки. – 2021. – № 3(138). – С. 199–202.
2. Заятдинов, Г.В. Перспективы модульного строительства / Г.В. Заятдинов // Colloquium-journal. – 2021. – № 15(102). – С. 5–6.
3. Thai, Huu-Tai. A review on modular construction for high-rise buildings / Huu-Tai Thai, Tuan Ngo, Brian Uy // Structures. – 2020. – Vol. 28. – DOI: 10.1016/j.istruc.2020.09.070.
4. Головнев, С.Г. Технология ускоренного возведения многоэтажных зданий из монолитного бетона / С.Г. Головнев, Л.А. Беркович // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2009. – № 1. – С. 28–30.
5. Безрукова, Е.С. Проектирование высотного общественного здания с применением информационных технологий / Е.С. Безрукова, В.Н. Уткина // Огарев-Online. – 2019. – № 5(126).
6. Kachiside, Onah. Examining the integration of Artificial Intelligence in automated building construction and design optimization / Onah Kachiside, Temitope Adeusi // GSC Advanced Research and Reviews. – 2024. – Vol. 21. – P. 395-405. – DOI: 10.30574/gscarr.2024.21.3.0514.
7. Лю, Ч. Технологии строительства высотных зданий в Китае и конструкции высотных зданий / Ч. Лю, Н.И. Фомин, Ш. Сяо, Ц. Ли // ИВД. – 2024. – № 3(111) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.researchgate.net/publication/380008050_Tehnologii_stroitelstva_vysotnyh_zdanij_v_Kitae_i_konstrukcii_vysotnyh_zdanij.
8. Сычев, С.А. Высокотехнологичная строительная система скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий / С.А. Сычев // Жилищное строительство. – 2016. – № 3. – С. 43–48.
9. MacDonald, D. How to do Fast-Track Projects / D. MacDonald, B. Lau, H. Bue, L. Kane. – 2024. – DOI: 10.2118/222174-MS.
10. El-Far, Mohamed. Controlling of fast-track construction method variables (time, cost, and quality) / Mohamed El-Far, Mostafa Kotb, Reda Sabry // Infrastructure Asset Management. – 2023. – Vol. 10. – P. 1–12. – DOI: 10.1680/jinam.23.00001.

References

1. Zabelina, O.B. Issledovanie metodov vodoponizheniia pri stroitelstve vysotnykh zdaniy v usloviakh pribrezhnykh raionov Sankt-Peterburga / O.B. Zabelina, D. Engin // Perspektivy nauki. – 2021. – № 3(138). – S. 199–202.
2. Zaiatdinov, G.V. Perspektivy modulnogo stroitelstva / G.V. Zaiatdinov // Colloquium-journal. – 2021. – № 15(102). – S. 5–6.

4. Golovnev, S.G. Tekhnologiya uskorennoy vozvedeniya mnogoetazhnykh zdaniy iz monolitnogo betona / S.G. Golovnev, L.A. Berkovich // Akademicheskii vestnik UralNIIProekt RAASN. – 2009. – № 1. – S. 28–30.
5. Bezrukova, E.S. Proektirovaniye vysohnogo obshchestvennogo zdaniya s primeneniem informatcionnykh tekhnologiy / E.S. Bezrukova, V.N. Utkina // Ogarev-Online. – 2019. – № 5(126).
7. Liu, Ch. Tekhnologii stroitelstva vysohtnykh zdaniy v Kitae i konstrukcii vysohtnykh zdaniy / Ch. Liu, N.I. Fomin, Sh. Siao, Tc. Li // IVD. – 2024. – № 3(111) [Electronic resource]. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/380008050_Tekhnologii_stroitelstva_vysotnyh_zdanij_v_Kitae_i_konstrukcii_vysotnyh_zdanij.
8. Sychev, S.A. Vysokotekhnologichnaya stroitel'naya sistema skorostnogo vozvedeniya mnogofunktsionalnykh polnosbornykh zdaniy / S.A. Sychev // Zhilishchnoe stroitelstvo. – 2016. – № 3. – S. 43–48.

Optimization of Organizational and Technological Processes for Accelerated Construction of High-rise Buildings

O.B. Zabelina, Z.S. Mkoyan

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

Key words and phrases: accelerated construction; fast-track; BIM; precast-monolithic systems; construction operations; time optimization.

Abstract. This paper explores the theoretical and methodological foundations of a systematic approach to resource management in construction, aimed at preventing deviations from construction and installation schedules. The work focuses on current scientific perspectives regarding the structure (**fast-track**) and functions of resource planning, along with the influence of financial and economic justification on design decisions. Particular emphasis is placed on the role of Building Information Modeling (**BIM**) in managing investment and construction projects, as well as challenges related to planning and coordination of resource supply. The study reviews classifications of key project risk factors and highlights the main issues associated with delays and inefficient resource distribution.

© О.Б. Забелина, З.С. Мкоян, 2025

УДК 621.18

Исследование эффективности работы газовых горелок для водогрейных котлов

Ю.А. Кулиш, Д.Г. Усадский, В.И. Лепилов

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

Ключевые слова и фразы: газовые горелки; водогрейный котел; тепловая нагрузка; температура удаляемых газов; теплота удаляемых газов; объем подачи газа; номинальный режим.

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований работы двух газовых горелок аналогичной производительности, но разных конструкций. Целью статьи является сравнительный анализ работы горелочных устройств. Для этого была поставлена задача – провести замеры параметров работы газовых горелок при различных тепловых нагрузках в оптимальных режимах; по полученным экспериментальным данным составить таблицы и построить графики зависимостей эффективности работы горелок и выявить более экономичную. Гипотеза исследования основывается на том, что если два одинаковых водогрейных котла находятся в одинаковых условиях, работают в одинаковых режимах и отличаются только горелочными устройствами, то об эффективности работы этих устройств можно судить по температуре уходящих газов. Исследования проводились экспериментальным и сравнительным методами.

Экспериментальные исследования проводились в зоне номинальных нагрузок работы двух одинаковых водогрейных котлов марки КВЖ-8,12-150г, при девяти режимах подачи газа.

Постоянные параметры работы котлов приведены в табл. 1.

Котлы одновременно прошли плановые регламентные работы. Исследованию подвергались газовые горелки марок WM-G50/2-A и ГМ-8Х одинаковой производительности. Газ с $Q^P_H = 8250$ ккал/м³.

В таблице 2 приведены результаты изменения температуры дымовых газов в зависимости от расхода газа и типа газовой горелки.

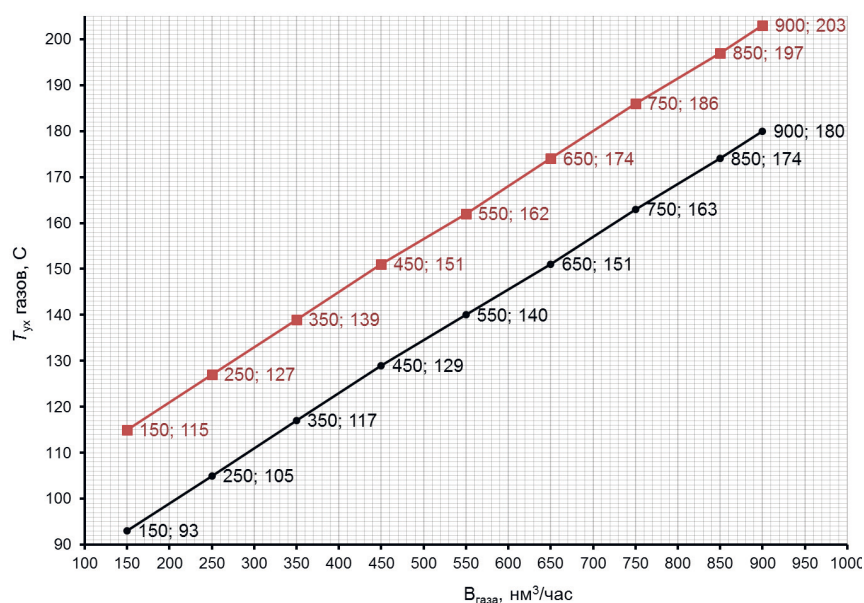
На рисунке 1 приведен сетевой график, построенный по результатам данных, полученных из табл. 2. Он показывает изменение T_{yx} газов от $B_{газа}$.

Таблица 1. Номинальные нагрузки, расходы газа, температура подаваемого в зону горения воздуха

Наименование показателей и параметров	Нагрузка котла, в % от номинальной								
	15,86	27,0	37,81	48,47	59,32	69,83	80,16	90,41	95,45
1. Расход газа V_g , $\text{м}^3/\text{час}$	150	250	350	450	550	650	750	850	900
2. Расход воды через котел G_k , т/ч	120	120	120	120	120	120	120	120	120
3. Температура воздуха $T_{\text{возд.}}$, °C	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Таблица 2. Температура уходящих газов $T_{\text{ух}}$ при работе горелок ГМ-8Х и WM-G50/2-A в зависимости от расхода газа V_g , $\text{м}^3/\text{час}$

Наименование показателей и параметров	Нагрузка котла, в % от номинальной								
	15,86	27,0	37,81	48,47	59,32	69,83	80,16	90,41	95,45
1. Расход газа V_g , $\text{м}^3/\text{час}$	150	250	350	450	550	650	750	850	900
2. ГМ-8Х, $T_{\text{ух}}$ газов, °C	115	127	139	151	162	174	186	197	203
3. WM-G50/2-A, $T_{\text{ух}}$ газов, °C	93	105	117	129	140	151	163	174	180

**Рис. 1.** График соотношения $T_{\text{ух}}$ газов от $V_{\text{газа}}$

Примечание: верхняя линия $T_{\text{ух}}$ газов от горелки ГМ-8Х, нижняя – от горелки WM-G50/2-A.

Линии процесса представляют из себя практически параллельные линии с разницей температур в 22–23 °C. Горелка WM-G50/2-A по сравнению с горелкой ГМ-8Х обеспечивает меньшую температуру уходящих газов, что является признаком ее более экономичной работы и качественного смешения газозоудушной смеси.

При переходе от одного режима газа к другому температура уходящих газов изменяется плавно, не скачкообразно, без срывов. Это свидетельствует о возможности мягкой регулировки в зоне номинального режима работы для обеих горелок.

Таблица 3. Потери тепла уходящих газов q_2 , %, на горелках ГМ-8Х и WM-G50/2-А в зависимости от расхода газа $B_{газа}$, $\text{нм}^3/\text{час}$, и безразмерной величины z

Наименование показателей и параметров	Нагрузка котла, в % от номинальной								
	15,86	27,0	37,81	48,47	59,32	69,83	80,16	90,41	95,45
1. Расход газа B_r , $\text{нм}^3/\text{час}$	150	250	350	450	550	650	750	850	900
2. ГМ-8Х, q_2 газов, %	5,91	5,53	6,15	6,77	6,87	7,39	7,97	8,50	8,78
3. ГМ-8Х, z	6,22	5,17	5,17	5,17	4,84	4,8	4,8	4,8	4,8
4. WM-G50/2-А, q_2 газов, %	3,41	3,97	4,49	5,09	5,60	6,07	6,68	7,13	7,47
5. WM-G50/2-А, z	4,67	4,67	4,63	4,67	4,67	4,63	4,67	4,63	4,67

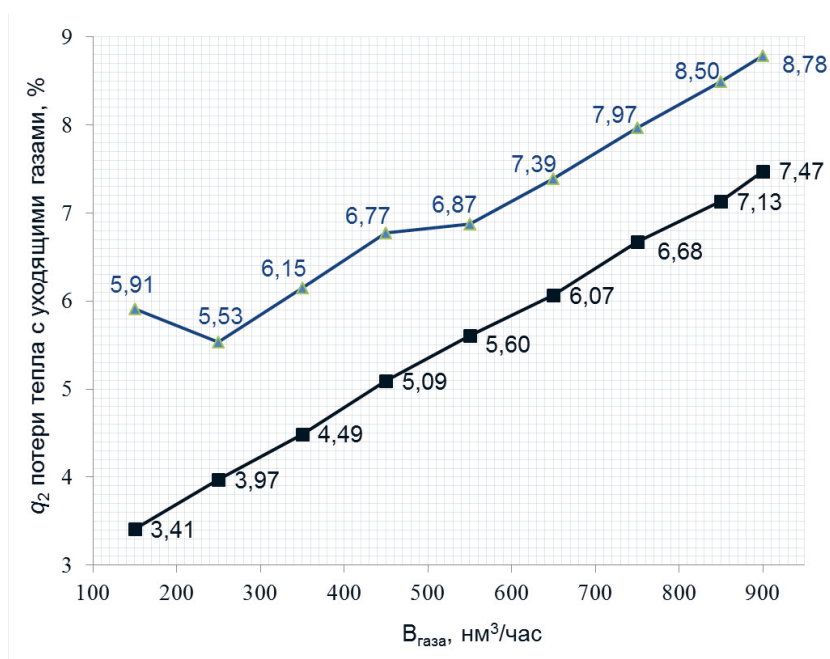


Рис. 2. График соотношения потерь тепла с уходящими газами q_2 , %, от $B_{газа}$, $\text{нм}^3/\text{час}$

Примечание: верхняя линия: потерь тепла q_2 , % с уходящими газами от горелки ГМ-8Х; нижняя линия: потерь тепла от горелки WM-G50/2-А

Таблица 4. Экономия газа ΔB_r , %, и часовая экономия газа ΔB_r , $\text{нм}^3/\text{час}$, горелки WM-G50/2-А в зависимости от расхода газа

Наименование показателей и параметров	Нагрузка котла, в % от номинальной								
	15,86	27,0	37,81	48,47	59,32	69,83	80,16	90,41	95,45
1. Расход газа, B_r , $\text{нм}^3/\text{час}$	150	250	350	450	550	650	750	850	900
2. WM-G50/2-А. Экономия газа, ΔB_r , %	2,5	1,56	1,66	1,68	1,27	1,32	1,29	1,37	1,31
3. WM-G50/2-А. Экономия газа, ΔB_r , $\text{нм}^3/\text{час}$	3,75	3,9	5,81	7,56	6,985	8,58	9,675	11,65	11,79

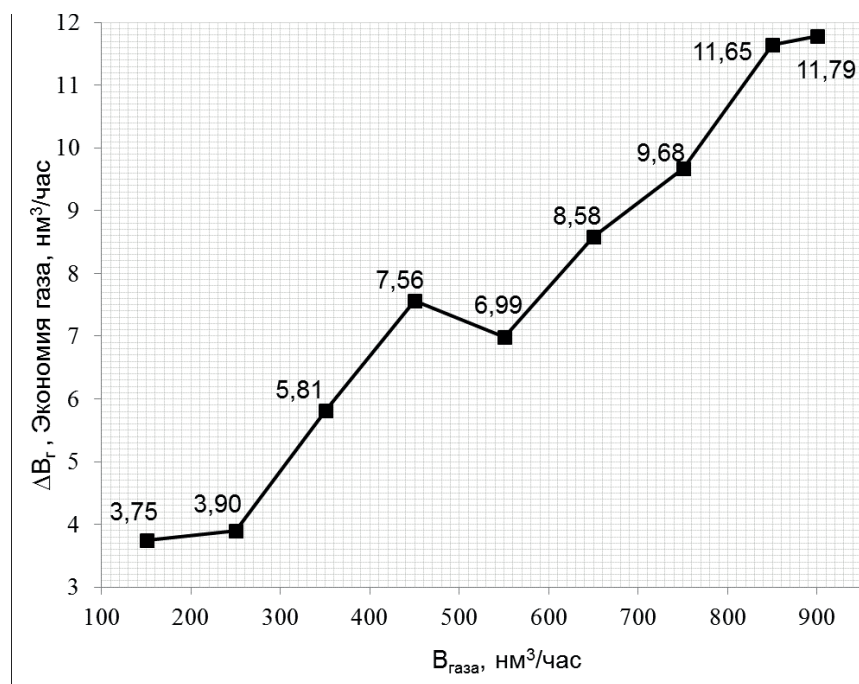


Рис. 3. График часовой экономии газа ΔB_g , нм³/час, горелки WM-G50/2-A, по сравнению с горелкой ГМ-8Х, в зависимости от расхода газа $B_{газа}$, нм³/час

Потери теплоты с уходящими газами рассчитываются по формуле [1]:

$$q_2 = 0,01 \cdot z \cdot (T_{yx} - T_e), \%,$$

где T_{yx} – температура уходящих газов, измеренная в балансовой точке, °С; T_e – температура воздуха, вносимого в топку, °С; z – безразмерная величина, характеризующая состав и температуру уходящих газов.

По результатам расчета составлена табл. 3.

На основании расчетов из табл. 3 построен сетевой график потерь тепла с уходящими газами, приведенный на рис. 2, из которого видно, что наибольшая потеря тепла с уходящими газами происходит при минимальном расходе газа в 150 нм³/час и равна 5,91 % при работе горелки ГМ-8Х. При этом же расходе газа потеря тепла на горелке WM-G50/2-A равна 3,41 %.

Горелка ГМ-8Х при режиме на «малом» горении, при расходе газа от 150 до 250 нм³/час, демонстрирует неустойчивую работу с большими потерями теплоты с уходящими газами. Выход на устойчивую работу происходит при расходе газа от 250 до 900 нм³/час. Горелка WM-G50/2-A показывает устойчивую работу по потерям теплоты с уходящими газами во всем диапазоне номинальной нагрузки.

Вычитая из потерь теплоты с уходящими газами горелки ГМ-8Х потери теплоты с уходящими газами горелки WM-G50/2-A, получаем разницу потерь теплоты Δ , %, которую подсчитываем для всех исследуемых режимов. После этого пересчитываем процентные потери теплоты Δ , %, в часовую экономию газа горелки WM-G50/2-A, по сравнению с горелкой ГМ-8Х. Полученные данные по экономии газа ΔB_g , %, и часовой экономии газа ΔB_g , нм³/час, горелки WM-G50/2-A для всех исследуемых режимов заносим в таблицу 4.

После этого строим сетевой график зависимости часовой экономии газа ΔB_g , нм³/час, горелки WM-G50/2-A, по сравнению с горелкой ГМ-8Х, приведенный на рис. 3.

Заключение

Горелка WM-G50/2-A, по сравнению с горелкой ГМ-8Х, обеспечивает более качественное смешение газозвоздушной смеси, то есть газ в более значительной мере сгорает в пределах топki, обеспечивая меньшую температуру уходящих газов. Также горелка WM-G50/2-A имеет более плавное регулирование мощности, что обеспечивает возможность качественного регулирования горелки на нагрузках до 25 % от номинальной.

Исследования в области котельных агрегатов, горелок и эффективности их работы приведены в литературе [2–5].

Литература

1. Преображенский, Н.И. Контроль за рациональным использованием газа / Н.И. Преображенский. – Ленинград : Недра : Ленингр. отд-ние, 1983. – 368 с.
2. Усадский, Д.Г. Исследование тепловой мощности горелок бытового газоиспользующего оборудования // Научный обозреватель. – 2017. – № 2 (74). – С. 74–75.
3. Фокин, В.М. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения / В.М. Фокин. – М. : Машиностроение-1, 2006. – 240 с.
4. Маслов, А.Д. Исследование эффективности работы котла-утилизатора / А.Д. Маслов, А.А. Коноваленко, А.И. Жупанова, А.В. Ковылин // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 1 (103). – С. 8–11.
5. Мельников, Е.В. Эффективность тепловой изоляции трубопроводов систем теплоснабжения / Мельников, Е.В., Ковылин А.В. // Перспективы науки. – 2023. – № 6 (165). – С. 84–87.

References

1. Preobrazhenskii, N.I. Kontrol za ratsionalnym ispolzovaniem gaza / N.I. Preobrazhenskii. – Leningrad : Nedra : Leningr. otd-nie, 1983. – 368 s.
2. Usadskii, D.G. Issledovanie teplovoi moshchnosti gorelok bytovogo gazoispolzuiushchego oborudovaniia // Nauchnyi obozrevatel. – 2017. – № 2 (74). – S. 74–75.
3. Fokin, V.M. Teplogeneriruiushchie ustanovki sistem teplosnabzheniia / V.M. Fokin. – M. : Mashinostroenie-1, 2006. – 240 s.
4. Maslov, A.D. Issledovanie effektivnosti raboty kotla-utilizatora / A.D. Maslov, A.A. Konovalenko, A.I. Zhupanova, A.V. Kovylin // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 1 (103). – S. 8–11.
5. Melnikov, E.V. Effektivnost teplovoi izoliatsii truboprovodov sistem teplosnabzheniia / Melnikov, E.V., Kovylin A.V. // Perspektivy nauki. – 2023. – № 6 (165). – S. 84–87.

Investigation of the Efficiency of Gas Burners for Hot Water Boilers

Yu.A. Kulish, D.G. Usadsky, V.I. Lepilov

*Volgograd State Technical University,
Volgograd (Russia)*

Key words and phrases: gas burners; hot water boiler; thermal load; temperature of exhaust gases; heat of exhaust gases; gas supply volume; nominal mode.

Abstract. The article presents the results of experimental studies of the operation of two gas burners of similar performance, but of different structures. The purpose of the article is a comparative analysis of the operation of burner devices. For this purpose, the task was set to measure the parameters of operation of gas burners at various thermal loads in optimal modes. Based on the experimental data obtained, make tables and plot graphs of burner efficiency dependencies and identify a more economical one. The hypothesis of the study is based on the fact that if two identical hot water boilers are in the same conditions, operate in the same modes and differ only in burner devices, then the efficiency of these devices can be judged by the temperature of the exhaust gases. The research was conducted using experimental and comparative methods.

© Ю.А. Кулиш, Д.Г. Усадский, В.И. Лепилов, 2025

УДК 691.87

Использование технологии 3D-печати бетона для строительства сооружений: возможности и вызовы

О.М. Преснов¹, А.С. Кулеба², А.П. Волков²,
Д.И. Хлыстов²

¹ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»;
²Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»,
г. Красноярск (Россия)

Ключевые слова и фразы: бетон; инновации; 3D-печать; регулирование; строительство; современные технологии; устойчивость.

Аннотация. В статье рассматривается использование технологии 3D-печати бетона для строительства сооружений, анализируются возможности и вызовы, связанные с внедрением данной технологии в строительную отрасль.

Основной целью данного исследования является оценка потенциала 3D-печати бетона как инновационного метода строительства, а также выявление основных проблем и ограничений, с которыми сталкивается данная технология.

Задачи исследования: провести обзор существующих технологий 3D-печати бетона и их применения в строительстве; оценить преимущества и недостатки 3D-печати бетона по сравнению с традиционными методами строительства; изучить примеры успешного применения 3D-печати бетона в различных странах; выявить основные вызовы и риски, связанные с внедрением данной технологии в строительную практику; разработать рекомендации по оптимизации процессов 3D-печати бетона.

Гипотеза исследования заключается в том, что предполагается, что использование технологии 3D-печати бетона в строительстве может значительно повысить эффективность и снизить затраты на строительство, однако для успешного внедрения необходимо разрешение ряда технических и нормативных проблем.

В ходе исследования использовались методы сравнительного анализа, кейс-стади, а также экспертные

интервью с представителями строительной отрасли и исследовательских институтов. Анализ литературы позволил выявить существующие тренды и направления в области 3D-печати бетона.

Результаты исследования показали, что технология 3D-печати бетона обладает значительным потенциалом для оптимизации строительных процессов, включая сокращение сроков возведения объектов и уменьшение отходов. Однако также были выявлены серьезные вызовы, такие как необходимость разработки новых стандартов и норм для обеспечения безопасности и качества конструкций. Рекомендации по внедрению технологий 3D-печати бетона могут способствовать более широкому распространению этой инновации в строительной отрасли.

В современном мире технологии строительства претерпели значительные изменения, обусловленные развитием новых технологий, появлением высококачественных материалов, а также методов и технологических процессов. Качественной инновацией в данной области является применение аддитивных технологий, в частности 3D-печати, для создания строительных объектов; данная технология, изначально зародившаяся в сфере прототипирования и производства малых деталей, на сегодняшний день находит все более широкое применение в строительстве, открывая новые возможности и горизонты для проектирования, производства и эксплуатации сооружений [2]. Технология 3D-печати бетона представляет собой процесс аддитивного производства, в ходе которого слои бетона последовательно накладываются друг на друга для формирования конструкций различной сложности и формы. Такой способ строительства позволяет не только сократить время возведения зданий и сооружений, но и значительно снизить затраты на их реализацию, материалы и рабочую силу. В условиях растущих требований к устойчивому строительству и возросшей необходимости минимизации воздействия на окружающую среду использование 3D-печати бетона также предоставляет возможности для создания более качественных и экологически чистых решений, способствующих уменьшению отходов и оптимизации использования ресурсов в целом.

Сам же процесс 3D-печати бетона осуществляется с помощью специализированных 3D-принтеров, которые могут точно формировать сложные геометрические формы и архитектурные элементы, что значительно усложнено традиционными методами строительства или и вовсе в некоторых случаях невозможно. Основная идея технологии заключается в том, что бетонная смесь, обладающая необходимыми свойствами для печати, подается на рабочую площадку принтера, где она последовательно укладывается в заранее заданной конфигурации. Каждый новый слой бетона наносится на предыдущий, что позволяет создавать конструкции с высокой степенью детализации и разнообразия форм, что открывает новые возможности для архитекторов и дизайнеров, позволяя им реализовывать самые смелые идеи и концепции [1]. Процесс 3D-печати бетона начинается с создания цифровой модели будущего сооружения с помощью программного обеспечения для трехмерного моделирования. Далее уже модель преобразуется в формат, более понятный 3D-принтеру, который затем и производит печать. Также в зависимости от используемых технологии и оборудования принтер может работать как с традиционными бетон-

ными смесями, так и с инновационными материалами, которые улучшают характеристики прочности и устойчивости к внешним воздействиям.

Преимущества 3D-печати бетона включают сокращение времени строительства, снижение затрат на материалы и рабочую силу, а также возможность минимизации отходов; во многом благодаря высокой точности процесса можно значительно уменьшить количество излишков материала, что делает строительство более экологически чистым, что так актуально в современных условиях. Кроме того, технология позволяет создавать конструкции с уникальными архитектурными решениями, которые невозможно реализовать с помощью традиционных методов [4]. Использование технологии 3D-печати бетона для строительства сооружений представляет собой революционный шаг в строительной отрасли, который открывает новые горизонты для архитекторов, инженеров и строителей. Данная инновационная методика аддитивного производства позволяет создавать сложные и уникальные конструкции с высокой степенью точности и минимальными затратами времени и ресурсов и формировать объекты любой сложности – от жилых зданий до мостов и временных конструкций.

Одной из основных возможностей 3D-печати бетона является значительное сокращение времени строительства, в то время как традиционные методы требуют значительных временных затрат на подготовку, заливку и отверждение бетона. В то время как при использовании 3D-принтеров процесс может быть завершен за считанные дни или даже часы, в зависимости от размера и сложности проекта, что особенно актуально в условиях, когда необходимо быстрое развитие и строительство инфраструктуры, например в случае стихийных бедствий или для обеспечения жилья в кризисных ситуациях [7].

Помимо данной возможности, технология 3D-печати бетона способствует и снижению затрат на строительство, во многом благодаря высокой точности наложения слоев и уменьшению количества отходов от материалов, что делает процесс более выгодным и эффективным с экономической точки зрения. Традиционные методы часто приводят к перерасходу материалов из-за ошибок в расчетах или неэффективных методов укладки, однако в случае 3D-печати благодаря цифровому управлению можно минимизировать данные риски, что приведёт к более рациональному использованию ресурсов. Еще одной современной возможностью применения 3D-печати бетона является создание сложных архитектурных форм и конструкций, которые затратно реализовать с помощью традиционных методов. Архитекторы могут свободно экспериментировать с формами и дизайном, создавая уникальные здания с эстетической и функциональной ценностью, что открывает новые горизонты для архитектурного творчества и позволяет создавать более привлекательные и инновационные современные пространства [3]. Технология 3D-печати также дает возможность интегрировать различные функциональные элементы непосредственно в процесс строительства: так, например, можно заранее предусмотреть размещение окон, дверей и даже систем отопления и кондиционирования в структуре стены, что упрощает дальнейшую отделку и монтаж оборудования, что не только ускоряет процесс строительства, но и повышает его качество в целом.

Несмотря на все преимущества, процесс внедрения технологии 3D-печати бетона сталкивается с определенными вызовами, одним из которых является необходимость разработки новых стандартов и норм для аддитивного строительства. В настоящее время существует недостаток четких регуляторных рамок, что может вызывать сомнения у инвесторов и клиентов относительно безопасности и долговечности таких конструкций. Также необходимо проводить дополнительные исследования для оценки прочностных сооружений и долговечности печатаемых объектов в различных климатических условиях [8]. Кроме того, высокая стоимость первоначальных инвестиций в оборудование и обучение

персонала может стать барьером для многих строительных компаний, однако с ростом популярности технологии и увеличением конкуренции на рынке стоимость оборудования постепенно снижается, что делает 3D-печать более доступной для широкого круга пользователей.

Сложность в управлении процессом печати также является современным выбором применения данной технологии, которая требует высокой степени точности и контроля на каждом этапе – от подготовки бетонной смеси до настройки параметров печати. Незначительные изменения и ошибки могут привести к весомым дефектам в конечном продукте, что требует от операторов не только технических навыков, но и глубокого понимания процесса аддитивного производства. Важно также наличие надежного программного обеспечения для проектирования и управления процессом печати [5]. Существует и проблема ограниченности используемых материалов: на рынке хотя уже и существуют специальные смеси для 3D-печати бетона, их выбор все еще ограничен по сравнению с традиционными строительными материалами, что может уменьшать архитектурные возможности и функциональность построек. Разработка новых композитов, которые обеспечивают лучшие механические свойства, устойчивость к внешним воздействиям и соответствие экологическим стандартам, является важным направлением для дальнейшего развития данной технологии.

Несмотря на эти сложности, интерес к технологии 3D-печати бетона продолжает расти: она уже применяется в различных проектах по всему миру, включая жилые здания, мосты и даже временные сооружения [9]. Исследования в данной области продолжаются, и многие эксперты уверены, что 3D-печать бетона имеет потенциал для трансформации строительной отрасли, предлагая новые решения для устойчивого и эффективного строительства. В современных реалиях применение технологии 3D-печати бетона уже активно используется во многих странах: так, в Нидерландах построены первые полностью напечатанные дома, которые продемонстрировали не только техническую осуществимость, но и коммерческую жизнеспособность данной технологии. В Китае 3D-печать бетона применяется для быстрого строительства временных объектов и даже целых жилых комплексов. Такого рода проекты показывают, что технология имеет огромный потенциал развития для разрешения жилищных проблем и возможности создания устойчивой городской инфраструктуры.

Литература

1. Адамцевич, А.О. Аддитивное строительное производство: обзор мирового опыта / А.О. Адамцевич, Л.А. Адамцевич, А.П. Пустовгар // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 12. – С. 83–97.
2. Бегалыев, Г. Будущее строительных технологий: инновации и тенденции на горизонте 2030 года / Г. Бегалыев, Х. Ходжадурдыев // Научные открытия 2024 : сборник материалов LV Международной очно-заочной научно-практической конференции : в 3 т. (Москва, 22 ноября 2024 г.). – М. : Научно-издательский центр «Империя», 2024. – С. 131–134.
3. Ким, А.М. Технологические характеристики торкрет-бетона для 3D-печати / А.М. Ким, Э.М. Лютиченко, П.А. Кленовой // Дни студенческой науки : сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов Института промышленного и гражданского строительства (Москва, 26 февраля – 1 марта 2024 г.). – М. : Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), 2024. – С. 506–508.

4. Моисеев, С.Р. Технология крупномасштабной 3D-печати бетона / С.Р. Моисеев // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2024 : сборник научных статей 13-й Международной молодежной научной конференции (Курск, 12–13 ноября 2024 г.). – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 403–405.
5. Мухаметрахимов, Р.Х. Модифицированные гипсоцементно-пуццолановые бетоны для 3D-печати / Р.Х. Мухаметрахимов, Р.З. Рахимов, А.Р. Галаутдинов, Л.В. Зиганшина // Строительные материалы. – 2024. – № 1–2. – С. 79–89.
6. Москаев, И.Д. Перспективы 3D-печати бетона в строительстве / И.Д. Москаев // Молодой ученый. – 2023. – № 47(494). – С. 40–41.
7. Столетова (Черепанова), И.А. Архитектурные бетоны для строительной 3D-печати / И.А. Столетова (Черепанова), А.А. Володченко // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2024. – Т. 21. – № 6(100). – С. 1002–1016.
8. Царенко, А.А. Возможность использования строительной 3D-печати бетоном при возведении зданий и сооружений в России / А.А. Царенко, Н.А. Шапурова // Экономика строительства. – 2024. – № 4. – С. 389–392.
9. Савченко, В.А. 3D-печать бетоном в строительной отрасли: особенности и экономическая целесообразность / В.А. Савченко, Е.А. Позднякова, М.Е. Гранитова [и др.] // Финансовая экономика. – 2022. – № 4. – С. 230–232.

References

1. Adamtceвич, A.O. Additivnoe stroitelnoe proizvodstvo: obzor mirovogo opyta / A.O. Adamtceвич, L.A. Adamtceвич, A.P. Pustovgar // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2023. – № 12. – С. 83–97.
2. Begalyev, G. Budushchee stroitelnykh tekhnologii: innovatsii i tendentsii na gorizonte 2030 goda / G. Begalyev, Kh. Khodzhadurdyev // Nauchnye otkrytiia 2024 : sbornik materialov LV Mezhdunarodnoi ochno-zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii : v 3 t. (Moskva, 22 noiabria 2024 g.). – М. : Nauchno-izdatelskii tsentr «Imperiia», 2024. – С. 131–134.
3. Kim, A.M. Tekhnologicheskie kharakteristiki torkret-betona dlia 3D-pechati / A.M. Kim, E.M. Liutichenko, P.A. Klenovoi // Dni studencheskoi nauki : sbornik dokladov nauchno-tekhnicheskoi konferentsii po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov Instituta promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva (Moskva, 26 fevralia – 1 marta 2024 g.). – М. : Moskovskii gosudarstvennyi stroitelnyi universitet (Natsionalnyi issledovatel'skii universitet), 2024. – С. 506–508.
4. Moiseev, S.R. Tekhnologiya krupnomasshtabnoi 3D-pechati betona / S.R. Moiseev // Pokolenie budushchego: Vzgliad molodykh uchenykh – 2024 : sbornik nauchnykh statei 13-i Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii (Kursk, 12–13 noiabria 2024 g.). – Kursk : ЗАО «Universitetskaia kniga», 2024. – С. 403–405.
5. Mukhametrakhimov, R.Kh. Modifitsirovannye gipsotsementno-puttcolanovye betony dlia 3D-pechati / R.Kh. Mukhametrakhimov, R.Z. Rakhimov, A.R. Galautdinov, L.V. Ziganshina // Stroitelnye materialy. – 2024. – № 1–2. – С. 79–89.
6. Moskaev, I.D. Perspektivy 3D-pechati betona v stroitelstve / I.D. Moskaev // Molodoi uchenyi. – 2023. – № 47(494). – С. 40–41.
7. Stoletova (Cherepanova), I.A. Arkhitekturnye betony dlia stroitelnoi 3D-pechati / I.A. Stoletova (Cherepanova), A.A. Volodchenko // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta. – 2024. – Т. 21. – № 6(100). – С. 1002–1016.

8. Tcareno, A.A. Vozmozhnost ispolzovaniia stroitelnoi 3D-pechati betonom pri vozvedenii zdanii i sooruzhenii v Rossii / A.A. Tcareno, N.A. Shapurova // *Ekonomika stroitelstva*. – 2024. – № 4. – S. 389–392.

9. Savchenko, V.A. 3D-pechat betonom v stroitelnoi otrasli: osobennosti i ekonomicheskaiia tcelesoobraznost / V.A. Savchenko, E.A. Pozdniakova, M.E. Granitova [i dr.] // *Finansovaia ekonomika*. – 2022. – № 4. – S. 230–232.

Using 3D Concrete Printing Technology for Structural Construction: Opportunities and Challenges

O.M. Presnov¹, A.S. Kuleba², A.P. Volkov², D.I. Khlystov²

¹*Siberian Federal State Educational Institution of Higher Education;*

²*Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University,
Krasnoyarsk (Russia)*

Key words and phrases: concrete; innovation; 3D printing; regulation; construction; modern technologies; sustainability.

Abstract. The article examines the use of 3D concrete printing technology for the construction of structures, analyzes the opportunities and challenges associated with the introduction of this technology in the construction industry.

The main objective of this study is to assess the potential of 3D concrete printing as an innovative construction method, as well as to identify the main problems and limitations faced by this technology.

The objectives of the study are to review the existing 3D concrete printing technologies and their application in construction; to assess the advantages and disadvantages of 3D concrete printing compared to traditional construction methods; to study examples of successful application of 3D concrete printing in various countries; to identify the main challenges and risks associated with the introduction of this technology into construction practice; to develop recommendations for 3D concrete printing processes optimization.

The hypothesis of the study is the the assumption that the use of 3D concrete printing technology in construction can significantly increase efficiency and reduce construction costs, but successful implementation requires solving a number of technical and regulatory issues.

The study used comparative analysis methods, case studies, as well as expert interviews with representatives of the construction industry and research institutes. The literature analysis allowed us to identify the existing trends and directions in the field of 3D concrete printing.

The results of the study showed that 3D concrete printing technology has significant potential to optimize construction processes, including reducing construction time and waste. However, serious challenges were also identified, such as the need to develop new standards and regulations to ensure the safety and quality of structures. Recommendations for the implementation of 3D concrete printing technologies can contribute to a wider dissemination of this innovation in the construction industry.

© O.M. Преснов, А.С. Кулеба, А.П. Волков, Д.И. Хлыстов, 2025

УДК 69

Разработка математической модели оценки и планирования выполнения работ в строительстве

Я.В. Шестерикова, В.Н. Андрианов

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

Ключевые слова и фразы: вероятность; математическая модель; планирование; оценка риска; строительство; производительность.

Аннотация. На сегодняшний день строительная отрасль сталкивается со множеством проблем. Ключевой и значимой является проблема соблюдения сроков продолжительности строительства. На различных стадиях жизненного цикла при выполнении работ необходимо эффективное планирование, которое невозможно без модели с количественными показателями. Целью исследования является формирование математической модели, которая позволила бы на различных стадиях инвестиционно-строительного процесса с помощью анализа исходных определенных параметров оценивать сроки выполнения работ и прогнозировать ситуацию на строительной площадке. В результате проведенного исследования доказано, что эффективное планирование и своевременное принятие организационно-технологических решений способствует сокращению продолжительности выполнения работ.

Соблюдение сроков продолжительности строительства является наиболее актуальной проблемой на сегодняшний день.

Математическое обоснование способно помогать разрешать выявленные проблемы с назначением сроков. Для формирования математической модели необходимо составить задачу, в которую будут входить переменные, характеризующие ситуацию при определенных значениях. Это конкретизирует саму задачу и определит диапазон ее применения [1; 2; 3].

Допустим, есть n -е количество участков, вырабатывающих различные ресурсы каждые x часов. (Предположим: ресурс a вырабатывается с вероятностью 0,31, ресурс b с вероятностью 0,31, ресурс c – 0,31, ресурс d – 0,07.) Каждые x часов конкретно каждый участок гарантированно вырабатывает один из ресурсов: a , b , c , d . Сколько штук (k) ресурсов d выработает n -е количество участков с вероятностью 0,9?

Для решения этой задачи использовано распределение Гаусса. Суть в том, что каждый участок за каждый цикл производит ровно один ресурс, и вероятность производства ресурса d для одного участка – 0,07.

Пусть n – количество участков, каждый из которых производит один из четырех ресурсов. Вероятность того, что конкретный участок произведет ресурс d , показывает $p = 0,07$.

Число k ресурсов d будет выработано с вероятностью 0,9 (90 %).

Вычисляется как:

$$\mu = np, \quad (1)$$

где n – общее количество попыток (участков);

k – число ресурсов (ресурсов d), которые хотим определить. Это то количество штук ресурса d , которое должно быть произведено (0,9);

p – вероятность того, что один участок произведет ресурс d (0,07);

$P(X \geq k) = 0,9$ – условие, которое мы решаем. Это означает, что вероятность получить k или больше ресурсов равна 90 %;

μ – математическое ожидание, то есть среднее количество ресурсов d , которое ожидается на n участках.

$$\sigma = \sqrt{np(1-p)}, \quad (2)$$

где σ – стандартное отклонение, то есть мера разброса значений. Вычисляется исходя из биномиального закона Бернулли ($1 - p$ – это обратная вероятность того, что участок не произведет ресурс).

Стандартное отклонение характеризует риск, показывая, насколько неопределенной является ситуация [4; 5; 6].

Также мы имеем Z – стандартную нормальную величину. Она показывает, насколько далеко значение находится от среднего (μ) в терминах стандартного отклонения. Z вычисляется по формуле:

$$Z = \frac{(k - \mu)}{\sigma}. \quad (3)$$

Исходя из таблиц нормального распределения при $p = 0,9$, $Z = 1,29$.

Получается из формулы стандартной нормальной величины: $k = Z \sigma + \mu$. А исходя из формул (1) и (2):

$$k = Z \sqrt{(np(1-p))} + np. \quad (4)$$

Далее:

$$k = 1,29 \cdot \sqrt{n \cdot 0,07 \cdot 0,93} + n \cdot 0,07.$$

Пусть мы имеем 100 участков, тогда:

$$k = 1,29 \cdot \sqrt{100 \cdot 0,07 \cdot 0,93} + 100 \cdot 0,07 = 1,29 \cdot \sqrt{6,51} + 7 = 1,29 \cdot 2,55 + 7 = 3,3 + 7 = 10,3.$$

В итоге с вероятностью 90 % из 100 участков могут выработать ценный ресурс d около 10 участков.

В дальнейшем исследование будет направлено на рассмотрение конкретных видов работ (частных случаев). Могут быть внесены коррективы, исходя из статистики, в базу формул математической модели [7; 8].

Данную информацию можно использовать для определения работоспособности и производительности бригад при выборе исполнителя работ будущего проекта. Эти данные

позволяют сравнивать различные бригады по ключевым показателям, таким как скорость выполнения задач, качество работ и соблюдение сроков. Анализируя результаты, можно выявить сильные и слабые стороны каждого исполнителя [9; 10].

Дополнительно, использование статистики о ранее выполненных проектах поможет предсказать возможные риски и определить, какие факторы влияют на эффективность. Например, стоит учитывать опыт команды, наличие необходимых ресурсов и технологии, используемые в работе.

Литература

1. Лapidус, А.А. Концепция математической модели организационно-технологической надежности строительной системы / А.А. Лapidус, Г.Б. Сафарян // Строительное производство. – 2023. – № 4. – С. 176–180.
2. Shesterikova, Ya.V. Application of the method of complex assessment of the quality of high rise apartment buildings in practice / Ya.V. Shesterikova // E3S Web of Conferences. – 2021. – Art. 09031.
3. Шестерикова, Я.В. Оценка экономической эффективности повышения качества многоэтажных жилых зданий / Я.В. Шестерикова // Строительное производство. – 2020. – № 4. – С. 34–37.
4. Lapidus, A.A. The role of a quality system in managing interface work / A.A. Lapidus, I.F.I. Ibrahim, M.A. Fakhratov // Vestnik MGSU. – 2023. – Vol. 18. – Iss. 6. – P. 962–970.
5. Лapidус, А.А. Риск-ориентированный подход при осуществлении строительного контроля на стадии строительства многоквартирных жилых зданий / А.А. Лapidус, И.В. Ермаков, А.Е. Боровкова, Д.В. Семенов // Строительное производство. – 2023. – № 2. – С. 71–74.
6. Лapidус, А.А. Метод повышения производительности труда в строительстве / А.А. Лapidус // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19. – № 8. – С. 1365–1372.
7. Даюб, Н. Риски при планировании стратегии реконструкции объектов строительства / Н. Даюб, А.А. Лapidус, М.А. Фахратов // Components of scientific and technological progress. – 2023. – № 5(83). – С. 105–113.
8. Максеvич, Ю.А. Применение математических моделей в управленческой практике / Ю.А. Максеvич, И. Аксакалидис, В.В. Драгуленко // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 1(162). – С. 1378–1382.
9. Инякин, А.Т. Совершенствование методов проектирования в строительстве на основе организационно-технологического моделирования / А.Т. Инякин, Ю.В. Гуцина // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса. – 2022. – С. 113–119.
10. Кабанов, В.Н. Оценка достоверности расчетного значения продолжительности строительного процесса / В.Н. Кабанов, Д.В. Шилов // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2025. – № 1(77). – С. 91–101.

References

1. Lapidus, A.A. Kontseptciia matematicheskoi modeli organizatsionno-tekhnologicheskoi nadezhnosti stroitelnoi sistemy / A.A. Lapidus, G.B. Safarian // Stroitelnoe proizvodstvo. – 2023. – № 4. – S. 176–180.

3. Shesterikova, Ia.V. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti povysheniia kachestva mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy / Ia.V. Shesterikova // Stroitelnoe proizvodstvo. – 2020. – № 4. – S. 34–37.
5. Lapidus, A.A. Risk-orientirovannyi podkhod pri osushchestvlenii stroitelnogo kontrolya na stadii stroitelstva mnogokvartirnykh zhilykh zdaniy / A.A. Lapidus, I.V. Ermakov, A.E. Borovkova, D.V. Semenov // Stroitelnoe proizvodstvo. – 2023. – № 2. – S. 71–74.
6. Lapidus, A.A. Metod povysheniia proizvoditelnosti truda v stroitelstve / A.A. Lapidus // Vestnik MGSU. – 2024. – T. 19. – № 8. – S. 1365–1372.
7. Daiub, N. Riski pri planirovanii strategii rekonstruktsii obektov stroitelstva / N. Daiub, A.A. Lapidus, M.A. Fakhratov // Components of scientific and technological progress. – 2023. – № 5(83). – S. 105–113.
8. Maksevich, Iu.A. Primenenie matematicheskikh modelei v upravlencheskoi praktike / Iu.A. Maksevich, I. Aksakalidis, V.V. Dragulenko // Ekonomika i predprinimatelstvo. – 2024. – № 1(162). – S. 1378–1382.
9. Iniakin, A.T. Sovershenstvovanie metodov proektirovaniia v stroitelstve na osnove organizatsionno-tekhnologicheskogo modelirovaniia / A.T. Iniakin, Iu.V. Gushchina // Aktualnye problemy i perspektivy razvitiia stroitelnogo kompleksa. – 2022. – S. 113–119.
10. Kabanov, V.N. Otsenka dostovernosti raschetnogo znacheniiia prodolzhitelnosti stroitelnogo protsessa / V.N. Kabanov, D.V. Shilov // Nauchnyi zhurnal stroitelstva i arkhitektury. – 2025. – № 1(77). – S. 91–101.

Development of a Mathematical Model for Estimating and Planning Construction Work

Ya.V. Shesterikova, V.N. Andrianov

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

Key words and phrases: probability; mathematical model; planning; risk assessment; construction; productivity.

Abstract. Today, the construction industry is facing many challenges. The key and significant problem is the problem of meeting the deadlines for the duration of construction. At various stages of the life cycle, effective planning is necessary when performing work, which is impossible without a quantitative model. The purpose of the study is to form a mathematical model that would allow, at various stages of the investment and construction process, by analyzing the initial defined parameters, to estimate the time frame for work and predict the situation on the construction site. As a result of the conducted research, it is proved that effective planning and timely adoption of organizational and technological decisions helps to reduce the duration of work.

© Я.В. Шестерикова, В.Н. Андрианов, 2025

УДК 004.8

Сотрудничество человека и искусственного интеллекта

Д.Л. Клеев, О.А. Кочеткова

*АОЧУ ВО «Московский финансово-юридический
университет МФЮА»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: искусственный интеллект; человек; совместные (коллаборативные) агенты ИИ; стратегии агентов; эффективность; предпочтения.

Аннотация. Несмотря на растущий интерес к совместному (коллаборативному) искусственному интеллекту (**ИИ**), разработка систем, легко интегрирующих человеческий вклад, остается серьезной проблемой. В этом исследовании автор разработал задачу для систематического изучения предпочтений людей в отношении совместных агентов. Были созданы и протестированы 5 (пять) совместных агентов ИИ со стратегиями, которые различаются по способу и степени адаптации к действиям человека. Участники взаимодействовали с некоторыми из этих агентов, оценивали их воспринимаемые характеристики и выбирали предпочитаемого агента. Была использована байесовская модель, чтобы понять, как стратегии агентов влияют на эффективность совместной работы человека и ИИ, на воспринимаемые человеком качества ИИ и факторы, формирующие предпочтения человека при сравнении агентов в парах. Результаты показывают, что агенты, которые более внимательны к действиям человека, предпочтительнее агентов, ориентированных исключительно на максимальную эффективность.

Современные технологии искусственного интеллекта достигли такого уровня, что стала возможной их интеграция в повседневную деятельность. Это происходит в самых разных областях, включая здравоохранение, образование и игры [1].

Это исследование направлено на создание эффективного, ориентированного на человека ИИ для совместной работы, путем объединения проектов искусственного интеллекта, сфокусированных на производительности, и исследований дизайна, предназначенных для человека. Современные исследования в области машинного обучения, как правило, рассматривают совместный ИИ как задачу многоагентного обучения с подкреплением (Multiagent Reinforcement Learning, **MARL**). Таким образом, в многоагентных системах с участием человека фактически игнорируются недавние исследования, которые показали, что

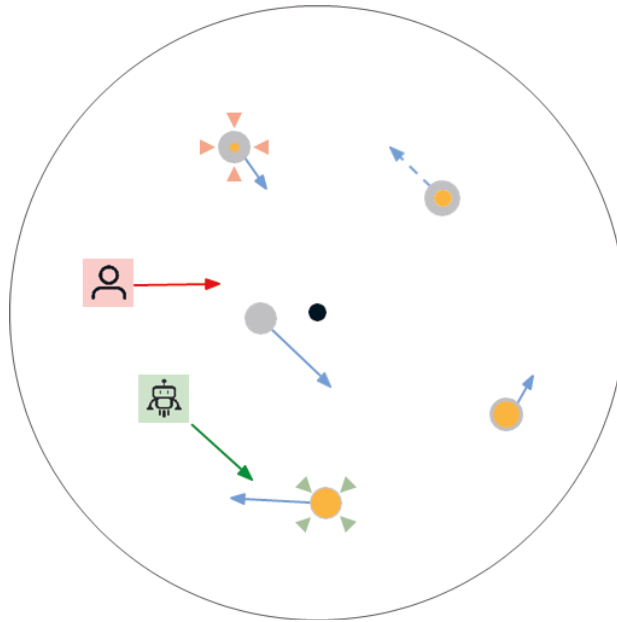


Рис. 1. Иллюстрация совместной задачи по перехвату целей с участием человека-игрока и агента ИИ

для эффективного совместного использования ИИ необходимо учитывать субъективные факторы, помимо объективных показателей эффективности.

В этом исследовании автор стремится устранить разрыв между алгоритмами, ориентированными на производительность, и предпочтениями пользователей при взаимодействии человека и ИИ. Цель работы – ответить на два основных вопроса. Во-первых, какие факторы в наибольшей степени влияют на предпочтения людей в отношении ИИ-агентов, работающих в команде. Во-вторых, всегда ли компромиссы между производительностью ИИ и предпочтениями людей носят строго линейный характер с нулевой суммой, когда улучшение одного неизбежно ухудшает другое?

В этом исследовании представлена эмпирическая основа для изучения того, как различные аспекты поведения агента приводят к эффективному взаимодействию человека и ИИ.

Для того чтобы исследовать человеческие предпочтения в отношении агентов с искусственным интеллектом для совместной работы, была создана задача, в которой игрок человек и агент с искусственным интеллектом работают вместе над достижением общей цели – максимально высокого командного результата. Эта задача является расширением динамической задачи принятия решений, ранее использовавшейся для изучения того, как люди принимают помощь искусственного интеллекта.

Цель игры состоит в том, чтобы набрать как можно больше очков, перехватывая цели, оцениваемые в баллы, которые движутся с постоянной скоростью по игровому окружению (см. рис. 1).

Ключевым аспектом задачи является плотность целей, которая определяет количество целей, которые могут одновременно присутствовать в игровой среде. Изменяя плотность целей, игроки сталкиваются с различными требованиями к совместной работе.

Игра проходит в круговой среде, где участник (красный аватар) и агент ИИ (зеленый аватар) должны набирать очки, перехватывая движущиеся цели (круги), которые появляются в игровой зоне. Новые цели появляются в игровой зоне, движутся по прямой траектории, а затем исчезают, когда достигают края игровой зоны. Игроки могут нажать на цель,

для того чтобы направить свой аватар к оптимальной точке перехвата. Стрелки используются для обозначения траектории и скорости движения целей и игроков, но они не отображаются в игровом окружении. Перекрестия на целях указывают, какую цель преследует каждый агент. Цели имеют разное количество очков, что обозначено оранжевой заливкой. В игре отображаются показатели как для отдельных игроков, так и для команды (справа). Участники взаимодействуют с различными агентами ИИ, обозначенными цветами.

Результаты исследований демонстрируют показатели объективной эффективности, такие как производительность людей и агентов ИИ, работающих в сотрудничестве. Кроме того, акцентируется внимание на поведенческих показателях, связанных с близостью между агентами и степенью, в которой один агент мешает плану другого агента. Затем сообщается о результатах субъективных показателей, основанных на ответах на вопросы анкеты. Наконец, приводятся предпочтения людей в отношении различных типов агентов, работающих в сотрудничестве, и применяются прогностические модели, с тем чтобы определить, какие объективные и субъективные показатели лучше всего предсказывают выбор [1].

В этом исследовании автор стремился понять, какие черты делают ИИ-помощников привлекательными и компетентными партнерами в многоагентных задачах с участием человека. Для того чтобы изучить это, был поставлен поведенческий эксперимент, в котором люди играли вместе с ИИ-помощником в новой задаче по принятию решений. Наиболее предпочтительными оказались агенты, которые хорошо справлялись с субъективной оценкой своих способностей к сотрудничеству. В отличие от этого, производительность по объективным показателям не оказалась надежным показателем предпочтений людей в отношении ИИ-агентов для сотрудничества. Настоящая работа вносит следующий ключевой вклад в исследования сотрудничества человека и искусственного интеллекта:

1) люди предпочитают ИИ-помощников, которые осуществляют значимый вклад в работу. В данном исследовании агенты-помощники, которые демонстрировали более высокую производительность по сравнению с участниками, в целом не пользовались таким же спросом;

2) люди предпочитают ИИ-помощников, которые учитывают намерения человека. Участники продемонстрировали явное неприятие к предполагаемому вмешательству в задачи, которые они делегировали ИИ [2];

3) лучшие агенты для совместной работы хорошо адаптированы к окружающей среде. Было обнаружено, что участники в целом отдавали предпочтение более простым средствам (агент 5) в условиях ограниченного количества ресурсов (низкая плотность целей). С другой стороны, люди предпочитали более сложных агентов (агент 3) в условиях большого количества ресурсов (высокая плотность целей). Основываясь на оценках участников и анализе открытых отзывов, мы интерпретируем эти изменения в предпочтениях как результат того, что в одних условиях задачи политики ИИ более эффективны, чем в других. Например, в условиях ограниченного количества ресурсов агент 5 позволяет человеку преследовать все ценные цели, сосредоточившись на объектах, которые человек вряд ли будет приоритизировать [3];

4) небольшие изменения в алгоритме потенциально могут улучшить способность ИИ к совместной работе. Различные ИИ для совместной работы, представленные в этом исследовании, можно рассматривать как простые модификации входных данных существующей системы.

Согласно проведенному анализу, люди предпочитают сотрудничать с алгоритмами, которые позволяют пользователю вносить значимый вклад в работу команды, с партнером по команде с искусственным интеллектом, который дополняет их действия, а не доминирует

ет во взаимодействии. Были обнаружены доказательства того, что предпочтения основаны на тенденции к неприятию несправедливости, а это означает, что возможности ИИ для совместной работы должны быть сопоставимы с возможностями человека-пользователя. Также обнаружена сильная поддержка предпочтений агентов, которые проявляют склонность подчиняться человеку [4]. Одним из способов достижения такого приближения к возможностям совместной работы является разделение труда, которое подчеркивает автономию пользователей, например путем делегирования задач или пространственного разделения. Примененная здесь экспериментальная парадигма может быть использована для последовательного улучшения возможностей совместной работы как в новых, так и в существующих системах.

Литература/References

1. Steyvers, M. Three challenges for ai-assisted decision-making / M. Steyvers, A. Kumar // *Perspectives on Psychological Science*. – 2024. – Vol. 19(5). – P. 722–734.
2. Carroll, M. On the utility of learning about humans for human-ai coordination / M. Carroll, R. Shah, M.K. Ho et al. // *Advances in neural information processing systems*. – 2019. – Vol. 32. – P. 5174–5185.
3. Crandall, J.W. Cooperating with machines / J.W. Crandall, M.O. Tennen, Fatimah I.-O. et al. // *Nature communications*. – 2018. – Vol. 9(1). – Art. 233.
4. Strouse, D.J. Collaborating with humans without human data / D.J. Strouse, K. McKee, M. Botvinick et al. // *Advances in Neural Information Processing Systems*. – 2021. – Vol. 34. – P. 14502–14515.

Collaboration of Humans and Artificial Intelligence

D.L. Kleyev, O.A. Kochetkova

*Moscow University of Finance and Law,
Moscow (Russia)*

Key words and phrases: artificial intelligence; human; collaborative AI agents; agent strategies; performance; preferences.

Abstract. Despite the growing interest in collaborative artificial intelligence (AI), developing systems that seamlessly integrate human input remains a significant challenge. In this study, the author developed a task to systematically study human preferences for collaborative agents. Five (5) collaborative AI agents with strategies that vary in the way and degree of adaptation to human actions were created and tested. Participants interacted with some of these agents, rated their perceived characteristics, and selected a preferred agent. A Bayesian model was used to understand how agent strategies affect the performance of human-AI collaboration, human-perceived AI qualities, and the factors that shape human preferences when comparing agents in pairs. The results show that agents that are more attentive to human actions are preferred over agents focused solely on maximizing performance.

© Д.Л. Клеев, О.А. Кочеткова, 2025

УДК 621.311.001.57

Исследование влияния настроечных коэффициентов системы автоматического управления силовым преобразователем на основе топологии синхронвертера

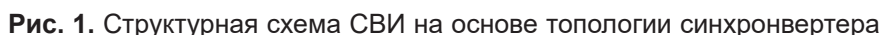
М.В. Бурмейстер, П.С. Борис, М.Д. Нестеров,
Е.А. Маленкова, А.А. Хоркина

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: виртуальный синхронный генератор; возобновляемые источники энергии; коэффициенты усиления; система автоматического управления; система виртуальной инерции.

Аннотация. Целью данной статьи является исследование влияния настроечных коэффициентов контура регулирования выходной активной мощности синхронвертера на колебательные свойства системы. В статье рассматривается система виртуальной инерции (**СВИ**), выполненная по топологии синхронвертера. Данная система автоматического управления (**САУ**) позволяет воспроизводить динамические свойства синхронных генераторов силовыми преобразователями, используя наиболее простой математический аппарат. Проведен анализ влияния настроечных коэффициентов (момента инерции J , коэффициента демпфирования Dp) на колебательные свойства системы. Анализ осуществлен на основе значений собственной частоты и демпфирующего коэффициента.

В настоящее время мировая энергетика переживает значительные изменения, связанные с активным внедрением и интеграцией возобновляемых источников энергии (**ВИЭ**). Интеграция таких объектов сопровождается рядом технических проблем. Одна из них состоит в том, что значительная часть объектов ВИЭ подключается к электроэнергетической системе (**ЭЭС**) с помощью силовых преобразователей. Такие устройства чувствительны к различным возмущениям, возникающим в сети, таким как перепады. В случае возникновения значительного отклонения частоты в ЭЭС от номинального значения электростанции на основе ВИЭ могут автоматически отключаться действием технологических защит. Это может приводить к развитию каскадных аварий.



Контур регулирования выходной активной мощности синхронвертера воспроизводит динамические свойства синхронных генераторов при изменении частоты в ЭЭС. Для этого используется уравнение качания СГ (1):

где J – момент инерции;
 M_m – механический момент;
 $M_{эл}$ – электромагнитный момент;
 D_p – коэффициент демпфирования;
 ω – угловая скорость вращения электромагнитного поля ротора;
 ω^* – уставка по угловой скорости вращения электромагнитного поля ротора.

$$T_{d0} \frac{d\psi_f}{dt} = Q - Q^*, \quad (2)$$

Таблица 1. Значения коэффициентов затухания α и собственных частот ω_c при изменении момента инерции от $0,25J_0$ до $4J_0$

№	Момент инерции J	Коэффициент демпфирования D_p	Собственная частота ω_c , Гц	Коэффициент затухания α
1	$0,25J_0$	D_{p0}	2401,1	0,416
2	$0,5J_0$		1697,9	0,294
3	J_0		1200,6	0,208
4	$2J_0$		848,9	0,147
5	$4J_0$		600,3	0,104

Таблица 2. Значения коэффициентов затухания α и собственных частот ω_c при изменении коэффициента демпфирования от $0,25D_{p0}$ до $4D_{p0}$

№	Момент инерции J	Коэффициент демпфирования D_p	Собственная частота ω_c , Гц	Коэффициент затухания α
1	J_0	$0,25D_{p0}$	1200,6	0,052
2		$0,5D_{p0}$	1200,6	0,104
3		D_{p0}	1200,6	0,208
4		$2D_{p0}$	1200,6	0,416
5		$4D_{p0}$	1200,6	0,833

где T_{d0} – постоянная времени обмотки возбуждения;

ψ_f – потокосцепление обмотки возбуждения;

Q – выходная реактивная мощность;

Q^* – уставка по выходной реактивной мощности.

Регулирование динамических свойств системы возможно за счет изменения настроечных коэффициентов контура регулирования выходной активной мощности – момента инерции (J) и коэффициента демпфирования (D_p). Для оценки влияния настроечных коэффициентов использованы значения коэффициента затухания α и собственной частоты ω_c моды движения системы.

Значение коэффициента затухания может быть определено по формуле (3):

$$\alpha = \left(\sqrt{\frac{X_\pi + X_\phi}{2\sqrt{6} \psi_f U \cos(\delta)}} \right) \frac{D_p}{\sqrt{J}}, \quad (3)$$

где U – напряжение на выводах синхронвертера;

δ – разность векторов напряжений на выводах синхронвертера и точке присоединения к сети;

X_π – реактивное сопротивление линии электропередачи;

X_ϕ – сопротивление LC-фильтра силового преобразователя.

Значение собственной частоты ω_c может быть определено по формуле (4):

$$\omega_c = \left(\sqrt{\frac{3}{2} \cdot \frac{\psi_f U_c \cos(\delta)}{X_\pi + X_\phi}} \right) \frac{1}{\sqrt{J}}. \quad (4)$$

Для оценки влияния настроечных коэффициентов синхронвертера на динамические свойства системы рассчитаны фактические значения коэффициентов затухания и собственных частот для различных значений настроечных коэффициентов. Результаты, полученные при изменении момента инерции J в диапазоне от $0,25J_0$ до $4J_0$, сведены в табл. 1.

Результаты, полученные при изменении коэффициента демпфирования J в диапазоне от $0,25J_0$ до $4J_0$, сведены в табл. 2.

На основе значений, представленных в табл. 1 и 2, можно сделать вывод, что при увеличении момента инерции J значения собственной частоты, а также коэффициента затухания снижаются. Это приводит к увеличению длительности колебательных процессов, возникающих в системе, а также ухудшению демпфирующих свойств.

При увеличении коэффициента демпфирования D_p значения собственной частоты остаются неизменными, а коэффициента затухания – увеличиваются. Это приводит к улучшению демпфирующих свойств системы. Однако увеличение коэффициента демпфирования приводит к изменению коэффициента статизма синхронвертера, что может быть недопустимо в соответствии с нормативно-техническими требованиями.

Таким образом, можно сделать вывод, что для корректного выбора настроечных коэффициентов САУ синхронвертера необходим комплексный подход. Изменение значения момента инерции приводит к изменению собственной частоты, и при этом оказывается влияние на декремент затухания. Изменение значения коэффициента демпфирования не оказывает влияния на собственную частоту, но изменяет коэффициент статизма.

Литература/References

1. Delille, G. Dynamic frequency control support by energy storage to reduce the impact of wind and solar generation on isolated power system's inertia / G. Delille, B. Francois, G. Malarange // IEEE Trans. Sustain. Energy. – Vol. 3. – Iss. 4. – P. 931–939.
2. Beck, H.P. Virtual synchronous machine / H.P. Beck, R. Hesse // Proc. 9th Int. Conf. EPQU. – 2007. – P. 1–6.
3. Du, Y. Modeling, analysis, and design of a frequency-droop-based virtual synchronous generator for microgrid applications / Y. Du et al. // Proc. IEEE ECCE. Asia Downunder. – 2013. – P. 643–649.
4. Alipoor, J. Power system stabilization using virtual synchronous generator with alternating moment of inertia / J. Alipoor, Y. Miura, T. Ise // IEEE J. Emerg. Sel. Topics Power Electron. – 2015. – Vol. 3. – Iss. 2. – P. 451–458.
5. Zhong, Q.-C. Synchronverters: Inverters that mimic synchronous generators / Q.-C. Zhong, G. Weiss // IEEE Trans. Ind. Electron. – 2011. – Vol. 58. – Iss. 4. – P. 1259–1267.

Investigation of the Influence of the Tuning Coefficients of the Automatic Control System of a Power Converter Based on the Synchroverter Topology

M.V. Burmeyer, P.S. Boris, M.D. Nesterov, E.A. Malenkova, A.A. Khorkina

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute",
Moscow (Russia)*

Key words and phrases: virtual synchronous generator; renewable energy sources; gain factors; automatic control system; virtual inertia system.

Abstract. The purpose of this article is to study the effect of the tuning coefficients of the control circuit of the active power of the synchronverter on the oscillatory properties of the system. The article discusses a virtual inertia system (VIS) based on the synchronverter topology. This automatic control system (ACS) allows reproducing the dynamic properties of synchronous generators by power converters using the simplest mathematical apparatus. The influence of tuning coefficients (moment of inertia J , damping coefficient D_p) on the oscillatory properties of the system is analyzed. The analysis was carried out based on the values of the natural frequency and the damping coefficient.

© М.В. Бурмейстер, П.С. Борис, М.Д. Нестеров, Е.А. Маленкова, А.А. Хоркина, 2025

УДК 621.311.001.57

Оценка настроечных коэффициентов виртуального синхронного генератора

Бурмейстер М.В., П.С. Борис, М.Д. Нестеров,
Е.А. Маленкова, А.А. Хоркина

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет “МЭИ”»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: возобновляемые источники энергии; силовые преобразователи; скорость изменения частоты; система виртуальной инерции; виртуальный синхронный генератор.

Аннотация. Настоящая статья направлена на разработку принципов оценки параметров настройки контура регулирования выходной активной мощности виртуального синхронного генератора (ВСГ) на основе анализа взаимосвязи скорости изменения частоты во внешней энергосистеме и генерируемой активной мощности силового преобразователя – инвертора. В основу предполагаемого метода положен эмпирический анализ, устанавливающий корреляцию между переходной характеристикой частоты при малых возмущениях в энергосистеме и виртуальной инерцией инвертора. Для решения поставленной задачи применяется линеаризованная модель силового преобразователя, управляемого алгоритмом ВСГ. Целью данного исследования является оценка параметров настройки ВСГ для улучшения демпфирования колебаний частоты в энергосистеме. Основными задачами исследования являются: вывод уравнений для определения коэффициентов виртуальной инерции и демпфирования на основе переходных процессов при малых возмущениях и проверка предложенного метода с помощью моделирования переходных процессов в **MATLAB/Simulink**. В работе исследуются механизмы демпфирования колебаний, вызванных внешними возмущениями, а также выводятся уравнения для настроечных коэффициентов ВСГ. Гипотеза: использование виртуального синхронного генератора с выбранными настроечными коэффициентами обеспечивает эффективное демпфирование колебаний частоты за счет имитации электромеханических свойств традиционного синхронного генератора.

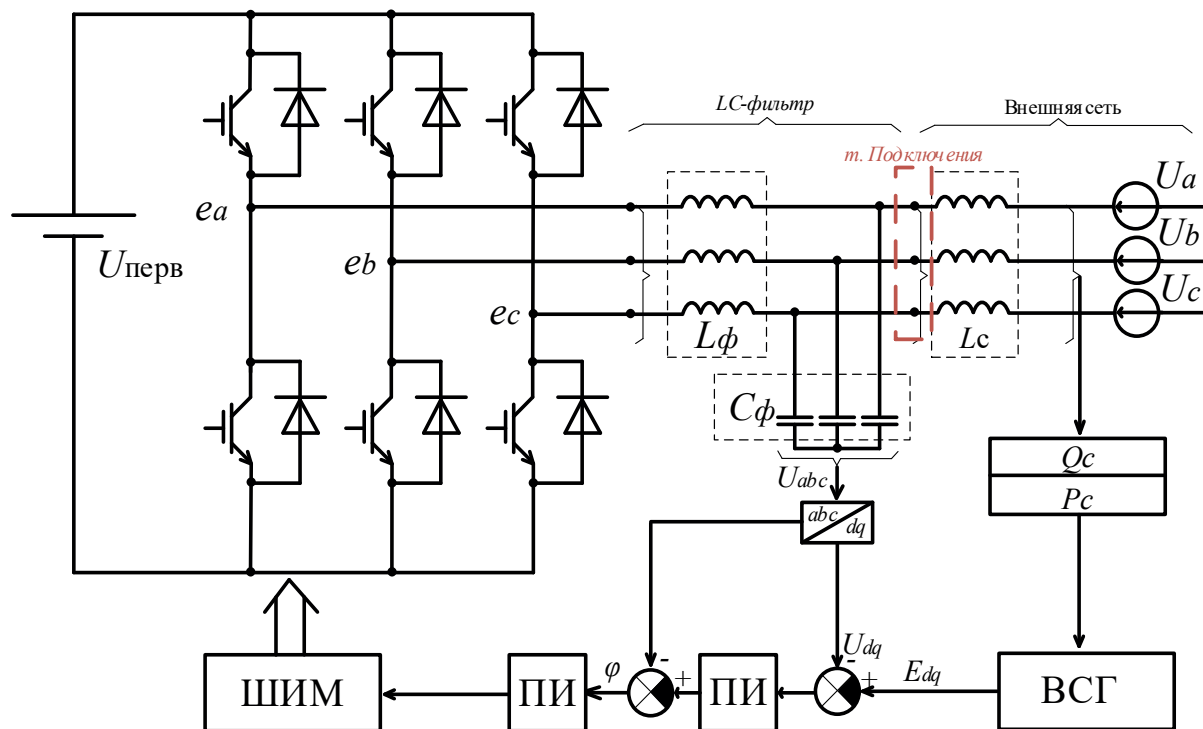


Рис. 1. Структурная схема силового инвертора, формирующего сеть

В электроэнергетической системе (ЭЭС) России отмечается устойчивый рост установленной мощности возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в структуре традиционных генерирующих мощностей. Подключение объектов ВИЭ к внешней энергосистеме осуществляется с помощью силовых преобразователей – инверторов, работающих в «ведомом» режиме с электрической системой [1]. Фотоэлектрические модули (ФЭМ) и ветроэнергетические установки (ВЭУ) IV типа в энергорайонах, где их доля сопоставима с синхронными генераторами, приводят к проблемам регулирования частоты [2]. Отсутствие механизма виртуальной инерции в системах автоматического управления (САУ) инверторов снижает эквивалентную инерцию энергосистемы, что приводит к большей амплитуде отклонения частоты при нарушениях баланса внешними возмущениями.

Применение систем виртуальной инерции (СВИ), воспроизводящих динамические свойства синхронных машин, обладающих вращательной инерционностью, является одним из решений обеспечения устойчивой работы энергосистемы с высокой долей ВИЭ [1]. В рамках данного исследования рассматривается реализация СВИ на базе алгоритма ВСГ, где контур регулирования выходной активной мощности силового инвертора обеспечивает имитацию поведения традиционного генератора при возмущениях. Данный подход позволяет инверторам, формирующим сеть, участвовать в поддержании системной частоты за счет наличия виртуальной инерции.

На рисунке 1 приведена структурная схема точки подключения силового инвертора к внешней энергосистеме. Внешняя сеть рассматривается как источник с индуктивным сопротивлением. В данной схеме учтено взаимовлияние контуров регулирования выходной активной и реактивной мощностей. Выходная активная мощность изменяется по сигналу отклонения частоты, а реактивная – управляется в зависимости от отклонения напряжения в точке подключения инвертора [3].

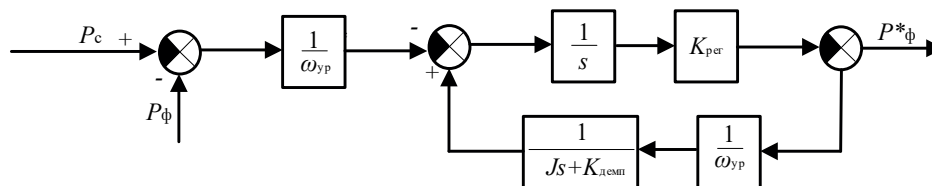


Рис. 2. Схема выдаваемой активной мощности при возмущениях в энергосистеме

Примечание: $U_{перв}$ – постоянное напряжение силового преобразователя, L_ϕ и C_ϕ – параметры LC-фильтра, U_{abc} – фазные напряжения со стороны инвертора, Q_c и P_c – реактивная и активная мощности на выводах инвертора соответственно, U_d и U_q – ЭДС виртуального синхронного генератора, представленного в dq -координатах, ϕ – фазовый угол между напряжением и током в точке подключения инвертора к энергосистеме.

Представленная схема управления реализует взаимосвязанное регулирование через контур частотного регулирования и контур фазового угла напряжения для формирования сигнала выходной активной мощности инвертора [3]. В соответствии с данной структурной схемой и уравнением движения ротора зависимость выходной активной мощности преобразователя от частоты в энергосистеме может быть записана как (1):

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{P_c - P_\phi}{\omega_n} - K_{демп}(\omega - \omega_{yp}), \quad (1)$$

где P_ϕ – фактическая выдаваемая активная мощность силового инвертора;

ω_{yp} – номинальная частота в энергосистеме;

ω – частота виртуального синхронного генератора.

Использование допущения малых углов ($\delta < 15^\circ$) позволяет линеаризовать уравнения. В соответствии с данным допущением, уравнение выходной активной мощности, записанной через коэффициент статизма регулирования, может быть выражено как (2):

$$P_\phi = \frac{E \cdot U_{сеть}}{X} \sin \delta \approx \frac{E \cdot U_{сеть}}{X} \delta \approx K_{рег} \delta, \quad (2)$$

где E – ЭДС ВСГ;

$U_{сеть}$ – напряжение в точке подключения инвертора к сети;

X – сопротивление в энергосистеме.

Для исследования зависимости выходной активной мощности сетевого инвертора от частотных колебаний в энергосистеме ($|\Delta f| < 0,2$ Гц) применяется структурная модель, показанная на рис. 2.

Исходя из рис. 2, функция передачи фактической выходной активной мощности в отношении к возмущению частоты в энергосистеме может быть выражена как (3):

$$P_\phi = \omega_{yp} \frac{K_{рег} \cdot \omega_c (Js + K_{демп})}{J \cdot \omega_c \cdot s^2 + K_{демп} \cdot \omega_c \cdot s + K_{рег}}. \quad (3)$$

Данное уравнение представляет собой функцию, имитирующую выдачу или поглощение электромагнитной мощности инвертором на основе алгоритма ВСГ при малых изменениях частоты в энергосистеме.

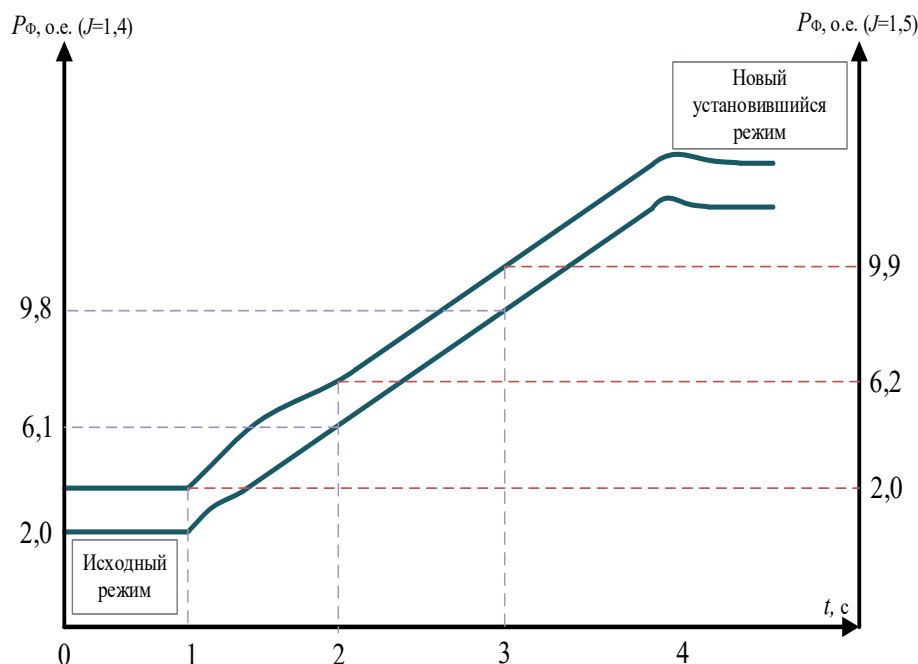


Рис. 3. Исходные параметры модели для оценки эффективности метода

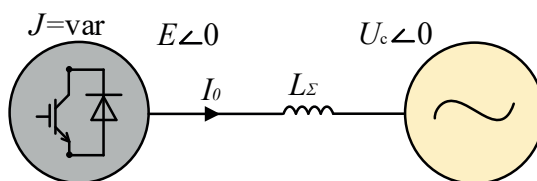


Рис. 4. Выходная активная мощность при разных настроечных коэффициентах ВСГ при отклонении частоты во внешней энергосистеме

В соответствии с преобразованием Лапласа выражение (2) может быть записано так (4):

$$P_{\phi}(s) = \frac{p}{s^2} \frac{K_{рег} \cdot \omega_c (Js + K_{демп})}{J \cdot \omega_c \cdot s^2 + K_{демп} \cdot \omega_c \cdot s + K_{рег}}, \quad (4)$$

где p – это комплексная переменная при преобразовании Лапласа.

После обратного преобразования Лапласа (5):

$$P_{\phi}(t) = -p \cdot K_{демп} \cdot \omega_c \cdot t - pJ\omega_c + \frac{pK_{демп}^2 \cdot \omega_c^2}{K_{рег}}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что большая инерция приведет к тому, что система будет реагировать медленнее и коэффициенты инерции и демпфирования будут реагировать на изменение активной мощности пропорционально. При этом будет оказываться поддерживающий эффект при изменении частоты во внешней системе за счет коэффициентов демпфирования и коэффициента статизма. Для решения функции (5) введем коэффициент статизма, который может быть выражен как (6):

$$K_{рег} = \frac{E \cdot U_{сеть}}{X_{\phi} + X_{сеть}} . \quad (6)$$

Функция (6) зависит от амплитуды напряжения в точке подключения инвертора, ЭДС силового инвертора и суммарного сопротивления электропередачи. Амплитуда напряжения на выводах силового инвертора определяется алгоритмом ВСГ. Следовательно, неизвестные величины функции (5) определяются параметрически, при изменении напряжения в энергосистеме. Так как при изменении напряжения в точке подключения инвертора его выходная активная мощность изменяется линейно, справедливы уравнения для нахождения корней функции (5):

$$P_{\phi 1}(t) - P_{\phi 1} = A_1(t - t_{01}) + B_1 ; \quad (7)$$

$$P_{\phi 2}(t) - P_{\phi 2} = A_2(t - t_{02}) + B_2 , \quad (8)$$

где t_{01}, t_{02} – начальные моменты возмущения частоты в энергосистеме;

$P_{\phi 1,2}$ – активная мощность, выдаваемая инвертором, формирующим сеть в начальный момент времени;

$A_{1,2}$ и $B_{1,2}$ – константы:

$$\begin{cases} A_1 = p \cdot K_{демп1} \cdot \omega_c \\ A_2 = p \cdot K_{демп2} \cdot \omega_c \\ B_1 = -pJ\omega_c + \frac{pK_{демп1}^2 \cdot \omega_c^2}{K_{рег}} \\ B_2 = -pJ\omega_c + \frac{K_{демп2}^2 \cdot \omega_c^2}{K_{рег}} \end{cases} . \quad (9)$$

Уравнения (9) имеют пропорциональную и квадратично пропорциональную зависимость от изменения частоты, при этом амплитуда изменения напряжения сети не оказывает влияния на аргументы функции, что позволяет найти переменные коэффициента демпфирования и значение виртуальной инерции J .

Для проверки метода на основе анализа изменения частоты в энергосистеме были смоделированы силовой инвертор в *MATLAB/Simulink* мощностью 2 МВА и приемная энергосистема (рис. 3).

В приемной энергосистеме с интервалом в 1 с возникает небаланс активной мощности, что приводит к изменению частоты $\Delta f = 1 \text{ Гц}$. Данное возмущение моделируется при различных коэффициентах (9), где виртуальный момент инерции изменяется в интервале $J \in (1,4;1,5)$ о.е. (рис. 4).

В данной статье предложен метод оценки параметров виртуальной инерции сетевых инверторов, основанный на анализе изменения частоты в энергосистеме. В ходе работы получены уравнения первого порядка для нахождения настроечных коэффициентов виртуального синхронного генератора. Произведен анализ воздействия параметров влияния виртуальной инерции и коэффициента демпфирования на выходную активную мощность силового инвертора для поддержания номинальной частоты при возникновении небаланса в приемной энергосистеме.

Литература

1. Бурмейстер, М.В. Системы виртуальной инерции: новый подход к интеграции ВИЭ в электроэнергетические системы / М.В. Бурмейстер, И.И. Бердышев, Р.В. Булатов, Р.Р. Насыров // Электроэнергия. Передача и Распределение. – 2023. – № 6(81). – С. 20–27.
2. Zhang, Q.B. Stability problems of PV inverter in weak grid / Q. Zhang, M. Mao, G. Ke et al. // IET Power Electron. – 2020. – Vol. 13. – P. 2165–2174.
3. Веренцов, Л.А. Определение настроечных коэффициентов виртуального синхронного генератора / Л.А. Веренцов, М.В. Бурмейстер, Д.В. Стаценко, А.А. Хоркина // Перспективы науки. – 2024. – № 10(181). – С. 50–53.

References

1. Burmeister, M.V. Sistemy virtualnoi inertcii: novyi podkhod k integratsii VIE v elektroenergeticheskie sistemy / M.V. Burmeister, I.I. Berdyshev, R.V. Bulatov, R.R. Nasyrov // Elektroenergiia. Peredacha i Raspredelenie. – 2023. – № 6(81). – S. 20–27.
3. Verentcov, L.A. Opredelenie nastroechnykh koeffitsientov virtualnogo sinkhronnogo generatora / L.A. Verentcov, M.V. Burmeister, D.V. Statcenko, A.A. Khorkina // Perspektivy nauki. – 2024. – № 10(181). – S. 50–53.

Estimation of Tuning Coefficients of a Virtual Synchronous Generator

M.V. Burmeister, P.S. Boris, M.D. Nesterov, E.A. Malenkova, A.A. Khorkina

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute",
Moscow (Russia)*

Key words and phrases: renewable energy sources; power converters; frequency change rate; virtual inertia system; virtual synchronous generator.

Abstract. This article is aimed at developing principles for estimating the settings of the control circuit for the output active power of a virtual synchronous generator (**VSG**) based on the analysis of the relationship between the rate of frequency change in the external power system and the generated active power of a power converter – inverter. The proposed method is based on an empirical analysis that establishes a correlation between the frequency transition characteristic for small disturbances in the power system and the virtual inertia of the inverter. To solve this problem, a linearized model of a power converter controlled by the VSG algorithm is used. The purpose of this study is to evaluate the VSG tuning parameters to improve the damping of frequency fluctuations in the power system. The main objectives of the study are to derive equations for determining the coefficients of virtual inertia and damping based on transients with small perturbations, and verify the proposed method using transient modeling in MATLAB/Simulink. The work investigates the mechanisms of damping vibrations caused by external disturbances, and also generates equations for the tuning coefficients of the VSG.

© М.В. Бурмейстер, П.С. Борис, М.Д. Нестеров, Е.А. Маленкова, А.А. Хоркина, 2025

УДК 621.311.001.57

Эмпирическое определение частотного коэффициента виртуального синхронного генератора

М.В. Бурмейстер, П.С. Борис, М.Д. Нестеров,
Е.А. Маленкова, А.А. Хоркина

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «МЭИ»»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: виртуальный синхронный генератор; возобновляемые источники энергии; инверторы; система виртуальной инерции; скорость изменения частоты.

Аннотация. Целью данной статьи является эмпирическое определение настроечных коэффициентов контура регулирования выходной активной мощности виртуального синхронного генератора (ВСГ) на основе зависимости скорости изменения частоты в энергосистеме и фактической активной мощности ВСГ. Результаты анализа скорости изменения частоты свидетельствуют о наличии зависимости между кривыми выходной активной мощности ВСГ и значения коэффициента демпфирования, заданного в системе автоматического управления ВСГ. Рассмотрена линеаризованная модель силового преобразователя с системой управления на основе ВСГ. Проведен анализ демпфирующих свойств при возникновении возмущений во внешней энергосистеме. Определено влияние момента инерции ВСГ J на качество переходных процессов. Гипотеза: Использование значения скорости изменения частоты в энергосистеме позволяет определить величину настроечных коэффициентов контура регулирования выходной мощности виртуального синхронного генератора.

Ежегодно в Единой национальной энергетической системе (ЕНЭС) России наблюдается увеличение объемов установленной мощности возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1]. Традиционно, объекты ВИЭ в ЕНЭС подключаются к внешней энергосистеме с помощью инверторов – силовых преобразователей, работающих в режиме «ведомый» с электрической системой [2]. При подключенных фотоэлектрических установках (ФЭУ), ветряных турбинах и других объектах ВИЭ, доля которых в отдельной энергосистеме сопоставима с традиционной генерацией, как правило, актуален вопрос о регулировании частоты [3]. В основе системы автоматического управления (САУ) традиционного

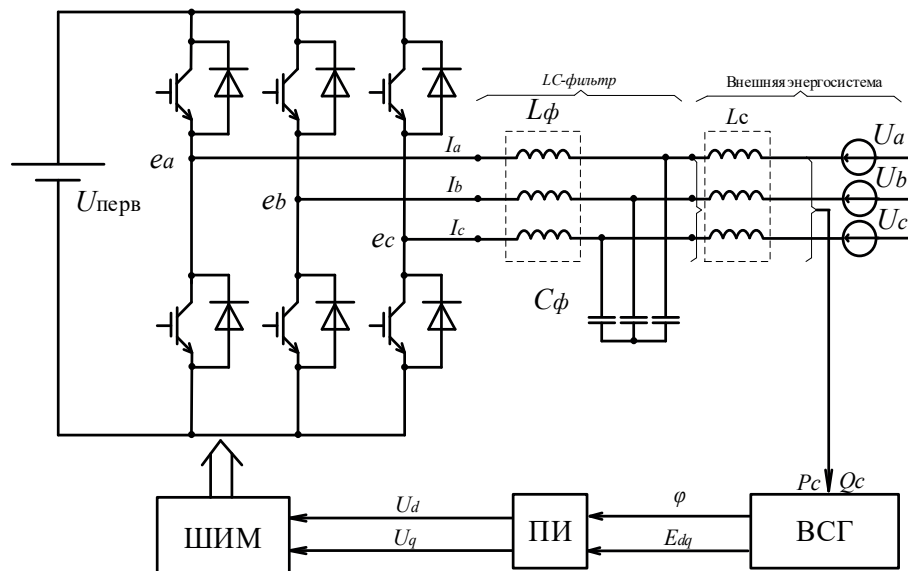


Рис. 1. Структурная схема силового инвертора, формирующего сеть

Примечание: $U_{перв}$ – напряжение силового преобразователя в звене постоянного тока, e_{abc} – ЭДС виртуального синхронного генератора, представленного в abc -координатах, L_ϕ и C_ϕ – параметры LC -фильтра, i_{abc} – фазные токи со стороны инвертора, Q_c и P_c – реактивная и активная мощность на выводах инвертора соответственно, U_d и U_q – ЭДС виртуального синхронного генератора, представленного в dq -координатах.

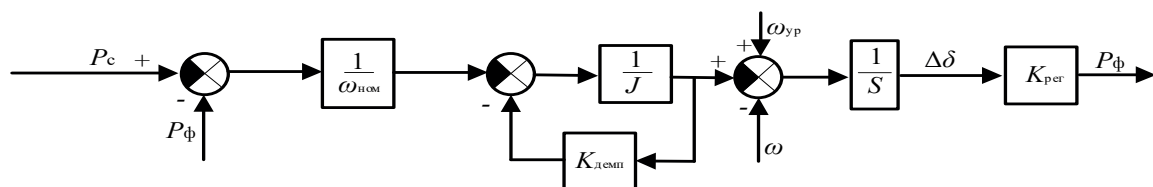


Рис. 2. Блок-схема управления частотой выходной активной мощности

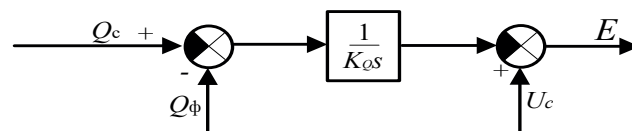


Рис. 3. Блок-схема управления напряжением выходной реактивной мощности

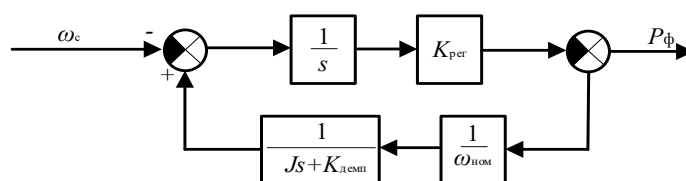


Рис. 4. Схема выдаваемой активной мощности при возмущениях в энергосистеме

инвертора не предусмотрен контур управления по частоте, что приводит к уменьшению эквивалентной инерции энергосистемы и, соответственно, большим колебаниям частоты при внешних возмущениях.

Использование системы виртуальной инерции (**СВИ**), имитирующей электромеханические и электромагнитные характеристики синхронных генераторов, обладающих вращательной инерцией, – один из путей разрешения данной проблемы [2]. В мировой практике существуют различные способы настройки и топологии СВИ, в рамках данного исследования рассматривается топология на основе виртуального синхронного генератора. В структуре САУ ВСГ используются контуры регулирования выходной активной мощности, зависящие от изменения частоты в энергосистеме, позволяющие силовым преобразователям работать подобно синхронному генератору при возмущениях в энергосистеме и воспроизводить динамический отклик.

На рисунке 1 приведена структурная схема подключения силового инвертора к энергосистеме. Данная схема САУ учитывает влияние контуров активной и реактивной мощностей. Выходная активная мощность изменяется при отклонениях частоты в энергосистеме, а реактивная – при изменении напряжения в точке присоединения преобразователя к сети [4]. Также в данной схеме замещения было сделано допущение о чисто индуктивном характере продольного сопротивления в электрической системе.

Схема включает в себя взаимосвязанные контуры управления частотой и напряжением для формирования фазового угла и реализации связи между выходной активной мощностью сетевого инвертора и частотой энергосистемы [3]. В соответствии с данной структурной схемой зависимость выходной активной мощности преобразователя от частоты в энергосистеме может быть записана как:

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{P_c - P_\phi}{\omega_H} - K_{демп}(\omega - \omega_{ном}), \quad (1)$$

где P_ϕ – фактическая выдаваемая активная мощность силового инвертора;
 $\omega_{ном}$ – номинальная частота в энергосистеме, – частота виртуального синхронного генератора.

Предположим, что в энергосистеме угол между векторами ЭДС ВСГ и напряжением в точке присоединения в сети мал при малых возмущениях ($\delta \approx 0$), тогда справедливо допущение:

$$\sin \delta \approx \delta. \quad (2)$$

В соответствии со структурной схемой, представленной на рис. 1, и допущением (2) фактическая выходная активная мощность инвертора может быть выражена:

$$P_{\phi} = \frac{E \cdot U_{сети}}{X} \sin \delta \approx \frac{E \cdot U_{сети}}{X} \delta \approx K_{рег} \delta, \quad (3)$$

где E – ЭДС ВСГ, – напряжение в точке подключения инвертора к сети;
 X – сопротивление связи с энергосистемой.

В соответствии с (1) и (3) блок-схема зависимости выходной активной мощности от частоты в энергосистеме может выглядеть так (см. рис. 2).

Контур управления реактивной мощностью используется для создания на выводах силового инвертора напряжения, равного напряжению в точке подключения к энергосистеме [5]. Фазовый угол и амплитуда напряжения достигаются равными напряжению в энергосистеме за счет интегрального звена отклонения реактивной мощности. Данная зависимость может быть выражена как:

$$E = \frac{1}{K_{QS}} (Q_c - Q_{\phi}) + U_c, \quad (4)$$

где K_Q – коэффициент регулирования реактивной мощности;

Q_{ϕ} – фактическая реактивная мощность инвертора;

U_c – напряжение в энергосистеме, равное номинальному.

В соответствии с (4) получим блок-схему управления выходной реактивной мощностью силового инвертора (см. рис. 3).

В соответствии с (1), контур управления выходной активной мощностью инвертора, формирующего сеть, моделирует поведение синхронного генератора в соответствии с уравнением движения ротора, что позволяет участвовать силовым преобразователям в демпфировании колебаний в энергосистеме. Иными словами, САУ на основе уравнений (1) и (4) увеличивает эквивалентную инерцию энергосистемы. Для синхронного генератора кинетическая энергия $E_{кин}$ ротора, вращающегося с номинальной скоростью $\omega_{ур}$, в нормальном режиме равна [6]:

$$E_{кин} = \frac{1}{2} J \omega_{ном}^2. \quad (5)$$

Из формулы (5) следует, что при изменении скорости вращения квадратично меняется кинетическая энергия ротора. Следовательно, изменяя скорость вращения ротора, возможно управлять выходной электромагнитной мощностью. При бесконечно малом времени ($t \rightarrow 0$) изменение кинетической энергии ротора можно выразить (6):

$$\Delta E_{кин} = \frac{1}{2} J (\omega(t) - \omega_{ном})^2. \quad (6)$$

Уравнение (6) представляет собой выражение выдаваемой или поглощаемой электромагнитной мощности при изменении частоты в энергосистеме, которую должен имитировать инвертор на основе топологии ВСГ. В нормальном режиме. Следовательно, зависимость для выходной активной мощности силового инвертора с учетом (6) имеет вид (7):

$$P_{ВСГ} = \frac{dE_{кин}}{dt} = - J \omega \frac{d\omega_{ном}}{dt} = - 4\pi^2 f \frac{df_{ном}}{dt}. \quad (7)$$

Из (7) следует, что в случае изменения частоты в энергосистеме изменение активной мощности на выводах сетевого инвертора будет оказывать поддерживающий эффект на изменение частоты в энергосистеме. Для того чтобы проанализировать изменение активной мощности сетевого инвертора при изменении частоты с учетом полученных выраже-

$$P_{\phi(J=0)}(s) = \frac{K_{рег}}{K_{демп} \cdot \omega_{ном} s} \cdot P_c(s) - \frac{K_{демп} \cdot \omega_{ном} s}{K_{демп} \cdot \omega_{ном} s + K_{рег}} \Delta\omega_c.$$

ний САУ, используем блок-схему, связывающую частоту в энергосистеме с выходной активной мощностью силового преобразователя (рис. 4):

Если в инверторе используется только контур демпфирования колебаний ($J = 0$), то уравнение выходной активной мощности с преобразованием Лапласа выглядит как: (8)

Формулу (8) можно записать как зависимость частоты во внешней системе от выходной мощности инвертора во временной области (9):

$$P_{\phi(J=0)}(t) = -\Delta\omega_c(t) \cdot K_{рег} e^{\frac{K_{рег}}{K_{демп} \cdot \omega_{ном}} t}. \quad (9)$$

Согласно (9) выходная активная мощность инвертора выражена в форме постепенного затухания в процессе изменения сети внешней энергосистемы. В первый момент начала возмущения активная мощность изменяется в наибольшей степени, однако с увеличением времени протекания колебательного процесса изменение мощности постепенно уменьшается. Из (9) следует, что управление без инерционных каналов силового преобразователя обеспечивает определенную виртуальную инерцию при изменении частоты в энергосистеме, что указывает на то, что коэффициент демпфирования также играет роль в поддержании частоты.

В ходе работы предложен простой и эффективный метод оценки инерции сетевых инверторов, формирующих сеть, на основе анализа изменения частоты в энергосистеме. Проанализировано влияние виртуальной инерции и коэффициента демпфирования колебаний на выходную активную мощность инвертора. Выражена экспоненциальная зависимость настроечных коэффициентов, определяющих влияние на устойчивость работы инвертора. Получены уравнения в виде функции первого порядка, из которых можно определить значения настроечных коэффициентов для системы виртуальной инерции виртуального синхронного генератора.

Литература

1. Российская ассоциация ветроиндустрии (РАВИ). Годовой отчет АРВЭ за 2024 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rreda.ru/activity/activity-reports/godovoy-otchet-arve-za-2024-god>.
2. Бурмейстер, М.В. Системы виртуальной инерции: новый подход к интеграции ВИЭ в электроэнергетические системы / М.В. Бурмейстер, И.И. Бердышев, Р.В. Булатов, Р.Р. Насыров // Электроэнергия. Передача и Распределение. – 2023. – № 6(81). – С. 20–27.
3. Веренцев, Л.А. Исследование влияния настроечных коэффициентов контура регулирования выходной активной мощности виртуального синхронного генератора на качество переходных процессов / Л.А. Веренцев, М.В. Бурмейстер, Д.В. Стаценко, А.А. Хоркина // Перспективы науки. – 2024. – № 10(181). – С. 45–49.
4. Hou, X. Improvement of frequency regulation in VSG-based AC microgrid via adaptive virtual inertia. / X. Hou, Y. Sun, X. Zhang et al. // IEEE Trans. Power Electron. – 2020. – № 35 (2). – С. 1589–1602.

5. Shen, C.B. Transient stability and current injection design of paralleled current-controlled VSCs and virtual synchronous generators / C. Shen // IEEE Trans. Energy Convers. – 2004. – Vol. 19(4). – P. 800–802.
6. Jenkins, N.B. Comparison of the response of doubly fed and fixed-speed induction generator wind turbines to changes in network frequency / N.B. Jenkins // IEEE Trans. Smart Grid. – 2021. – № 12(2). – P. 1118–1134.

References

1. Rossiiskaia assotciatsiia vetroindustrii (RAVI). Godovoi otchet ARVE za 2024 g. [Electronic resource]. – Access mode : <https://rreda.ru/activity/activity-reports/godovoy-otchet-arve-za-2024-god>.
2. Burmeister, M.V. Sistemy virtualnoi inertcii: novyi podkhod k integratsii VIE v elektroenergeticheskie sistemy / M.V. Burmeister, I.I. Berdyshev, R.V. Bulatov, R.R. Nasyrov // Elektroenergiia. Peredacha i Raspredelenie. – 2023. – № 6(81). – S. 20–27.
3. Verentcev, L.A. Issledovanie vliianiia nastroechnykh koeffitsientov kontura regulirovaniia vykhodnoi aktivnoi moshchnosti virtualnogo sinkhronnogo generatora na kachestvo perekhodnykh protsessov / L.A. Verentcov, M.V. Burmeister, D.V. Statcenko, A.A. Khorkina // Perspektivy nauki. – 2024. – № 10(181). – S. 45–49.

Empirical Determination of the Frequency Coefficient of Virtual Synchronous Generator

M.V. Burmeister, P.S. Boris, M.D. Nesterov, E.A. Malenkova, A.A. Khorkina

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute",
Moscow (Russia)*

Key words and phrases: renewable energy sources; inverters; RoCoF; virtual inertia system; virtual synchronous generator.

Abstract. The objective of this paper is to empirically determine the tuning coefficients of the output active power control loop of a virtual synchronous generator (**VSG**) based on the dependence of the frequency change rate in the power system and the actual active power of the VSG. The results of the frequency change rate analysis indicate the existence of a dependence between the VSG output active power curve and the damping coefficient value specified in the VSG automatic control system. A linearized model of a power converter with a VSG-based control system is considered. An analysis of the damping properties is carried out when disturbances occur in the external power system. The influence of the VSG moment of inertia J on the quality of transient processes is determined. Hypothesis: Using the value of the frequency change rate in the power system allows you to determine the value of the tuning coefficients of the output power control circuit of a virtual synchronous generator.

© M.V. Бурмейстер, П.С. Борис, М.Д. Нестеров, Е.А. Маленкова, А.А. Хоркина, 2025

УДК 37

Исследование истории и нынешней обстановки обучения китайских студентов в России

Ли Синь¹, Цзян Ин¹, Силун²

¹Хэйхэский университет,
г. Хэйхэ (Китай);

²ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»,
г. Благовещенск (Россия)

Ключевые слова и фразы: Россия; обучение за рубежом; история; нынешняя обстановка.

Аннотация. В настоящей статье описывается более чем столетняя история обучения китайских студентов в России, проводится анализ обстановки обучения, выделены благоприятные и неблагоприятные факторы обучения, предлагаются перспективы дальнейших поездок китайских студентов в Россию на учебу. В итоге делается вывод о том, что Россия является идеальным государством для иностранной учебы китайских студентов, в то же время обращено внимание на то, что студенты должны выбирать учебное заведение в соответствии с собственными потребностями. Цель настоящего исследования заключается в освещении того факта, что Россия занимает важнейшее положение в мире по масштабу, уровню и качеству высших учебных заведений, что побуждает Китай к увеличению числа отправок студентов на учебу и стимулирует российско-китайское торгово-экономическое и культурное сотрудничество.

Российские вузы обладают богатыми образовательными ресурсами, их требования к иностранным студентам не высокие, плата за обучение, по сравнению с западными странами, низкая, но при этом уровень многих учебных заведений очень высок; лидирующее положение в мире занимают области фундаментальных научных исследований, культура и искусство. Описанные преимущества достаточно привлекательны для китайских студентов, желающих уехать за границу и совершенствоваться в чем-либо. Китайский посол в России Чжан Ханьхуэй 28 января 2025 г. вечером на церемонии открытия мероприятия в честь китайского Нового года в центре Москвы заявил, что в настоящее время в российских учебных заведениях обучается более 60 тыс. китайских студентов.

1. История поездок китайских студентов в Россию на учебу

В 1920-е годы в поисках истины спасения страны и народа в Россию, на родину Октябрьской революции, приехало большое количество прогрессивной и честлюбивой молодежи. Первыми в Китае, кто организовал и инициировал отправку прогрессивной молодежи на учебу в Советскую Россию, были Ян Минчжай, Мао Цзэдун и Ли Дачжао. В сентябре 1920 г. Мао Цзэдун вместе с просветительскими кружками провинции Хунань выступил с инициативой создания сообщества по исследованию России, организовав молодежные поездки в Советскую Россию на обучение и ознакомление. Первая партия студентов отправилась в конце 1920 г., среди них были Лю Шаоци, Жэнь Биши, Пэн Шучжи, Ло Инун, Ляо Хуапин и др. В то время прогрессивная китайская молодежь, поехавшая учиться в Советскую Россию, в основном обучалась в московском Коммунистическом университете трудящихся Востока. Предлагаемые в то время курсы в основном включали: историю Коммунистической партии Советского Союза, философию, политическую экономию, мировое рабочее движение и т.д.

В октябре 1925 г. в память о господине Сунь Ятсене националистическое правительство учредило Университет имени Сунь Ятсена в Москве и создало комиссию для отбора студентов на обучение в Университете Сунь Ятсена. В 1940-е годы, в особых исторических условиях, Коммунистическая партия Китая отправила на учебу в Москву, тогдашнюю красную столицу, группу сирот-мучеников и детей партийных руководителей. Коммунистический университет трудящихся Востока и Университет имени Сунь Ятсена в Советском Союзе были основными лагерями для их идеологической подготовки, а крупные военные академии в Советском Союзе стали главными базами для обучения их боевым искусствам. Пройдя через трудности, самые выдающиеся среди них в конце концов превратились в профессиональных революционеров, преобразовавших китайское общество, и лидеров пролетарского революционного дела.

После образования Китайской Народной Республики Китай массово отправлял иностранных студентов в Советский Союз и социалистические страны Восточной Европы для изучения передовой науки, культуры и опыта управления. Центральное правительство создало международную студенческую лидерскую группу, в состав которой вошли Не Жунчжэнь, Ли Фучунь и Лу Динъи. Количество и специальности, выбираемые каждый год, лично утверждались премьер-министром Чжоу. С 1984 года ведомства образования двух стран начали проводить обмены студентами, изначально было только 5 пар высших учебных заведений (Пекинский университет – Московский университет, Университет Цинхуа – Ленинградский технологический институт, Пекинский институт иностранных языков – Институт русского языка имени А.С. Пушкина, Хэйлунцзянский университет – Иркутский университет, Синьцзянский университет – Казахский университет), позже некоторые другие университеты постепенно установили межвузовские отношения для обмена кадрами, сотрудничества в области преподавания и научных исследований.

В 1986 году после одобрения Госсовета в рамках объединенной Советско-Китайской комиссии по экономическому, торговому и научно-техническому сотрудничеству была создана рабочая группа по сотрудничеству Китая и Советского Союза в области образования, возглавляемая заместителями министров компетентных органов в сфере образования обеих сторон. В плане советско-китайского сотрудничества в сфере образования на 1988–1990 гг. предусматривалось, что, помимо обмена 150 иностранными студентами каждый год, Советский Союз в одностороннем порядке примет 550 китайских иностранных студентов (1988 г. – 150 студентов, 1989 г. и 1990 г. – по 200 студентов). В 1991 году государства

подписали Соглашение о взаимном признании дипломов об образовании и ученых степеней [1].

2. *Нынешняя обстановка обучения китайских студентов в России*

2.1 *Постепенное увеличение количества студентов*

В условиях экономической глобализации процесс интернационализации высших учебных заведений уже не остановить. Китай и Россия являются крупнейшими дружественными соседями, двустороннее сотрудничество в разных направлениях продолжает углубляться, соответственно, все больше и больше китайских студентов выбирают именно Россию для иностранной учебы. В 1991 году в России обучалось 1300 китайских студентов, в 2001 г. – 6900, в 2011 г. – 16 600, а в 2025 г. их количество уже превышает 60 000 [2].

2.2 *Разнообразие выбора квалификации и места обучения*

Китайские студенты могут выбрать следующие квалификации во время обучения в России: студент подготовительных курсов, бакалавр, специалист (5 лет обучения), магистр, аспирант, студент по программе повышения квалификации, интерн, врач-интерн и др. В настоящее время весьма расширилась география обучения китайских студентов; выбор студентов постепенно расширяется от Центрального федерального округа (в основном это Москва) и Северо-Западного федерального округа (в основном это Санкт-Петербург) в сторону Дальнего Востока и Сибири.

3. *Анализ мотивов поездки китайских студентов в Россию на учебу*

3.1 *Специфическое очарование российских высших учебных заведений*

Российское высшее образование славится во всем мире своей длительной историей, глубоким научным содержанием и уникальной моделью обучения. Университеты России занимают передовые позиции в мире по математике, физике, химии, литературе, искусству и другим направлениям; их научные достижения и качество образования получили признание всего международного сообщества. Россия без сомнений является идеальным выбором для китайских студентов, желающих получить качественное высшее образование.

3.2 *Своеобразие и перспективность организации специальностей*

Россия отличается уникальным преимуществом в области некоторых специальностей, среди которых авиация и космонавтика, ядерная технология, медицина, искусство и некоторые другие. Эти специальности не только демонстрируют самый высокий уровень науки и техники России, но и привлекают огромное количество китайских студентов, интересующихся этими областями. Обучившись в России, студенты могут соприкоснуться с самыми передовыми научными достижениями и прикладными технологиями, ознакомиться с нынешним состоянием международной науки, заручиться поддержкой для будущих научных исследований или профессионального развития.

3.3 *Глубокий опыт в области языка и культуры*

Российская литература, музыка и живопись занимают важное место в истории мировой культуры. Для китайских студентов, интересующихся российской культурой, обучение в России не только представляет научную значимость, но и является возможностью для более глубокого проникновения в российскую культуру и восприятия ее. Они могут на российской земле ощутить на себе очарование ее культуры, понять образ жизни и способ мышления русского народа, тем самым усилить понимание и признание России.

4. Проблемы обучения китайских студентов в России

4.1 Разное качество квалификации студентов (как ресурсов)

Государство рассматривает количество иностранных студентов в качестве важного показателя интернационализации образования и международной межвузовской конкуренции; для привлечения как можно большего количества студентов Министерство образования и науки России требует от университетов наличия определенной доли иностранных студентов, поэтому требования к поступлению на обучение в России стали относительно низкими. Многим студентам для поступления достаточно лишь сдать отборочный экзамен, организованный университетом. Соответственно, качество студентов (как ресурсов), обучающихся в России, оказывается неравномерным: студенты с недостаточной базой, плохой способностью к обучению или слабой самодисциплиной испытывают трудности с успеваемостью за рубежом или теряют интерес к обучению из-за ряда проблем, таких как отсутствие контроля и управления, что приводит к тому, что конечный эффект обучения не соответствует ожиданиям и влияет на качество подготовки.

4.2 Слабая языковая база иностранных студентов

Студенты, отправляющиеся в Россию на обучение, должны обладать определенной базой в освоении русского языка, однако в настоящее время многие из них перед поездкой на обучение не набирают должный языковой опыт, соответственно, языковая база их сравнительно слаба, что приводит к сложной адаптации при получении профессиональных знаний из-за языкового барьера, и даже вызывает трудности в бытовом, повседневном общении на иностранном языке. В итоге получается, что студент всего лишь сменил локацию для выучивания новых слов, грамматики и устной речи. Если же речь идет не о специальности «Русский язык», тогда требования к уровню русского языка еще выше: кроме лексики для бытового общения, студент должен владеть специализированной лексикой, а также правильно сочетать изучение русского языка и получение профессиональных знаний. На начальном этапе некоторые студенты могут отставать и потерять интерес к обучению ввиду сложности первых шагов изучения русского языка; также бывают ситуации, когда студент тратит очень много сил на изучение языка и игнорирует профессиональные знания; или даже существуют такие случаи, что студенты в итоге и русским языком не овладевают, да и профессиональные знания поверхностны [3].

4.3 Неполюценная система подготовки в высших учебных заведениях

Российские вузы отличаются определенными преимуществами для подготовки китайских иностранных студентов в части методов обучения и эффективности обучения, однако последние в России неизбежно сталкиваются с новой учебной обстановкой и системой учебных программ. Данная ситуация, с одной стороны, требует от студентов как можно быстрой адаптации и освоения в новом ритме учебной программы; с другой стороны, вузы обязаны выполнять работу по координации взаимосвязи учебных дисциплин. В процессе обучения за рубежом существует ситуация невозможности разумной стыковки отечественной и зарубежной учебных программ: например, студенты в своей стране изучают базовую грамматику и новые слова для подготовки обучения за рубежом, а по приезде сталкиваются с тем, что некоторые университеты также организуют курсы по базовой подготовке, в результате чего происходит дублирование отечественной программы. Также бывает такая ситуация, что в своей стране студенты получают только базовые профессиональные знания, а по приезде испытывают весьма значительные затруднения ввиду отсутствия некоторого перехода в организации подачи знаний, что вызывает сложности в освоении предлагаемой программы. Это не способствует достижению ожидаемых це-

лей обучения иностранных студентов и плавному прогрессу и долгосрочному развитию сотрудничества между китайскими и российскими университетами.

Основным направлением международного образования является интернационализация высшего образования. Процесс этот неудержим. Китай и Россия являются крупнейшими дружественными соседями. Двустороннее сотрудничество России и Китая в различных областях постоянно укрепляется и углубляется. Общее количество студентов, обучающихся за границей в двух странах, будет продолжать расти. Совместными усилиями китайских и российских университетов можно эффективно разрешить трудности, с которыми сталкиваются китайские студенты, обучающиеся в России, и всесторонне повысить качество обучения иностранных студентов.

Научно-исследовательский проект фонда фундаментальных научных исследований высших учебных заведений департамента образования провинции Хэйлунцзян, № проекта: 2023-KYYWF-1127.

Литература

1. Чжан, Яньхуэй. Обзор реформы высшего образования в России / Яньхуэй Чжан // Педагогические науки. – 2004. – № 3.
2. Хуан, Кэсянь. Россия надеется привлечь больше иностранных студентов / Кэсянь Хуан // Всемирные данные образования. – 2014. – № 3.
3. Ван, Шуцин. Некоторые предложения по эффективной работе с иностранными студентами в новой ситуации / Шуцин Ван // Журнал Муданьцзянского педагогического университета. – 2005. – № 6.

References

1. Chzhan, Iankhuei. Obzor reformy vysshego obrazovaniia v Rossii / Iankhuei Chzhan // Pedagogicheskie nauki. – 2004. – № 3.
2. Khuan, Kesian. Rossiia nadeetsia privlech bolshe inostrannykh studentov / Kesian Khuan // Vsemirnye dannye obrazovaniia. – 2014. – № 3.
3. Van, Shutcin. Nekotorye predlozheniia po effektivnoi rabote s inostrannymi studentami v novoi situacii / Shutcin Van // Zhurnal Mudantczianskogo pedagogicheskogo universiteta. – 2005. – № 6.

Research on the History and Current Situation of Chinese Students Studying Abroad in Russia

Li Xin¹, Jiang Ying¹, Xilong²

¹*Heihe University,
Heihe (China);*

²*Amur State University,
Blagoveshchensk (Russia)*

Key words and phrases: Russia; studying abroad; history; current situation.

Abstract. The article introduces the history of Chinese students studying in Russia for over 100 years, analyzes the learning environment, highlights the advantages and disadvantages of learning, and proposes the prospects for Chinese students studying in Russia in the future. The conclusion is that Russia is an ideal country for Chinese students studying abroad, while emphasizing that students should choose schools based on their own characteristics. The purpose of this study is to highlight the fact that Russia holds the most important position in the world in terms of the size, level, and quality of higher education institutions, which encourages China to increase the attendance rate of international students and promote economic, trade, and cultural cooperation between Russia and China.

© Ли Синь, Цзян Ин, Силун, 2025

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

**ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет
имени Иммануила Канта»**

г. Калининград, Россия, 5–7 мая 2025 года

**Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference
SCIENCE. SOCIETY. BUSINESS**

**Immanuel Kant Baltic Federal University
Kaliningrad, Russia, May 5–7, 2025**

Организационный комитет:
Organizing Committee:

Воронкова О.В. (Россия)
Voronkova O.V. (Russia)
Тютюнник В.М. (Россия)
Tyutyunnik V.M. (Russia)
Бикезина Т.В. (Россия)
Bikezina T.V. (Russia)
Ризокулов Т.Р. (Таджикистан)
Rizokulov T.R. (Tajikistan)
Ялунер Е.В. (Россия)
Yaluner E.V. (Russia)
Серых А.Б. (Россия)
Serykh A.B. (Russia)
Авакьян М.В. (Россия)
Avakyan M.V. (Russia)
Санджай Ядав (Индия)
Sanjay Yadav (India)
Малинина Т.Б. (Россия)
Malinina T.B. (Russia)
Беднаржевский С.С. (Россия)
Bednarzhevsky S.S. (Russia)
Надточий И.О. (Россия)
Nadtochy I.O. (Russia)
Харуби Науфел (Тунис)
Kharroubi Naoufel (Tunisia)
Чамсутдинов Н.У. (Дагестан)
Chamsutdinov N.U. (Dagestan)
У Сунцзе (Китай)
Wu Songjie (China)
Аманбаев М.Н. (Казахстан)
Amanbayev M.N. (Kazakhstan)
Ду Кунь (Китай)
Du Kun (China)

Разделы конференции:

Conference Topics:

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

TECHNICAL SCIENCES

- **Технология и организация строительства**
- Technology and Management of Construction

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

ECONOMIC SCIENCES

- **Математические, статистические и инструментальные методы экономики**
- Mathematical, Statistical and Instrumental Methods of Economics
- **Менеджмент**
- Management

**Учредитель
МОО «Фонд развития
науки и культуры»**

УДК 624.138

Технологические инновации в строительстве подводных конструкций

Д.Д. Волошенко¹, О.М. Преснов²

¹ Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»;
² ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
г. Красноярск (Россия)

Ключевые слова и фразы: гидротехнические сооружения; инженерия; инновационные технологии; конструкции; подводное строительство; строительные материалы; технологические процессы.

Аннотация. В статье рассматриваются технологические инновации в строительстве подводных конструкций, направленные на повышение эффективности, безопасности и устойчивости данных объектов. Целью исследования является анализ современных технологий и материалов, применяемых в подводном строительстве, а также оценка их влияния на качество и долговечность конструкций. Задачи исследования включают: обзор существующих технологий и материалов, используемых в строительстве подводных конструкций; анализ преимуществ и недостатков новых решений, таких как композиты, высокопрочные стали и роботизированные системы; оценку влияния инновационных методов проектирования на процесс строительства; исследование экологических аспектов применения новых технологий. Гипотеза исследования заключается в том, что внедрение современных технологий и материалов в строительство подводных конструкций значительно улучшает их эксплуатационные характеристики и снижает риски, связанные с человеческим фактором и экологией. Методы исследования включают литературный обзор современных достижений в области подводного строительства, сравнительный анализ традиционных и инновационных технологий, экологическую оценку воздействия новых материалов и методов на морскую среду. Достигнутые результаты демонстрируют, что применение инновационных технологий в строительстве подводных конструкций приводит к значительному улучшению их прочности и долговечности, снижению за-

трат на строительство и обслуживание, а также минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

В современном мире технологические инновации в строительстве подводных конструкций становятся все более актуальными, что связано с ростом интереса к освоению морских и океанских ресурсов, а также с необходимостью защиты прибрежных территорий от воздействия природных катастроф и изменения климата. Подводные конструкции, включая платформы для добычи углеводородов, морские ветровые электростанции, подводные трубопроводы и мосты, требуют применения передовых технологий и методов, которые обеспечивают их надежность, долговечность и безопасность в условиях сложной подводной среды. Важными аспектами являются необходимость интеграции новых материалов, таких как композиты и высокопрочные стали, а также использование современных методов проектирования и строительства, включая автоматизацию процессов и применение робототехники [7]. Данные современные инновации не только способствуют повышению эффективности строительных работ, но и минимизируют воздействие на экосистему водоемов. Также с развитием цифровых технологий, таких как моделирование информации о здании и системы мониторинга состояния конструкций, значительно улучшается процесс управления жизненным циклом подводных объектов. Исследование технологических инноваций в строительстве подводных конструкций представляет собой особо важную отрасль научного исследования, способствующую развитию устойчивых решений для эффективного использования ресурсов океанов и морей, а также защите окружающей среды в целом.

Технологические инновации в строительстве подводных конструкций играют ключевую роль в обеспечении надежности и безопасности сооружений, находящихся в сложных условиях морской среды. Инновации такого рода охватывают широкий спектр конкретных технологий, материалов и методов, которые направлены на оптимизацию проектирования, строительства и эксплуатации подводных объектов. Основной технологической инновацией в строительстве подводных конструкций являются новые строительные материалы, в частности композиты и высокопрочные стали. Современные подводные конструкции требуют использования материалов, обладающих высокой прочностью, коррозионной стойкостью и долговечностью [1]. Композитные материалы, такие как углеродные или стеклопластиковые волокна, обладают легкостью и высокой прочностью на сжатие и растяжение. В том числе они менее подвержены коррозии, что делает их идеальными для использования в морских условиях. Высокопрочные стали, в виде стали с добавлением легирующих элементов, обеспечивают необходимую прочность при меньшем весе, что важно для уменьшения нагрузки на подводные конструкции. Еще одной технологической инновацией в строительстве подводных конструкций являются инновационные методы проектирования, такие как моделирование информации о здании (**BIM**); данная технология позволяет создавать трехмерные модели подводных конструкций, что способствует более точному планированию и визуализации проекта. С помощью моделирования информации о здании можно учесть все аспекты жизненного цикла конструкции – от проектирования до эксплуатации и демонтажа, что позволяет выявлять потенциальные проблемы на ранних этапах и оптимизировать ресурсы [3]. Также и гидродинамическое моделирование, предназначенное для проектирования подводных объектов, где необходимо учитывать влияние водной среды; оно позволяет анализировать поведение конструкции в различных условиях течений, волн и давления, что помогает инженерам разрабатывать более устойчивые конструкции, способные выдерживать экстремальные условия.

Практической инновацией являются и строительные технологии для возведения подводных конструкций (в виде роботизированных систем) и автоматизации процессов. В последние годы данные технологии активно развиваются, роботизированные технологии для строительства подводных объектов приобретают особую популярность. Так, подводные роботы могут выполнять сварочные работы, монтаж и инспекцию конструкций в труднодоступных местах, что не только повышает безопасность работ, но и снижает затраты на рабочую силу. Также применяются и технологии 3D-печати для создания подводных конструкций, с помощью которой можно быстро производить элементы конструкции прямо на месте установки, что сокращает время и затраты на транспортировку [2].

Технологические инновации в строительстве подводных конструкций представлены внедрением систем мониторинга состояния данных конструкций для обеспечения безопасности подводных объектов, и необходимо постоянно отслеживать их состояние. Современные системы мониторинга используют датчики для сбора данных о нагрузках, деформациях и коррозии; полученные данные передаются в реальном времени на наземные станции для анализа, что позволяет оперативно реагировать на изменения и предотвращать аварийные ситуации. Возможна и интеграция интернета вещей в подводное строительство, что позволяет создать сеть датчиков, которые собирают информацию о состоянии конструкции и окружающей среды. Данная информация может использоваться для прогнозирования возможных проблем и оптимизации процессов эксплуатации.

Необходимо учитывать и климатические изменения в окружающей среде, поэтому технологические инновации в строительстве подводных конструкций в контексте внедрения адаптивного проектирования набирают популярность в современных реалиях [8]. Адаптивное проектирование учитывает изменения климата и рост уровня моря; современные технологии проектирования включают адаптивные решения, которые позволяют конструкциям изменять свои характеристики в ответ на окружающую среду, что дает возможность включать использование специальных свай или фундаменты, которые могут изменять свою форму или положение в зависимости от условий.

Технологические инновации в строительстве подводных конструкций открывают множество возможностей, и одной из ключевых является использование новых строительных материалов, таких как композиты и высокопрочные стали, которые обеспечивают долговечность и устойчивость к коррозии, что особенно важно в агрессивной морской среде [5]. Материалы такого рода позволяют создавать легкие и прочные конструкции, способные выдерживать высокие нагрузки и экстремальные условия. Кроме того, применение технологий моделирования информации о здании позволяет значительно улучшить процесс проектирования, обеспечивая более точное планирование и визуализацию проектов, что помогает выявлять потенциальные проблемы на ранних этапах и оптимизировать ресурсы. Также ключевой возможностью является использование роботизированных систем и автоматизации в строительстве. Применение подводных роботов, которые могут выполнять сложные задачи, такие как сварка и инспекция, в труднодоступных местах, повысит безопасность работ и снизит затраты на рабочую силу. Технология 3D-печати также начинает находить применение в этой области, позволяя производить элементы конструкций прямо на месте установки, что сокращает время и затраты на транспортировку.

Однако вместе с рядом ключевых возможностей возникают и определенные риски, основным из которых является высокая стоимость внедрения новых технологий. Инвестиции в современные материалы, оборудование и обучение персонала могут быть значительными, что может стать барьером для некоторых компаний. Кроме того, использование новых технологий требует тщательного контроля и тестирования, так как недостаточно

проверенные решения могут привести к авариям или серьезным повреждениям конструкций [6]. Также существует риск технологической зависимости. В случае поломки или сбоя роботизированных систем или датчиков мониторинга может возникнуть ситуация, когда восстановление работоспособности займет много времени и ресурсов, что может привести к задержкам в проектах и увеличению затрат. Необходимо учитывать и экологические риски, связанные с воздействием на морскую экосистему при строительстве подводных объектов: неправильное использование технологий может негативно сказаться на окружающей среде, что приведет к долгосрочным последствиям.

Современные технологические инновации в строительстве подводных конструкций представляют собой важный шаг к повышению эффективности, безопасности и устойчивости данной сферы. Новые материалы, такие как композиты и высокопрочные стали, а также передовые методы проектирования, включая технологии моделирования информации о здании, значительно улучшают процесс проектирования и строительства, позволяя создавать более надежные и долговечные конструкции. Использование роботизированных систем и автоматизации не только снижает затраты на рабочую силу, но и минимизирует риски, связанные с человеческим фактором. Однако, несмотря на все преимущества, внедрение данных технологий сопряжено с определенными вызовами, такими как высокая стоимость, необходимость в тщательном контроле и тестировании, а также потенциальные экологические риски [4]. Поэтому для успешной реализации инновационных решений в строительстве подводных конструкций необходимо проводить комплексные исследования и разработки, направленные на оптимизацию процессов и минимизацию негативных последствий. В конечном итоге сбалансированный подход к внедрению технологий позволит не только улучшить качество и безопасность подводных конструкций, но и обеспечить их гармоничное сосуществование с окружающей средой.

Литература

1. Елхов, В.В. Технологический проект строительства подводного перехода трубопровода / В.В. Елхов // Инновации. Наука. Образование. – 2020. – № 22. – С. 74–77.
2. Зарипова, А.В. Особенности внедрения технологических инноваций в сферу строительства / А.В. Зарипова, Ф.К. Ахмедзянова, Е.Ю. Ивинская // Горизонты экономики. – 2023. – № 3(76). – С. 37–42.
3. Капаев, Р.А. Влияние конструкции и компоновки бурового инструмента на процесс строительства подводных переходов методом наклонно-направленного бурения / Р.А. Капаев, З.З. Шарафутдинов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2019. – Т. 9. – № 5. – С. 522–529.
4. Емельянов, А.В. Особенности конструкции, изготовления и устранения повреждений обетонированных труб, поставляемых для строительства подводных переходов в условиях Арктической зоны Российской Федерации / А.В. Емельянов, Г.В. Нестеров, М.А. Ткачук [и др.] // Гидротехническое строительство. – 2025. – № 2. – С. 7–14.
5. Патент № 2076182 С1 Российская Федерация. МПК E04C 1/40, B63B 35/00. Строительный упрочненный блок для строительства подводных сооружений и способ строительства подводных сооружений из строительных упрочненных блоков: № 93011576/03 : заявл. 04.03.1993 : опубл. 27.03.1997 / Б.Я. Фельдман, М.Б. Фельдман.
6. Патент № 2769309 С1 Российская Федерация. МПК E02D 25/00, E02D 15/00. Способ строительства подводной блочной бетонной конструкции: № 2021121201 : заявл. 19.02.2020 : опубл. 30.03.2022 / С.Г. Ким ; заявитель ЮДЖУ КО., ЛТД.

7. Пердебай, А.С. Строительство под водой / А.С. Пердебай // Студенческий научный форум 2024 : сборник статей X Международной научно-практической конференции : в 2 ч. (Пенза, 17 января 2024 г.). – Пенза : Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 53–56.

8. Перфилов, В.А. Проектирование и строительство морских нефтегазовых сооружений : учебник : в 2 ч. / В.А. Перфилов, В.В. Габова, И.А. Томарева, У.В. Канавец ; Волгоградский государственный технический университет. Ч. 1. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2017. – 226 с.

References

1. Elkhov, V.V. Tekhnologicheskii proekt stroitelstva podvodnogo perekhoda truboprovoda / V.V. Elkhov // Innovatcii. Nauka. Obrazovanie. – 2020. – № 22. – S. 74–77.

2. Zaripova, A.V. Osobennosti vnedreniia tekhnologicheskikh innovatsii v sferu stroitelstva / A.V. Zaripova, F.K. Akhmedzianova, E.Iu. Ivinskaia // Gorizonty ekonomiki. – 2023. – № 3(76). – S. 37–42.

3. Kapaev, R.A. Vlianie konstrukticii i komponovki burovogo instrumenta na protsess stroitelstva podvodnykh perekhodov metodom naklonno-napravlennoho bureniia / R.A. Kapaev, Z.Z. Sharafutdinov // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefii i nefteproduktov. – 2019. – Т. 9. – № 5. – S. 522–529.

4. Emelianov, A.V. Osobennosti konstrukticii, izgotovleniia i ustraneniia povrezhdenii obetonirovannykh trub, postavliaemykh dlia stroitelstva podvodnykh perekhodov v usloviakh Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii / A.V. Emelianov, G.V. Nesterov, M.A. Tkachuk [i dr.] // Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo. – 2025. – № 2. – S. 7–14.

5. Patent № 2076182 C1 Rossiiskaia Federatsiia. MPK E04C 1/40, B63B 35/00. Stroitelnyi uprochnennyi blok dlia stroitelstva podvodnykh sooruzhenii i sposob stroitelstva podvodnykh sooruzhenii iz stroitelnykh uprochnennykh blokov: № 93011576/03 : zaiavl. 04.03.1993 : opubl. 27.03.1997 / B.Ia. Feldman, M.B. Feldman.

6. Patent № 2769309 C1 Rossiiskaia Federatsiia. MPK E02D 25/00, E02D 15/00. Sposob stroitelstva podvodnoi blochnoi betonnoi konstrukticii: № 2021121201 : zaiavl. 19.02.2020 : opubl. 30.03.2022 / S.G. Kim ; zaiavitel luDZhU KO., LTD.

7. Perdebai, A.S. Stroitelstvo pod vodoi / A.S. Perdebai // Studencheskii nauchnyi forum 2024 : sbornik statei X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii : v 2 ch. (Penza, 17 ianvaria 2024 g.). – Penza : Nauka i Prosveshchenie (IP Guliaev G.Iu.), 2024. – S. 53–56.

8. Perfilov, V.A. Proektirovanie i stroitelstvo morskikh neftegazovykh sooruzhenii : uchebnik : v 2 ch. / V.A. Perfilov, V.V. Gabova, I.A. Tomareva, U.V. Kanavets ; Volgogradskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet. Ch. 1. – Volgograd : Volgogradskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2017. – 226 s.

Technological Innovations in the Construction of Underwater Structures

D.D. Voloshenko², O.M. Presnov¹

¹*Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University;*

²*Siberian Federal State Educational Institution of Higher Education,
Krasnoyarsk (Russia)*

Key words and phrases: hydraulic structures; engineering; innovative technologies; structures; underwater construction; building materials; technological processes.

Abstract. The article considers technological innovations in the construction of underwater structures aimed at increasing the efficiency, safety and sustainability of these objects. The purpose of the study is to analyze modern technologies and materials used in underwater construction, as well as to assess their impact on the quality and durability of structures. The objectives of the study include a review of existing technologies and materials used in the construction of underwater structures; analysis of the advantages and disadvantages of new solutions, such as composites, high-strength steels and robotic systems; assessment of the impact of innovative design methods on the construction process; study of the environmental aspects of the use of new technologies. The hypothesis of the study is that the introduction of modern technologies and materials in the construction of underwater structures significantly improves their performance and reduces the risks associated with the human factor and the environment. Research methods include a literature review of modern achievements in the field of underwater construction, a comparative analysis of traditional and innovative technologies, an environmental assessment of the impact of new materials and methods on the marine environment. The achieved results demonstrate that the use of innovative technologies in the construction of underwater structures leads to a significant improvement in their strength and durability, a reduction in construction and maintenance costs, and a minimization of the negative impact on the environment.

© Д.Д. Волошенко, О.М. Преснов, 2025

УДК 51.77

Теоретико-игровое моделирование рынка ценных бумаг в условиях неравновесного состояния

И.В. Зайцева¹, В.В. Захаров², П.М. Куцев³,
О.И. Скворцова⁴

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург;

²ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный
аграрный университет»;

³ФГКОУ ВО «Краснодарский университет
Министерства внутренних дел
Российской Федерации»;

⁴ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный
университет»,
г. Ставрополь (Россия)

Ключевые слова и фразы: модель; ценные бумаги;
теория игр; оптимизация.

Аннотация. В данной статье классическая постановка задачи об оптимальном портфеле ценных бумаг модифицируется для того, чтобы учесть такие особенности российского рынка, как нестационарность и неадекватность предположения о невозможности арбитража. Описываются некоторые формальные схемы прогнозирования и показывается, что условная функция полезности зависит от ошибок прогноза. Целью работы является разработка теоретико-игровой модели оптимального портфеля ценных бумаг на нестационарном неравновесном рынке. Задачи работы: разработка модели оптимального портфеля ценных бумаг на нестационарном неравновесном рынке, установка условий игры, алгоритм составления схемы прогнозирования. Рассматриваемая задача об оптимальном портфеле исследуется и решается методами теории игр. Практическая реализация методов оптимизации инвестиционного портфеля основана на стохастических моделях.

Теория игр нашла широкое применение для исследования различных процессов и систем в экономической сфере. Неоценимое значение приобретает для определения и составления оптимальных стратегий [1]. Рассмотрим теоретико-игровую модель опти-

мального портфеля ценных бумаг на нестационарном неравновесном рынке. Введем некоторые условия игры:

- каждый участник рынка («игрок») в текущий момент (t) принятия решения о наилучшей структуре портфеля ценных бумаг обладает набором информации ($y^{(t)}$) о значениях факторов, влияющих на доходность ценных бумаг, интересующих инвестора (например, история торгов, сведения о состоянии эмитентов, о дивидендовой политике, об общем финансово-экономическом состоянии страны, региона, отрасли и т.д.);
- каждый игрок может наилучшим способом осуществить прогнозирование эффективности планируемой им операции на момент принятия решения;
- целью выбора портфеля является достижение максимальной величины $F(x)$ ожидаемого значения функции полезности $U(R_t^T x)$, где $x = \{x_j\}$ – выбираемый вектор распределения капитала по компонентам портфеля, R_j – n -мерный вектор прогнозируемых эффективностей ценных бумаг, являющихся кандидатами на включение в портфель [2–3].

Рассмотрим математическую модель оптимального портфеля ценных бумаг на нестационарном неравновесном рынке [4–5]. Пусть $E_R\{\}$ – математическое ожидание распределения вероятностей вектора R_t , тогда:

$$F(x) = E_R\{U(R_t x)\} = E_y\{E_{R/y}\{U(R_t^T x)\}\}, \quad (1)$$

где $E_{R/y}\{\}$ – условное математическое ожидание R_t при фиксированном значении $y^t = y$, а E_y – усреднение по возможным вариантам вектора E_y .

Очевидно, что:

$$\max_x I(x) \leq E_y\{\max_x I(x, y)\}, \quad (2)$$

где $I(x, y) = E_{R/y}\{U(R_t^T x)\}$.

Если в момент принятия решения известно значение определяющих факторов $y = y^t$, то наилучший выбор обеспечивается решением задачи:

$$\max_x I(x, y^{(t)}), \quad (3)$$

т.е. оптимальная структура портфеля зависит от текущих значений факторов и меняется при поступлении новой информации.

Предположим, что в будущем решение, принимаемое каждым игроком, не влияет на значения определяющих факторов. Для упрощения процедуры оценки условного математического ожидания примем гипотезу о том, что нестационарные процессы $\{R_t, y^t\}$ являются стационарно связанными, т.е.:

$$R_t = G(y^{(t)}) + e_t(y^{(t)}), \quad (4)$$

где G – некоторая функция, не зависящая явно от времени t , а $\{e_t\}$ – стационарная центрированная последовательность с независимыми случайными элементами, функции распределения которых зависят от y^t .

Условная функция распределения R_t отличается, в силу (4), от функции распределения e_t только постоянным смещением:

$$\hat{R}_t = G(y^t). \quad (5)$$

Назовем $\hat{R}_t$ прогнозом эффективности при наличии информации, $y^{(t)}$ а e_t – ошибками прогноза.

Статистическая верификация модели (4) сводится к оценке вида функции G и функций распределения ошибок. Если используется квадратичная функция полезности, то задача (3) принимает вид:

$$\max\{\hat{R}_t^T x - \lambda x^T V_e x / I^T x = 1, x \geq 0\},$$

где V_e – матрица ковариаций e_t .

Следовательно, задача оптимизации портфеля сохраняет структуру классической постановки. Введем новые математические компоненты в классическую постановку задачи. Однако смысл параметров меняется: вместо фиксированного значения математического ожидания фигурирует прогноз, зависящий от поступающей информации, а вместо матрицы ковариаций эффективностей – матрица ковариаций ошибок прогнозирования.

Рассмотрим основные схемы прогнозирования. Сложность верификации заставляет обратить особое внимание на параметрические модели вида:

$$R_t = F(\theta, y^t) + R_t(y^t), \quad (6)$$

где F – заданная функция своих аргументов, а θ – вектор неизвестных параметров, подлежащих оценке. Также предполагается линейность по параметрам:

$$F(\theta, y^t) = \theta^T f(y^{(t)}), \quad (7)$$

где f – заданная вектор-функция.

Так как при краткосрочном прогнозировании основной интерес для спекулятивной игры представляет история торгов, то $y^t = (R_{t-1}, R_{t-2}, \dots, R_{t-l})$, где l – глубина учитываемой истории.

Если функция f линейна, то приходим к модели вида:

$$R_t = \theta_0 + \theta_1 R_{t-1} + \dots + \theta_l R_{t-l} + e_t. \quad (8)$$

Если принять $\theta_i = 0, i = 1, \dots, l$, то получим классическую модель случайных блужданий. При этом наилучший прогноз эффективности – это оценка математического ожидания, т.е. реализуется стандартная постановка задачи оптимизации портфеля. Более продуктивно прогнозирование с помощью индексов.

Пусть:

$$R_{t,m} = \sum_{j=1}^n p_j R_{j,t}, \quad (9)$$

где p_j – априорно взятые весовые коэффициенты. Величины типа $R_{m,t}$ принято именовать индексами рынка:

$$R_{j,t} - r_0 = \beta_j (R_{m,t} - r_0) + \alpha_j + \varepsilon_{j,t}, \quad (10)$$

где r_0 – величина, ассоциированная с эффективностью безрисковых вложений.

На практике часто используют такую связь, а статистические оценки коэффициентов «альфа» и «бета» регулярно публикуются. При наличии связей (10) для прогноза вектора $R_{j,t}$ достаточно осуществить прогноз скалярной величины индекса рынка, используя, например, скалярный вариант.

Методы оптимизации инвестиционного портфеля, основанные на стохастических моделях, используются в практике работы рынка многих стран. Особенности каждого сектора рынка приводят к необходимости разработок специфических процедур прогнозирования.

Для облегчения построения матрицы ковариаций ошибок прогноза и решения задачи об оптимальном портфеле осуществляется следующая процедура:

- статистически оцениваются матрицы ковариаций ошибок по каждому сектору в отдельности;
- для каждого сектора вычисляется структура рискового портфеля по вкладам в ценные бумаги, меняющаяся с поступлением новой информации;
- каждый портфель рассматривается как производная ценная бумага (индекс сектора), и для него строится история торгов как последовательность линейных комбинаций курсов ценных бумаг с весами, соответствующими найденной структуре;
- к совокупности индексов применяется процедура прогнозирования и оптимизации;
- по известным структурам каждого портфеля производится декомпозиция решения с представлением информации о процентном распределении инвестируемого капитала по конкретным ценным бумагам.

В качестве исходных факторов прогнозирования могут быть использованы истории торгов ценных бумаг, принадлежащих другим блокам.

Таким образом, предлагаемая теоретико-игровая модель классической постановки задачи об оптимальном портфеле ценных бумаг применяется для учета особенностей российского рынка.

Литература

1. Kolokoltsov, V.N. Understanding game theory: introduction to the analysis of many agent systems with competition and cooperation / V.N. Kolokoltsov, O.A. Malafeyev. – World Scientific, 2010. – 286 p.
2. Зайцева, И.В. Математическое моделирование решения конкурентной задачи синхронизации подзадач / И.В. Зайцева, М.Г. Казначеева, Д.В. Шлаев, И.К. Сиденко // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 4(142). – С. 33–36.
3. Зайцева, И.В. Теоретико-игровая модель устойчивости стабильных состояний / И.В. Зайцева, С.А. Теммеева, О.Н. Никулина, Д.В. Шлаев // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 6(156). – С. 28–31.
4. Зайцева, И.В. Управление динамикой конкурентного взаимодействия между предприятиями / И.В. Зайцева, А.И. Кирьянен, О.А. Малафеев [и др.] // Перспективы науки. – 2021. – № 6(141). – С. 39–42.
5. Зайцева, И.В. Математическое моделирование задачи многоагентного взаимодействия перемещения ресурсов / И.В. Зайцева, С.А. Теммеева, А.С. Шебукова, А.А. Филимонов // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 11. – С. 6–10.

References

2. Zaitceva, I.V. Matematicheskoe modelirovanie resheniia konkurentnoi zadachi sinkhronizatsii podzadach / I.V. Zaitceva, M.G. Kaznacheeva, D.V. Shlaev, I.K. Sidenko // Nauka i biznes: puti razvitiia. – 2023. – № 4(142). – S. 33–36.
3. Zaitceva, I.V. Teoretiko-igrovaia model ustoiчивosti stabilnykh sostoianii / I.V. Zaitceva, S.A. Temmoeva, O.N. Nikulina, D.V. Shlaev // Nauka i biznes: puti razvitiia. – 2024. – № 6(156). – S. 28–31.

4. Zaitceva, I.V. Upravlenie dinamikoi konkurentnogo vzaimodeistviia mezhdru predpriiatiiami / I.V. Zaitceva, A.I. Kirianen, O.A. Malafeev [i dr.] // Perspektivy nauki. – 2021. – № 6(141). – S. 39–42.
5. Zaitceva, I.V. Matematicheskoe modelirovanie zadachi mnogoagentnogo vzaimodeistviia peremeshcheniia resursov / I.V. Zaitceva, S.A. Temmoeva, A.S. Shebukova, A.A. Filimonov // Nauka i biznes: puti razvitiia. – 2022. – № 11. – S. 6–10.

Game Theoretic Modeling of the Securities Market in a Non-equilibrium State

I.V. Zaitseva¹, V.V. Zakharov², P. M. Kushchev³, O.I. Skvorcova⁴

¹*Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg (Russia);*

²*Stavropol State Agrarian University;*

³*Stavropol Branch of Krasnodar University of the Ministry
of Internal Affairs of the Russian Federation;*

⁴*North Caucasus Federal University,
Stavropol (Russia)*

Key words and phrases: model; securities; game theory; optimization.

Abstract. In this article, the classical formulation of the problem of the optimal portfolio of securities is modified in order to take into account such features of the Russian market as the non-stationarity and inadequacy of the assumption that arbitrage is impossible. Some formal forecasting schemes are described, and it is shown that the conditional utility function depends on forecast errors. The aim of the work is to develop a game-theoretic model of an optimal portfolio of securities in a non-stationary non-equilibrium market. The objectives of the study include developing a model of an optimal portfolio of securities in a non-stationary non-equilibrium market, setting the conditions of the game, an algorithm for drawing up a forecasting scheme. The problem under consideration is studied and solved by the methods of game theory. The practical implementation of investment portfolio optimization methods is based on stochastic models.

© И.В. Зайцева, В.В. Захаров, П.М. Куцев, О.И. Скворцова, 2025

УДК 614.3

Risk Assessment Tools in Project and Quality Management: from Checklists to HAZOP: a Comparative Review of Qualitative Risk Assessment Methods

K.V. Kozlov

*MIREA – Russian Technological University,
Moscow (Russia)*

Key words and phrases: Bow-tie; checklists; FMEA; HAZOP; risk management; risk assessment methods; SWIFT.

Abstract. The article presents a review of the most widely used methods of qualitative risk assessment: **checklists**, **Bow-tie analysis**, failure modes and effects analysis (**FMEA**), hazard and operability analysis (**HAZOP**) and structured what-if technique (**SWIFT**). On the basis of international standards ISO 31000 and ISO 31010, as well as the analysis of publications of Russian and foreign researchers, the key advantages and limitations of each method are revealed. It is shown that effective risk management in quality management systems and project activities requires an informed choice of methods depending on the objectives, maturity of the organization and the nature of the managed uncertainty. The necessity of a comprehensive, multilevel approach to risk analysis, combining simple and illustrative methods with a deeper expert study of critical processes is substantiated. The obtained results can be useful for specialists in the field of quality, risk management, industrial safety and project management.

Introduction

The history of risk management goes back several millennia: from insurance rules in the “Code of Hammurabi” to risk sharing mechanisms in Antiquity. Significant progress began in the 17th century with the development of probability theory (Pascal – Fermat), and in the 19th century the industrial revolution gave rise to statistical studies of production risks [1]. In the 20th century, the FMEA method for preventing technical failures originated in the US military aviation [2], and in the 1960s, the UK chemical industry developed HAZOP for systematic assessment of hazards and operational problems [3].

In the 1970–1980s, visual techniques – the Bow-tie diagram and the simplified analytical method SWIFT (“what if?”) – emerged as alternatives to detailed PHA approaches [4; 5].

No pos.	Description	Result
1	Control point 1	ok
2	Control point 2	ok
3	Control point 3	ok

Fig. 1. Checklist template

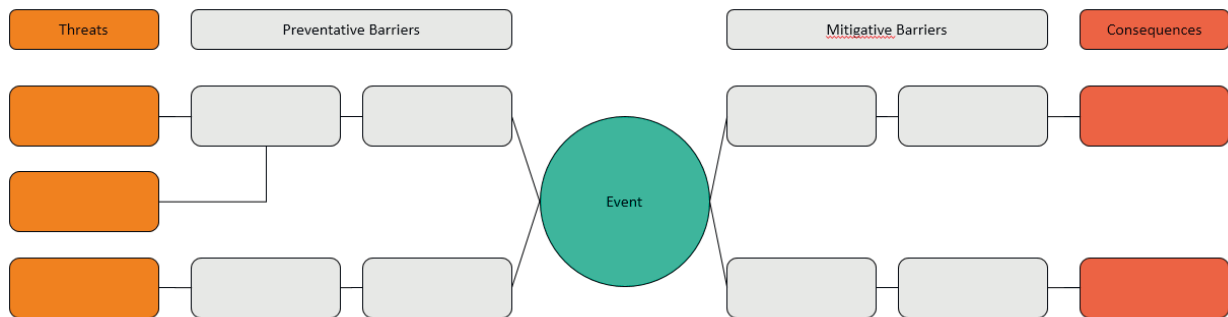


Fig. 2. Bowtie diagram template

Process Step/Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEVERITY	Potential Causes	OCCURRENCE	Current Control	DETECTION	RPN

Fig. 3. FMEA template

At the turn of 20th-21st centuries the risk-oriented approach was formally enshrined in ISO 9001, IATF 16949, ISO 10006 and ISO 31010 guidelines (in Russia GOST R 58771-2019, MOD) [6]. Today practitioners choose risk assessment methods depending on the objectives, resources and specifics of processes. This paper reviews five key qualitative techniques – **checklists**, **Bow-tie**, **FMEA**, **HAZOP** and **SWIFT** – analyzing their essence, advantages and limitations.

Checklists

In modern risk management systems, checklists (checklists) are an organized list of questions or criteria (Fig. 1) designed for rapid identification of typical hazards and verification of compliance with regulatory requirements in construction, production, inspection control and audit [7; 8]. The methodology provides standardization of the procedure of risk identification based on the accumulated experience, which allows minimizing the probability of missing typical defects and nonconformities.

The key advantages of checklists are their simplicity and speed of application without the need for in-depth training, the universality of the methodology for different industries and stages of the project life cycle, as well as the possibility of use by non-core personnel if the questions are accurately formulated. At the same time, significant limitations are noted: coverage of only those risks included in the list in advance, suppression of creative search for unknown threats, dependence of performance on the competence of the checklist compiler and the lack of tools for ranking risks by importance [7; 8].

Taking into account the identified advantages and disadvantages, it is recommended to use checklists in combination with other methods of risk assessment, allowing to take into account probabilistic characteristics and severity of consequences, which is reflected in the requirements of ISO 31010:2019 to the basic methods of risk identification [6].

Bowtie analysis method

In modern risk management systems, the bowtie method is a graphical model that combines a failure tree (cause analysis) and an event tree (consequence analysis) around a central critical event (Fig. 2). It is widely used in the oil and gas, chemical and power industries to comprehensively investigate accident scenarios and evaluate the effectiveness of barriers [4; 6; 9].

The main advantages of the method include:

1. Visual visibility, providing transparent communication of risks and control measures to management and operational personnel.
2. Integrity of the analysis, allowing simultaneous consideration of preventive (left) and protective (right) barriers.
3. Ability to qualitatively and quantitatively assess.
4. Universality of application in various industries (oil and gas, chemistry, transportation, medicine, energy) for any event scenarios with clearly distinguishable causes and consequences.

At the same time, the bowtie method has a number of limitations:

1. Lack of a strict standardized methodology, which makes the results of analytical work dependent on the experience and subjective assumptions of analysts.
2. Limited depth of qualitative analysis.
3. Implicit consideration of the reliability of the barriers, the diagram does not show the quantitative value of the residual risk.
4. Increased labor intensity with a large number of factors, leading to the cumbersome diagram and the need to decompose complex systems.

Thus, the bowtie method serves as an effective tool for visual and complex representation of risk scenarios, but for deep quantitative analysis and increased reliability of the results, it is recommended to combine it with additional methods of assessment and verification of barriers.

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

In modern risk management systems, **FMEA** (Failure Mode and Effects Analysis) is a systematic approach to identifying potential failures of components or processes, assessing their consequences and prioritizing them based on Risk Priority Number (**RPN**) calculated as the product of Severity, Occurrence and Detection estimates for each failure (Fig. 3). The method is widely used in the automotive, aerospace, medical and electronics industries to proactively prevent defects and improve the reliability of products and processes [2; 6; 10].

The advantages of FMEA are:

1. It is structured.
2. It is proactive: conducting early in the design or process preparation stages ensures that critical weaknesses are identified and addressed before failure occurs [17].
3. It provides experience and builds a knowledge base for subsequent projects.
4. Prioritization of effort: RPN ranking focuses resources on the most significant failures [18].

Limitations of FMEA:

1. Subjectivity of estimates: S, O, and D.
2. Shortcomings of RPN metrics: identical RPNs may hide different combinations of severity and probability.
3. High labor intensity.
4. Limited consideration of interactions as well as complex system relationships.

Despite these limitations, traditional FMEA remains a key tool for quality and safety management, and its value is realized when the results are reasonably integrated with additional failure and barrier analysis methods [10].

HAZOP (Hazard and Operability Study)

In modern industrial safety management systems, the Hazard and Operability Study (**HAZOP**) method is a regulated expert procedure aimed at systematically analyzing process units for parameter deviations and their consequences. Originally developed for chemical processes in the 1960s, today HAZOP is widely used in petroleum refining, energy and related industries, and is also adapted to analyze software and service systems [3; 6; 11].

The abbreviation stands for Hazard and Operability Study. The method is a regulated procedure of an expert session, during which an interdisciplinary team sequentially analyzes the system by sections (the so-called nodes), using special keywords (guide words). For each node (e.g. a separate section of a pipeline, a device, a stage of the technological process), experts enter parameter deviations using keywords – such as “no” (no/not), “more” (more), “less” (less), “reverse” (reverse), etc. Applying these words to the node parameters (temperature, pressure, flow, time, etc.) generates assumptions about deviations: for example, “no flow”, “more pressure”, “out of order”, etc. Then, for each such possible deviation, the team finds out the reasons for its occurrence, the consequences for the system, and the existing protective measures. If it is established that some combination of “deviation – cause” can lead to dangerous consequences that are not controlled by protection, then the dangerous situation is recorded and recommendations for its prevention or mitigation are developed (Fig. 4). Thus, HAZOP is a thorough expert procedure that allows to identify hidden hazards and reliability problems by detailed analysis of the system in various abnormal operating modes.

Guideword	Line	Causes	Consequences	Safeguards	Recommendation	Responsible agency
<i>no/not, more, less, reverse, etc.</i>						

Fig. 4. HAZOP template

Process or system component	Guidewords	Events (What if...? / How could...?)	Causes	Impact	Risk priority (High, Med, Low)

Fig. 5. SWIFT template

The advantages of the HAZOP method are:

1. Systematicity and completeness of coverage.
2. Consideration of operational aspects.
3. Interdisciplinary expertise.
4. Standardization and reproducibility.

Limitations of the HAZOP method:

1. High labor intensity.
2. Dependence on the competence of the team.
3. Limited coverage of non-standard scenarios.
4. Qualitative nature of the assessment.

Thus, HAZOP remains the “gold standard” for hazard identification and analysis in process industries, providing maximum depth and systematic study of critical objects, but requires combination with additional techniques for quantitative risk assessment and optimization of session resources [11].

SWIFT (Structured What-If Technique)

In modern risk management systems, the **SWIFT** (Structured What-If Technique) method is a regulated, but the most “light” alternative to HAZOP. The SWIFT process typically begins with defining the scope of the analysis (e.g. the process or system under consideration), then the team of experts asks a general question: “What could go wrong?” Pre-defined categories are often used to systematize the discussion: for example, possible sources of danger (technological, organizational, external), process stages, types of impacts, etc. The team generates questions: “What if X happens?”, “What if Y fails?”, relying on both their experience and template prompts. Each scenario is discussed in terms of causes and consequences, as well as existing controls and the need for additional measures. The result of SWIFT (Fig. 5) is a list of identified risk scenarios with assessments of their significance and management proposals [6; 12]. Used at the preliminary assessment stage, SWIFT allows to form a basic set of key risk scenarios due to the speed and flexibility of the methodology and minimal requirements for the training of the expert team.

Advantages of the SWIFT method:

1. Simplicity and efficiency.
2. Flexibility and versatility.
3. Stimulation of creativity within the framework.
4. Focus on key risks.

Limitations of the SWIFT method:

1. Dependence on the composition of experts.
2. Incomplete coverage of complex systems.
3. Critical role of moderation.
4. Lack of quantitative assessment.

Thus, SWIFT serves as an effective tool for initial identification and prioritization of risks in projects with a moderate level of danger, and its results should be supplemented with more detailed methods (e.g., FMEA or HAZOP) for the final assessment and development of risk mitigation measures [12].

Conclusion

The risk-oriented approach has become a key element of the modern quality and project management system. Its consolidation in international standards, such as ISO 9001, IATF 16949, ISO 10006, as well as in methodological recommendations, requires organizations to be able not only to identify and analyze risks, but also to competently select methods for this analysis.

The review shows that each of the methods reviewed – checklists, “bow tie”, FMEA, HAZOP and SWIFT – has both strengths and limitations.

Thus, successful application of risk-based assessment methods in quality and project management is possible if three conditions are met: informed choice of the method taking into account the context, availability of a qualified team of experts and regular updating of the methods taking into account industry and international experience. Continued research in this area, including the development of adapted methodological guidelines and integration with digital technologies (e.g., automation of FMEA analysis or Bow-tie visualization), will further improve the sustainability and efficiency of organizations.

References

1. Beattie, A. History of Insurance / A. Beattie // Investopedia [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.investopedia.com/articles/08/history-of-insurance.asp>.
2. IEC 60812:2018. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA and FMECA). – Geneva : International Electrotechnical Commission, 2018. – 126 p.
3. IEC 61882:2016. Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies) – Application Guide. – Geneva : International Electrotechnical Commission, 2016. – 92 p.
4. Ruijter, A. de. The bowtie method: A review / A. de Ruijter, F. Guldenmund // Safety Science. – 2016. – Vol. 88. – P. 211–218. – DOI: 10.1016/j.ssci.2016.03.001.
5. Card, A.J. Beyond FMEA: The structured what-if technique (SWIFT) / A.J. Card, J.R. Ward, P.J. Clarkson // Journal of Healthcare Risk Management. – 2012. – Vol. 31. – № 4. – P. 23–29. – DOI: 10.1002/jhrm.20101.
6. ISO 31010:2019. Risk management – Risk assessment techniques. – Geneva : International Organization for Standardization, 2019. – 92 p.

7. Tarasova E.A. Chek-listy i kvalimetricheskaja otsenka v ekspertizakh proektov po povysheniiu kachestva i proizvoditelnosti / E.A. Tarasova, T.A. Mitroshkina, A.Ia. Dmitriev // Izvestiia TulGU. Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2023. – № 7. – S. 200–205. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-7-200-201.
8. Zaranejad, A. Designing a quantitative safety checklist for the construction phase of ongoing projects in petrochemical plants / A. Zaranejad, O. Ahmadi, E. Yahyaei // Journal of Occupational Health and Epidemiology. – 2016. – Vol. 5. – № 1. – P. 1–9. – DOI: 10.18869/acadpub.johe.5.1.1.
9. Drozdova, T.I. Analiz prichinno-sledstvennykh svyazei vozgoraniia gazovogo fontana na gazokondensatnom mestorozhdenii / T.I. Drozdova, M.A. Riabtcov // XXI vek. Tekhnosfernaia bezopasnost. – 2018. – № 3(4). – S. 112–120. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-4-112-120.
10. Zuniawan, A. A Systematic Literature Review of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation in Industries / A. Zuniawan // IJIEEM – Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management. – 2020. – Vol. 1. – № 2. – P. 59. – DOI: 10.22441/ijiem.v1i2.9862.
11. Baybutt, P. A critique of the Hazard and Operability (HAZOP) study // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2015. – Vol. 33. – P. 52–58. – DOI: 10.1016/j.jlp.2014.11.010
12. Edelev, D.A. Metody identifikatsii riskov v zhiznennom tsikle produktov pitaniia / D.A. Edelev, V.M. Kantere, V.A. Matison // Pishchevaia promyshlennost. – 2011. – № 7 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-identifikatsii-riskov-v-zhiznennom-tsikle-produktov-pitaniya>.

Инструменты оценки рисков в управлении проектами и качеством: от чек-листов до HAZOP: сравнительный обзор методов качественной оценки рисков

К.В. Козлов

*ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,
г. Москва (Россия)*

Ключевые слова и фразы: FMEA, HAZOP, SWIFT, галстук-бабочка, контрольные листы, методы оценки риска, управление рисками.

Аннотация. В статье представлен обзор наиболее широко применяемых методов качественной оценки рисков: контрольных листов (**Checklists**), метода «галстук-бабочка» (**Bow-tie analysis**), анализа видов и последствий отказов (**FMEA**), анализа опасностей и работоспособности (**HAZOP**) и структурированной техники «что, если» (**SWIFT**). На основе международных стандартов ISO 31000 и ISO 31010, а также анализа публикаций российских и зарубежных исследователей раскрыты ключевые достоинства и ограничения каждого метода. Показано, что эффективное управление рисками в системах менеджмента качества и проектной деятельности требует осознанного выбора методов в зависимости от целей, зрелости организации и характера управляемой неопределенности. Обоснована необходимость комплексного, многоуровневого подхода к анализу рисков, сочетающего простые и наглядные методы с более глубокой экспертной проработкой критических процессов. Полученные результаты могут быть полезны специалистам в области качества, риск-менеджмента, промышленной безопасности и управления проектами.

© K.V. Kozlov, 2025

УДК 004.912.4

Гибридные методы кластеризации на основе нейросетевых и классических алгоритмов для интеллектуального анализа текстовых данных

А.Н. Манин¹, Д.И. Вельш², А.П. Горшкова¹,
В.Л. Коданев²

¹ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»;

²ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский
технологический университет»,
г. Москва (Россия)

Ключевые слова и фразы: гибридная кластеризация; **HDBSCAN**; multilingual-E5; **SBERT**; суммаризация; тематический анализ текстов; **UMAP**.

Аннотация. Исследование посвящено гибридным методам кластеризации текстовых данных, сочетающим алгоритмы снижения размерности и выявления структур. Для интерпретации кластеров использована генерация названий на основе языковой модели. Эксперименты проведены на корпусе научных статей с оценкой качества через Silhouette Score, Davies-Bouldin Index и Calinski-Harabasz Index. Результаты подтверждают эффективность гибридного подхода для тематической кластеризации, обеспечивая устойчивость к выбросам и четкость группировки.

Введение

Рост объемов текстовых данных требует эффективных методов их структуризации. Кластеризация позволяет выявлять тематические группы без предварительной разметки, однако традиционные алгоритмы (**K-means**, **GMM**) плохо работают с высокоразмерными текстами и сложными распределениями.

В исследовании анализируются гибридные методы, сочетающие:

- снижение размерности: **UMAP** и **SOM**;
- кластеризацию: **HDBSCAN**, Agglomerative Clustering, **GMM**;
- семантические эмбединги: **SBERT** и multilingual-E5.

Цель – оценка их эффективности для тематической группировки научных текстов, включая интерпретацию результатов через генерацию описаний кластеров.

Таблица 1. Сравнительные характеристики алгоритмов кластеризации

Алгоритм	Требуется число кластеров	Чувствительность к выбросам	Автоматически определяет число кластеров
K-means	Да	Высокая	Нет
GMM	Да	Средняя	Нет
Agglomerative Clustering	Да	Средняя	Нет
DBSCAN	Нет	Низкая	Частично
HDBSCAN	Нет	Низкая	Да

Методология и используемые методы

Цель исследования – сравнительный анализ гибридных методов кластеризации текстов, сочетающих:

- 1) векторные представления:
 - SBERT (семантическое сопоставление);
 - multilingual-E5 (мультиязычный контекст).
- 2) снижение размерности:
 - UMAP (топология данных);
 - SOM (плотностное упорядочивание).
- 3) алгоритмы кластеризации:
 - HDBSCAN (плотностной);
 - Agglomerative (иерархический);
 - GMM (вероятностный).

Особенность: предварительная суммаризация текстов (модель “IlyaGusev/rugpt3medium_sum_gazeta”) для повышения плотности признаков.

Методы кластеризации:

- 1) HDBSCAN – автоматическое определение кластеров, устойчивость к шуму;
- 2) Agglomerative – иерархический подход, требует задания числа кластеров;
- 3) GMM – вероятностная модель на основе смеси распределений.

Параметры алгоритмов подбирались эмпирически (размеры карт для SOM, пороги плотности для HDBSCAN и др.). Сравнительные характеристики представлены в табл. 1.

Оценка эффективности методов кластеризации

Для сравнительного анализа качества кластеризации использовались три метрики: Silhouette Score, Davies – Bouldin Index (**DBI**) и Calinski – Harabasz Index (**CHI**). Первая характеризует плотность и раздельность кластеров; вторая оценивает степень внутрикластерной компактности и межкластерного разделения, при этом более низкие значения считаются лучшими; третья отражает дисперсионное соотношение между группами, повышаясь при хорошем разделении и внутренней однородности. Использование всех трех метрик позволяет сбалансированно оценить структуру и устойчивость разбиения данных при различных конфигурациях алгоритмов (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2. Сравнительные показатели качества кластеризации для различных комбинаций методов

№	Метод	Silhouette Score	Davies – Bouldin Index	Calinski – Harabasz Index
1	TF-IDF + SVD + KMeans	0,101	2,514	25 590
2	multilingual-E5 + UMAP + GMM	0,393	0,830	848 254
3	multilingual-E5 + SOM + HDBSCAN	0,929	1,288	574 087
4	multilingual-E5 + UMAP + Agglomerative + summary	0,600	0,509	120 000

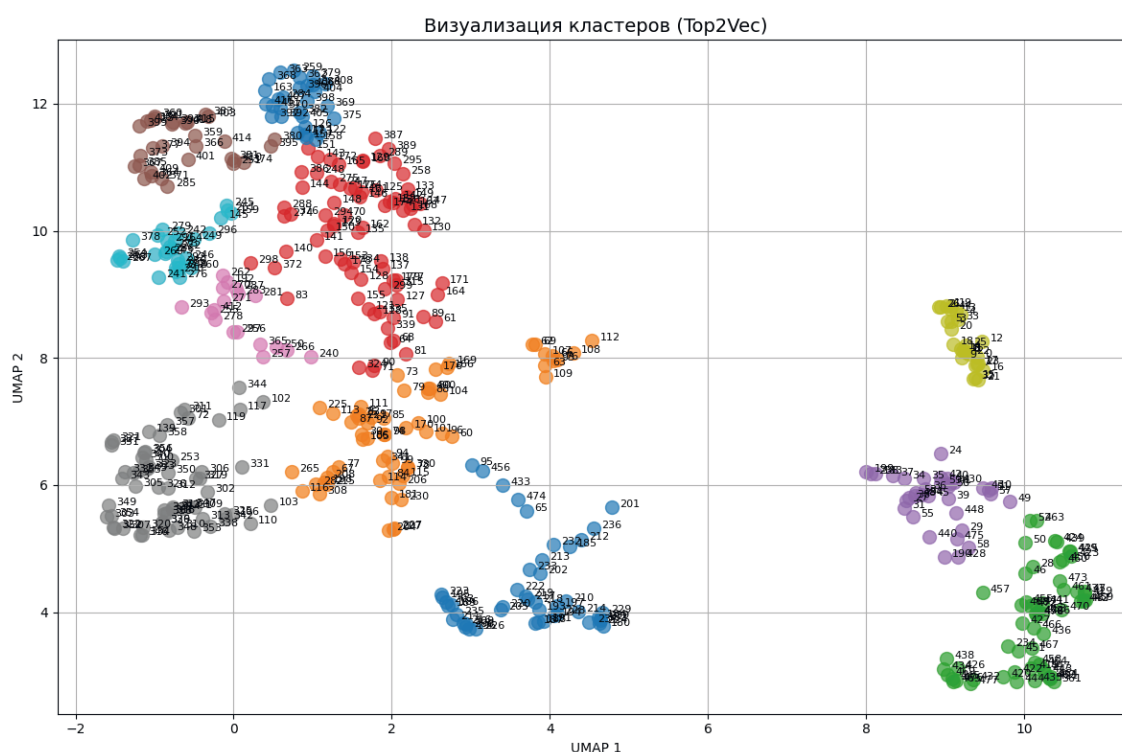


Рис. 1. Проекция UMAP для кластеров

Анализ результатов эксперимента

Результаты сравнения моделей кластеризации выявили существенные различия в качестве группировки:

- 1) TF-IDF + SVD + KMeans показал наихудшие результаты (Silhouette 0.10, DBI 2.51), что объясняется ограниченностью частотного подхода;
- 2) multilingual-E5 + UMAP + GMM продемонстрировала:
 - максимальную компактность кластеров (CHI 848.25, DBI 0.83);
 - умеренную тематическую когерентность (Silhouette 0.39);
- 3) multilingual-E5 + SOM + HDBSCAN достигла:
 - лучшей тематической целостности (Silhouette 0.93);
 - четкого визуального разделения кластеров;
- 4) multilingual-E5 + UMAP + Agglomerative с суммаризацией дала сбалансированные результаты (Silhouette 0.60, DBI 0.51), обеспечив компактные и интерпретируемые группы.

Рекомендации по выбору метода:

- тематической когерентности: SOM + HDBSCAN;
- четкого разделения: UMAP + GMM;
- баланса качества и интерпретируемости: UMAP + Agglomerative с суммаризацией.

Заключение

Экспериментальное исследование гибридных методов кластеризации текстов выявило:

- 1) оптимальные комбинации:
 - multilingual-E5+SOM+HDBSCAN – для тематической целостности;
 - multilingual-E5+UMAP+GMM – для четкого разделения;
 - модель с суммаризацией – универсальное решение;
- 2) ключевые рекомендации:
 - плотностные методы – для смысловой группировки;
 - вероятностные подходы – для анализа структуры данных;
 - суммаризация – для работы с разнородными текстами.

Научная ценность работы – в оригинальном сочетании компонентов кластеризации. Практическое применение возможно в системах категоризации и интеллектуального поиска.

Перспективы исследований включают расширение языковой поддержки и разработку критериев выбора методов.

Литература

1. Минкин, С.В. Современные методы кластеризации данных: обзор / С.В. Минкин, А.А. Тумаков // Информационные технологии. – 2020. – № 3. – С. 45–58.
2. Reimers, N. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks / N. Reimers, I. Gurevych // arXiv preprint arXiv:1908.10084. – 2019.
3. McInnes, L. UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction / L. McInnes, J. Healy, J. Melville // arXiv preprint arXiv:1802.03426. – 2018.
4. Kohonen, T. Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps / T. Kohonen // Biological Cybernetics. – 1982. – Vol. 43. – № 1. – P. 59–69.
5. Ruder, S. An Overview of Multi-Task Learning in Deep Neural Networks / S. Ruder // arXiv preprint arXiv:1706.05098. – 2017.
6. McInnes, L. HDBSCAN: Hierarchical Density Based Clustering / L. McInnes, J. Healy, S. Astels // Journal of Open Source Software. – 2017. – Vol. 2(11). – P. 205.
7. Гончаров, И.С. Сравнительный анализ алгоритмов агломеративной кластеризации текстовых данных / И.С. Гончаров, П.А. Назаров // Программные продукты и системы. – 2021. – № 2. – С. 98–105.

References

1. Minkin, S.V. Sovremennyye metody klasterizatsii dannykh: obzor / S.V. Minkin, A.A. Tuma-
kov // Informatcionnye tekhnologii. – 2020. – № 3. – S. 45–58.
7. Goncharov, I.S. Sravnitelnyi analiz algoritmov aglomerativnoi klasterizatsii tekstovykh
dannykh / I.S. Goncharov, P.A. Nazarov // Programmnye produkty i sistemy. – 2021. – № 2. –
S. 98–105.

Hybrid Clustering Methods Based on Neural Networks and Classical Algorithms for Text Data Mining

A.N. Manin¹, D.I. Velsh², A.P. Gorshkova¹, V.L. Kodanov²

¹*Moscow Aviation Institute (National Research University);*

²*MIREA – Russian Technological University,
Moscow (Russia)*

Key words and phrases: hybrid clustering; **HDBSCAN**; multilingual-E5; **SBERT**; text summarization; thematic text analysis; **UMAP**.

Abstract. The study focuses on hybrid methods for text data clustering that combine dimensionality reduction algorithms and structure detection techniques. Cluster interpretation was enhanced through label generation using a language model. Experiments were conducted on a corpus of scientific articles, with quality assessed via Silhouette Score, Davies -Bouldin Index, and Calinski-Harabasz Index. The results confirm the effectiveness of the hybrid approach for thematic clustering, ensuring robustness to outliers and clear group separation.

© А.Н. Манин, Д.И. Вельш, А.П. Горшкова, В.Л. Коданев, 2025

УДК 334.72

Обеспечение экономической безопасности в социальной сфере Тамбовской области

Н.Г. Машенцева

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный
технический университет»,
г. Тамбов (Россия)*

Ключевые слова и фразы: экономическая безопасность; регион; социальная сфера; угрозы.

Аннотация. В статье представлена оценка уровня экономической безопасности в социальной сфере региона. Актуальность исследуемой темы заключается в следующем: экономическая безопасность в социальной сфере региона проявляется через эффективное использование природных, трудовых, материальных и финансовых ресурсов. Это способствует ускорению экономического роста, повышению качества производимых товаров и услуг, а также улучшению конкурентоспособности предприятий. Указанные ключевые факторы подчеркивают важность проблемы, связанной с обеспечением экономической безопасности региона и анализом угроз, влияющих на нее. Следовательно, вопрос экономической безопасности субъектов РФ приобретает особую актуальность, поскольку развитие региона напрямую влияет на общенациональную безопасность. Социально-экономические события также оказывают влияние на безопасность, что делает крайне важным ведение активной социальной политики как на местном, так и национальном уровнях. Такая политика направлена на решение вопросов трудоустройства, поддержку наименее защищенных слоев общества и создание гармоничной социальной среды в регионе. Целью данного исследования является анализ и оценка уровня экономической безопасности в социальной сфере региона, а также разработка перспектив его улучшения. Также определены ключевые преимущества и потенциальные угрозы экономической безопасности Тамбовской области, обозначены пути совершенствования методов и механизмов обеспечения экономической безопасности.

Тамбовская область является одним из ведущих регионов в агропромышленном секторе, производящем свыше 30 % валового регионального продукта (ВРП). Большая часть земельного фонда региона (78,9 %) состоит из сельскохозяйственных земель, 87 % из которых плодородные черноземы. Регион занимает лидирующие позиции в Центральном федеральном округе по выращиванию зерновых, сахарной свеклы и подсолнечника, а также входит в первую тройку российских регионов по производству свинины и в ТОП-20 по производству мяса птицы. В области активно развивается садоводческий кластер [3].

Промышленный сектор Тамбовской области играет ключевую роль в экономике региона, привлекая более 17 % экономически активного населения и вкладывая 11 % в общие производственные активы. Этот сектор генерирует более одной трети всех налоговых и неналоговых доходов, поступающих в бюджеты на всех уровнях, и составляет 16,1 % ВРП. Основные направления промышленности включают химическое производство, машиностроение, производство электротехнического, электронного и оптического оборудования, а также производство продуктов питания, напитков и неметаллических минеральных изделий. Оборонно-промышленный комплекс региона находится на стадии активной модернизации.

Эффективная инвестиционная политика является определяющим фактором развития Тамбовской области. Сформированная система эффективной государственной поддержки инвесторов обуславливает реализацию крупных инвестиционных проектов. Область входит в ТОП-20 Национального рейтинга состояния инвестиционного климата в субъектах РФ [3].

Тамбовский регион располагает впечатляющими возможностями для проведения научных исследований и внедрения инноваций благодаря наличию обширного научного потенциала, а также необходимых условий и ресурсов. Исследовательская работа ведется в четырех государственных вузах, Федеральном научном центре, пяти научных институтах, восьми исследовательских институтах, трех проектных институтах, трех инновационных центрах, а также на 17 промышленных предприятиях и в 27 малых инновационных компаниях региона.

По данным таблицы 1, мы видим, что в период 2019–2023 гг. произошло снижение населения Тамбовской области. Убыль населения составила 44 000 человек. При этом значение индекса физического объема ВРП увеличилось на 2,6 %. Что касается данного показателя при расчете на душу населения, то он равен 487 060 руб., что на 41,6 % больше, чем в 2019 г.

Увеличение также коснулось индекса промышленного производства. За данный период прирост составил 6,3 %. Уменьшился темп добычи полезных ископаемых: в 2019 г. он составлял 125,2 %, а в 2023 г. – 104,5 %, что на 20,7 % меньше. Развитие обрабатывающей промышленности также было нестабильно: в 2019 году значение составило 110,7 %, а в 2023 г. – 109,1 %. Самый большой уровень индекса объема продукции сельского хозяйства был зафиксирован в 2020 г. и составил 109,4 %, а самый минимальный был зафиксирован в 2021 г. и составил – 96,0 %.

Производство зерна имеет положительную динамику, его показатель в 2023 г. равен 5137,6 тыс. т, что на 50 % больше, чем в 2019 г.

За данный период значения инвестиций в регионе показывают себя нестабильно. Самое большое значение было зафиксировано в 2019 г. и составило 106 220,3 млн руб., а самое минимальное в 2021 г. – 74 770,1 млн руб. Также следует отметить стабильное уменьшение числа безработных в регионе. За период 2019–2023 гг. их число сократилось на 28,1 %, что делает Тамбовскую область одним из лидеров среди регионов с низким уровнем безработицы.

Таблица 1. Динамика социально-экономических показателей Тамбовской области 2019–2023 гг.

Показатель	2019	2020	2021	2022	2023	Абсолютное отклонение	Темп роста, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Численность населения (среднегодовая), тыс. чел.	1006,1	994,4	981,0	966,3	961,3	–44,8	95,5
Индекс физического объема валового регионального продукта (в сопоставимых ценах), %	97,7	100,2	100,3	98,1	100,3	2,6	102,6
ВРП на душу населения (в фактически действовавших ценах), тыс. руб.	343,8	350,0	376,4	449,2	487,06	143,1	141,6
Индекс промышленного производства, % в том числе по основным видам деятельности:	102,0	104,4	102,5	103,9	108,4	6,4	106,3
Добыча полезных ископаемых, %	125,2	130,5	77,7	107,2	104,5	–20,7	83,5
Обрабатывающие производства, %	110,7	95,8	107,8	93,1	109,1	–1,6	98,5
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды, %	92,1	95,4	85,9	105,7	102,0	9,9	110,7
Индекс физического объема продукции сельского хозяйства (в сопоставимых ценах), %	106,5	109,4	96,0	102,5	104,3	–2,2	97,9
Производство зерна, тыс. т	3412,5	4920,6	3553,7	4528,3	5137,6	1725,1	150,5
Производство сахарной свеклы, тыс. т	5105,5	3214,7	4059,8	4548,9	5947,4	841,9	116,5
Производство скота и птицы на убой, тыс. т	564,1	624,3	627,1	630,0	627,9	63,8	111,3
Производство молока, тыс. т	192,3	192,5	188,6	190,3	191,8	–0,5	99,7
Ввод в эксплуатацию жилых домов, тыс. кв. м	138,9	144,2	147,7	166,0	480,6	341,7	346,0
Инвестиции в основной капитал – всего, млн руб.	106 230,3	90 718,9	74 770,1	79 396,7	84 982,8	–21247,5	79,9
Среднемесячные денежные доходы на душу населения, руб.	26 827,7	28 154,4	27 891,8	30 240,7	34 050,6	7222,9	126,9
Общая численность безработных, тыс. человек	19,6	22,8	19,8	16,5	14,1	–5,5	71,9

Таблица 2. Показатели социальной безопасности Тамбовской области за 2019–2023 гг.

Индикаторы определения угроз социальной безопасности	2019	2020	2021	2022	2023
Демографическая ситуация					
Количество родившихся, чел.	7744	7419	7221	6586	6315
Количество умерших, чел.	15 187	17 854	20 648	16 300	14 789
Естественный прирост (+), убыль (–), чел.	–7443	–10435	–13427	–9714	–8474
Коэффициент естественного прироста населения (на 1000 чел.)	–7,3	–10,4	–13,6	–10,0	–8,5
Уровень жизни					
Среднедушевые денежные доходы на- селения в месяц, руб.	26 827,7	28 154,4	27 891,8	30 240,7	34 050,6
Удельный вес численности населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума (% общей численности населения)	10,7	10,8	10,5	10,3	8,5

Далее рассмотрим социальную безопасность в регионе с помощью ряда показателей. Все они отображены в табл. 2.

Рассмотрим наиболее значимые из них:

- естественный прирост населения, который обеспечивается путем увеличения рождаемости и снижения смертности, на протяжении всего рассматриваемого периода имеет отрицательное значение;
- среднедушевой доход населения вырос на 26,9 % за данный период;
- наблюдается снижение безработицы и населения с доходами ниже прожиточного минимума: 8,5 % от общей численности области, что на 2,2 % меньше, чем в 2019 г.

Однако нельзя говорить о безоговорочно высоких результатах в обеспечении экономической безопасности в социальной сфере Тамбовской области. Так, значительная доля территорий региона задействована в сфере сельского хозяйства, что не дает возможности для быстрого развития и повышения уровня жизни населения.

Поэтому на основании проведенного анализа можно сделать вывод о наличии в регионе ряда проблем, которые должны быть разрешены для достижения им высоких показателей экономического и социального развития. Предусматриваются следующие мероприятия, направленные на:

- усиление роли региона в аграрном секторе России;
- привлечение инвестиций для создания новых производственных мощностей;
- развитие туристической инфраструктуры и продвижение культурного наследия региона.

Стремительное развитие Тамбовской области привело к повышению ее инвестиционной привлекательности. На сегодняшний день данный регион является одним из лидеров по промышленному производству. Следовательно, можно говорить о высокой перспективности развития региона через реализацию правительственных программ, а также мероприятий регионального уровня, направленных на усиление социальной безопасности области.

Для анализа экономической эффективности региона применяются различные методики. Основополагающим подходом является установление критических показателей по индикаторам экономического роста. Эти критерии служат мерилем для оценки адаптивности экономики к новым условиям и ее способности противостоять внешним угрозам. Экономическая безопасность предполагается достигнутой, когда все параметры соответствуют определенным нормам. Однако следует учитывать, что пороговые значения не являются неизменными и могут меняться в соответствии с уровнем развития экономики региона [2].

Экономическая безопасность региона означает комплекс мероприятий, проводимых региональными административными структурами и властными органами, направленных на повышение конкурентоспособности региона по основным экономическим параметрам и гарантирование социально-экономической устойчивости.

Следует подчеркнуть, что стратегии, направленные на гарантирование экономической и социальной стабильности, должны соответствовать национальным принципам управления системами [4]. Кроме того, для того чтобы оценить уровень прогресса региона, недостаточно просто вычислить показатели. Индикаторы могут указывать на общие тенденции развития и совершенствования, однако они не отражают скорость этих изменений. В связи с этим были определены пороговые значения, которые используются для анализа баланса в экономике, соотношения между ее различными секторами и для предотвращения негативных эффектов, возникающих в результате ошибочных решений региональных властей в политической и экономической сферах [1].

Данный анализ выявил общий прогресс в социально-экономическом развитии области. Тем не менее проблемы, такие как неравномерное распределение доходов среди населения, повышение среднего возраста жителей и относительно низкий уровень инновационной активности предприятий, могут представлять угрозу дальнейшему развитию региона.

Литература

1. Амирова, Д.Р. Оценка уровня жизни населения России на основе статистического анализа / Д.Р. Амирова, Д.Э. Печурина // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2017. – № 11. – С. 111–115.
2. Гучетль, Р.Г. Оценка уровня и особенности развития малого бизнеса Тамбовской области в условиях постпандемии / Р.Г. Гучетль // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 9(135). – С. 93–100.
3. Стратегия социально-экономического развития Тамбовской области до 2035 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.tambov.gov.ru/strategiya-socialno-ekonomicheskogo-razvitiya-tambovskoj-oblasti-do-2035-goda.html>.
4. Стратегия экономической безопасности Российской Федерации до 2030 г. : утверждена Указом Президента РФ от 13.05.2017 № 208 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_216629.

References

1. Amirova, D.R. Otcenka urovnia zhizni naseleniia Rossii na osnove statisticheskogo analiza / D.R. Amirova, D.E. Pechurina // Mezhdunarodnyi zhurnal humanitarnykh i estestvennykh nauk. – 2017. – № 11. – S. 111–115.

2. Guchetl, R.G. Otcenka urovnia i osobennosti razvitiia malogo biznesa Tambovskoi oblasti v usloviakh postpandemii / R.G. Guchetl // Nauka i biznes: puti razvitiia. – 2022. – № 9(135). – S. 93–100.
3. Strategiiia sotcialno-ekonomicheskogo razvitiia Tambovskoi oblasti do 2035 g. [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.tambov.gov.ru/strategiya-socialno-ekonomicheskogo-razvitiya-tambovskoj-oblasti-do-2035-goda.html>.
4. Strategiiia ekonomicheskoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii do 2030 g. : utverzhdena Ukazom Prezidenta RF ot 13.05.2017 № 208 [Electronic resource]. – Access mode : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_216629.

Ensuring Economic Security in the Social Sphere of the Tambov Region

N.G. Mashentseva

*Tambov State Technical University,
Tambov (Russia)*

Key words and phrases: economic security; region; social sphere; threats.

Abstract. The article presents the assessment of the level of economic security in the social sphere of the region. The relevance of the topic under study is as follows: economic security in the social sphere of the region is manifested through the efficient use of natural, labor, material and financial resources. This contributes to the acceleration of economic growth, improving the quality of goods and services, as well as improving the competitiveness of enterprises. These key factors emphasize the importance of the problem associated with ensuring the economic security of the region and the analysis of threats affecting it. Consequently, the issue of economic security of the constituent entities of the Russian Federation is of particular relevance, since the development of the region directly affects national security. Socio-economic events also affect security, which makes it extremely important to pursue an active social policy both at the local and national levels. Such a policy is aimed at solving employment issues, supporting the least protected segments of society and creating a harmonious social environment in the region. The purpose of this study is to analyze and assess the level of economic security in the social sphere of the region, as well as to develop prospects for its improvement. The key advantages and potential threats to the economic security of the Tambov region are also identified, and ways to improve the methods and mechanisms for ensuring economic security are outlined.

© Н.Г. Машенцева, 2025

УДК 332.146.2; 338.242.2

Формирование и основные тренды развития рынка экологического туризма в Российской Федерации

Ю.Е. Семенова, Альхаяджне Мохаммад Аднан Мохаммад

*ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург (Россия)*

Ключевые слова и фразы: туризм; экологический туризм; природное наследие; внутренний туризм.

Аннотация. В последние годы интерес к экотуризму значительно возрос как со стороны российской, так и международной аудиторий. Увеличение осведомленности об экологических проблемах, потребность в более устойчивых формах отдыха, а также желание увидеть нетронутую природу способствуют росту популярности этого вида туризма. Целью статьи является рассмотрение основных трендов развития экологического туризма в России. Гипотеза исследования заключается в предположении о том, что экологический туризм не только способствует улучшению состояния окружающей среды, но и поддерживает местные сообщества, создавая новые рабочие места и развивая местную экономику. Основные методы исследования в статье – анализ научной литературы, методы теории управления и теории организации. По итогам исследования авторами сделаны выводы о том, что происходит значительное изменение направлений туристических потоков и все больший интерес для туристов представляют северные регионы России, малые города и уникальные природные объекты.

Экологический туризм представляет собой сегмент, ориентированный не только на обеспечение приятного отдыха, но и сохранение природного наследия, поддержание биологического разнообразия и защиту уникальных экосистем. Россия, обладая огромным потенциалом в виде разнообразных природных ландшафтов, национальных парков и заповедников, имеет все шансы стать одним из ведущих направлений для экологического туризма. В 2025 году экотуризм в России продолжит развиваться, привлекая все больше искушенных путешественников, стремящихся к комфортабельному отдыху на природе.

В России замечен спрос на экологический туризм. Об этом в эфире радио Sputnik 25 марта 2025 г. заявил член правления Ассоциации туристических агрегаторов Игорь Сивец. По его словам, среди популярных направлений – Алтай, Камчатка, Мурманск, Северный Кавказ. «Мы видим растущий тренд на экотуризм», – сказал Сивец.

Он также сообщил, что в 2025 году наиболее перспективны гастрономический, промышленный, автомобильный, деловой и событийный туризм, круизы и яхтинг. Ожидаемый рост турпотока в регионы России в текущем году составит 8–17 %. Ранее исполнительный директор Альянса туристических агентств Наталия Осипова рассказала, что на майские праздники россияне активно бронируют туры в Москву, Санкт-Петербург, Казань, Калининград, Карелию и на Байкал. Кроме того, популярностью пользуется отдых в городах Краснодарского края. «Все популярнее становятся короткие туры. Они доступны по цене», – добавила она. Экскурсионные программы и короткие поездки подойдут для тех, кто будет работать между майскими праздниками. Тем, у кого есть полноценный отпуск, эксперт посоветовала рассмотреть речные круизы [6].

В 2024 году наблюдается значительный рост внутреннего туризма в России, и эксперты прогнозируют, что эта тенденция сохранится и в 2025 г. В связи с увеличением спроса на доступные альтернативы зарубежным поездкам внутренние маршруты становятся все более популярными [1, с. 25]. По статистике, собранной в 2024 г., количество внутрироссийских туристических поездок достигло 79,2 млн. Наиболее активно путешественники направлялись в культурно значимые регионы, включая столицу, Санкт-Петербург, исторические города Центральной России и Татарстан. Не менее востребованны у отдыхающих и природные территории — Байкал, Урал, Алтай, Сибирь и Кавказ, особенно среди любителей активного и экологического туризма.

Из регионов, демонстрирующих устойчивый рост туристического интереса, выделяются Свердловская и Челябинская области. С начала 2024 г. в стране действует новая форма налогообложения туристических услуг. Введенный налог заменил курортный сбор и теперь охватывает 55 субъектов Российской Федерации. Ставка составляет 1 % от расходов на проживание, при этом минимальный размер равняется 100 руб. в сутки. В дальнейшем предусмотрено поэтапное повышение ставки: ежегодно на 1 % вплоть до 2029 г., когда она достигнет предельного уровня в 5%. Сами участники отрасли считают, что подобное нововведение не окажет критического влияния на количество туристов. Основное внимание будет сосредоточено на том, насколько эффективно будут использоваться поступившие средства. Планируется, что налог станет инструментом развития: деньги предполагается направлять на благоустройство, модернизацию инфраструктуры и расширение туристического сервиса в регионах [2, с. 78]. Введение туристического налога в России в 2025 г. может повлиять на отрасль неоднозначно. С одной стороны, рост затрат на поездки способен снизить активность у путешественников с ограниченным бюджетом, что для некоторых регионов может означать снижение туристического оборота. С другой – правильно направленные налоговые поступления способны послужить стимулом для улучшения условий отдыха: речь идет о развитии инфраструктуры, внедрении современных сервисов и поддержке местных инициатив. Это повышает интерес к внутреннему туризму в долгосрочной перспективе. В ответ на этот тренд растет популярность комфортабельных и экологичных решений в строительстве, и модульные дома из фанеры становятся ключевым элементом в создании устойчивых турбаз с условиями, соответствующими высочайшим запросам туристов. Модульные дома для строительства из фанеры – это идеальное решение для создания экологически чистых объектов на территории туркомплексов. Такие дома могут быть установлены в самых удаленных уголках природы, обеспечивая комфортный отдых без ущерба для окружающей среды. Преимущества фанеры как строительного материала заключаются в ее устойчивости к внешним воздействиям, легкости и простоте сборки. Комплексное благоустройство с применением модульных домов из фанеры позволяет туристам наслаждаться комфортом, не нанося ущерба экосистемам.

В 2025 году это будет востребовано среди любителей активного отдыха, а также тех, кто ценит комфорт и экологичность. Кроме того, поддержка экотуризма и экологических решений в строительстве активно развивается на федеральном уровне, что дает дополнительные стимулы для инвестирования в строительство таких объектов. Таким образом, модульные дома из фанеры могут стать основным трендом в гостиничной отрасли, привлекая туристов, желающих отдыхать в комфорте без вреда для природы.

На формирование внутреннего туристического спроса также влияют другие важные обстоятельства. Ограничения на выезд за рубеж, связанные с международной обстановкой, способствуют тому, что все больше россиян предпочитают отдыхать в пределах страны [5, с. 20]. Вместе с этим усиливается интерес к экологически ориентированному туризму и путешествиям по менее изученным маршрутам, что открывает новые возможности для бизнеса в регионах. В настоящее время в ряде популярных направлений, включая Сочи и Анапу, ведется строительство современных гостиничных комплексов. Одновременно развивается и формат комфортного природного отдыха – глэмпинг, который становится более востребованным в Европейской части России и за Уралом: в Республике Алтай, на Чукотке и в Тыве. В Карелии, например, рыбалка остается одним из главных увлечений гостей региона и уверенно сохраняет популярность. Специалисты в области туризма выделяют культурное направление как одно из наиболее перспективных для дальнейшего развития [4, с. 184]. Интерес к этническим традициям народов, проживающих на территории России и соседних государств, таких как Казахстан, Беларусь, Абхазия, Грузия и др., постепенно возрастает. В то же время остается актуальной задача повышения качества сервиса в регионах, обладающих значительным туристическим потенциалом, но пока не полностью удовлетворяющих ожидания путешественников. Как отмечают участники рынка, в отечественных курортных зонах стремительно развивается аренда жилья и автотранспорта. Появление специализированных агентств, предлагающих недвижимость в краткосрочную аренду, изменило облик сферы отдыха. Так, например, в Геленджике цены на жилье выросли многократно: если еще несколько лет назад квартиру можно было приобрести за 3 млн руб., то сегодня аналогичный объект может стоить уже около 15 млн.

Внимание к туристическим локациям в Сибири также усиливается. Крупные структуры, включая Сбербанк, начали инвестировать в развитие таких мест, как Шерегеш и Республика Алтай [3, с. 149]. Наиболее комфортные гостиничные номера, несмотря на их стоимость, пользуются высоким спросом, особенно в сезон. Отдельного упоминания заслуживают Дальний Восток и арктические регионы. Поток путешественников на Камчатку и Чукотку заметно увеличился, однако инфраструктура в этих районах не в полной мере соответствует требованиям к размещению: ощущается дефицит современных гостиниц и арендного жилья, способного обеспечить должный уровень комфорта для гостей.

При рассмотрении перспектив туристического сезона 2025 г. важным фактором остается авария в Керченском проливе, произошедшая 15 декабря. В результате столкновения двух танкеров произошел значительный разлив мазута, последствия которого приобрели характер серьезного экологического бедствия. Масштабы случившегося позволяют говорить о чрезвычайной серьезности инцидента. Очистительные работы в настоящее время ведутся при участии госструктур, добровольческих объединений и местного населения. Среди пострадавших территорий – прибрежные участки Анапы, включая пляжные зоны, а также морская флора и фауна. Загрязнение отразилось на состоянии популяций птиц, морских млекопитающих и беспозвоночных, что может наложить отпечаток на туристическую привлекательность региона в ближайшие месяцы. При ограничении доступа к воде и снижении качества сервисов, завязанных на рыболовство и использование даров моря,

вероятно уменьшение интереса со стороны путешественников. Вместе с тем сохраняется временной задел для проведения мер по ликвидации последствий аварии. Итоги этих действий во многом определяют, сохранится ли интерес к региону у потенциальных туристов. При недостаточной динамике восстановления высока вероятность перераспределения потока отдыхающих в пользу других направлений.

Таким образом, можно сделать выводы о том, что происходит активное перераспределение туристических потоков с южных направлений на север, Дальний Восток и в центральные регионы страны. Такие обстоятельства могут сказаться на уровне доходов в сфере туризма, который имеет большое значение для местной экономики. Существенно возрастает нагрузка на предпринимателей, работающих в курортной индустрии. С другой стороны, увеличивается нагрузка на экологию в «новых» туристических регионах, что требует особого внимания со стороны как властей, так и представителей местного бизнеса.

Литература

1. Алексеев, И.Д. Развитие туризма в России в условиях санкционного давления / И.Д. Алексеев // Институты и механизмы инновационного развития: мировой опыт и российская практика : сборник статей 13-й Международной научно-практической конференции. – Курск, 2023. – С. 24–27.
2. Бикезина, Т.В. Проблемы и перспективы инвестиций в индустрию туризма в Арктике / Т.В. Бикезина, Ю.Е. Семенова // Мировое историко-культурное наследие Арктики : тезисы международной научно-практической конференции. – СПб., 2023. – С. 77–79.
3. Грибановская, С.В. Социо-эколого-экономическая система и процесс управления ею в территориальном развитии Арктики / С.В. Грибановская, Ю.Е. Семенова, А.Ю. Панова // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – № 4(118). – С. 148–151.
4. Курочкина, А.А. Проблемы и возможности развития туризма в Арктике / А.А. Курочкина, Ю.Е. Семенова, О.В. Лукина // Глобальный научный потенциал. – 2023. – № 1(142). – С. 183–185.
5. Курочкина, А.А. Методические подходы к оценке туристской инвестиционной привлекательности арктических регионов России / А.А. Курочкина, Ю.Е. Семенова, Е.Н. Островская // Экономика и управление. – 2023. – Т. 29. – № 1. – С. 19–26.
6. Турэксперт рассказал о росте интереса к экотуризму в России // Парламентская газета : официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.pnp.ru/social/turekspert-rasskazal-o-roste-interesa-k-ekoturizmu-v-rossii.html>.

References

1. Alekseev, I.D. Razvitie turizma v Rossii v usloviakh sanktsionnogo davleniia / I.D. Alekseev // Instituty i mekhanizmy innovatsionnogo razvitiia: mirovoi opyt i rossiiskaia praktika : sbornik statei 13-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – Kursk, 2023. – S. 24–27.
2. Bikezina, T.V. Problemy i perspektivy investitsii v industriiu turizma v Arktike / T.V. Bikezina, Iu.E. Semenova // Mirovye istoriko-kulturnoe nasledie Arktiki : tezisy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – SPb., 2023. – S. 77–79.
3. Gribovskaiia, S.V. Sotsio-ekologo-ekonomicheskaiia sistema i protsess upravleniia eiu v territorialnom razviti Arktiki / S.V. Gribovskaiia, Iu.E. Semenova, A.Iu. Panova // Nauka i biznes: puti razvitiia. – 2021. – № 4(118). – S. 148–151.

4. Kurochkina, A.A. Problemy i vozmozhnosti razvitiia turizma v Arktike / A.A. Kurochkina, Iu.E. Semenova, O.V. Lukina // Globalnyi nauchnyi potencial. – 2023. – № 1(142). – S. 183–185.
5. Kurochkina, A.A. Metodicheskie podkhody k otsenke turistskoi investitsionnoi privlekatelnosti arkticheskikh regionov Rossii / A.A. Kurochkina, Iu.E. Semenova, E.N. Ostrovskaia // Ekonomika i upravlenie. – 2023. – T. 29. – № 1. – S. 19–26.
6. Turekspert rasskazal o roste interesa k ekoturizmu v Rossii // Parlamentskaia gazeta : ofitsialnyi sait [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.pnp.ru/social/turekspert-rasskazal-o-roste-interesa-k-ekoturizmu-v-rossii.html>.

Formation and Main Trends in the Development of the Eco-Tourism Market in the Russian Federation

Yu.E. Semenova, Alhayadzhne Mohammad Adnan Mohamad

*Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg (Russia)*

Key words and phrases: tourism; ecological tourism; natural heritage; domestic tourism.

Abstract. In recent years, interest in ecotourism has increased significantly from both Russian and international audiences. An increased awareness of environmental issues, the need for more sustainable forms of recreation, and the desire to see places of the natural beauty contribute to the growing popularity of this type of tourism. The purpose of the article is to consider the main trends in the development of eco-tourism in Russia. The hypothesis of the study is that ecotourism contributes not only to improving the environment, but also supports local communities by creating new jobs and developing the local economy. The main research methods in the article are the analysis of scientific literature, methods of management theory and theory of organization. Based on the results of the study, the authors concluded that there is a significant change in the directions of tourist flows and the northern regions of Russia, small towns and unique natural sites are of increasing interest to tourists.

© Ю.Е. Семенова, Альхаджне Мохаммад Аднан Мохамад, 2025

List of Authors

Лapidус А.А. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: lapidus58@mail.ru

Lapidus A.A. – Doctor of Engineering, Professor, Head of Department of Technology and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: lapidus58@mail.ru

Кротов А.Е. – кандидат экономических наук, доцент кафедры организации строительства и управления недвижимостью Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: KrotovAE@mgsu.ru

Krotov A.E. – Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Department of Construction Organization and Real Estate Management, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: KrotovAE@mgsu.ru

Субботина С.Д. – лаборант Научно-образовательного центра «Конструкции, технологии и организация строительства» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: SubbotinaSD@mgsu.ru

Subbotina S.D. – Laboratory Assistant, Laboratory of Organizational and Technological Systems for Using Artificial Intelligence in Construction (OTS), National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: SubbotinaSD@mgsu.ru

Овечкин К.М. – магистрант Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург (Россия), e-mail: k-ovechkin@list.ru

Ovechkin K.M. – Master's Student, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg (Russia), e-mail: k-ovechkin@list.ru

Зверева О.М. – кандидат технических наук, доцент кафедры информационного моделирования в строительстве Института строительства и архитектуры Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург (Россия), e-mail: O.M.Zvereva@urfu.ru

Zvereva O.M. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Information Modeling in Construction, Institute of Construction and Architecture, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg (Russia), e-mail: O.M.Zvereva@urfu.ru

Рудских В.А. – ассистент кафедры автомобильных дорог и городских сооружений Сибирского федерального университета, г. Красноярск (Россия), e-mail: v@rudskikh.ru

Rudskikh V.A. – Assistant, Department of Highways and Urban Structures, Siberian Federal State Educational Institution of Higher Education, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: v@rudskikh.ru

Холодов С.П. – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильных дорог и городских сооружений Сибирского федерального университета, г. Красноярск (Россия), e-mail: holodovsp@mail.ru

Kholodov S.P. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Associate Professor, Department of Highways and Urban Structures, Siberian Federal State Educational Institution of Higher Education, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: holodovsp@mail.ru

Шаповалов А.Д. – студент Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск (Россия), e-mail: shapovalovartem55@gmail.com

Shapovalov A.D. – Student, Civil Engineering Institute, Siberian Federal State Educational Institution of Higher Education, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: shapovalovartem55@gmail.com

Плоп Д.А. – студент Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск (Россия), e-mail: krasnoyarsk.plop@gmail.com

Plop D.A. – Student, Civil Engineering Institute, Siberian Federal State Educational Institution of Higher Education, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: krasnoyarsk.plop@gmail.com

Заварзин Н.Ю. – аспирант Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва (Россия), e-mail: nike.zavar@yandex.ru

Zavarzin N.Yu. – Postgraduate Student, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow (Russia), e-mail: nike.zavar@yandex.ru

Зубарев К.П. – кандидат технических наук, доцент, 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, 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, Associate Professor of the Department of General and Applied Physics, Associate Professor, Department of Computer Science and Applied Mathematics, National Research Moscow State University of Civil Engineering; Senior Researcher, Laboratory of Building Thermal Physics, Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; Associate Professor, Department of Construction Technology and Structural Materials, Leading Researcher, Scientific Center of Engineering and Construction Technologies of the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow (Russia), e-mail: zubarevkill93@mail.ru

Баулин А.В. – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры испытаний сооружений Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: BaulinAV@mgsu.ru

Baulin A.V. – Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Associate Professor, Department of Testing of Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: BaulinAV@mgsu.ru

Анисимов А.А. – аспирант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: AnisimovAA@mgsu.ru

Anisimov A.A. – Postgraduate Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: AnisimovAA@mgsu.ru

Лоткин В.С. – аспирант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: LotkinVS@mgsu.ru

Lotkin V.S. – Postgraduate Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: LotkinVS@mgsu.ru

Говоруха П.А. – кандидат технических наук, доцент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: GovoruhaPA@mgsu.ru

Govorukha P.A. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: GovoruhaPA@mgsu.ru

Равочкин Д.В. – магистрант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, Москва (Россия), e-mail: ravochkindv@gmail.com

Ravochkin D.V. – Master's Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: ravochkindv@gmail.com

Снегирев И.А. – магистрант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, Москва (Россия), e-mail: Snegirev_2001@bk.ru

Snegirev I.A. – Master's Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: Snegirev_2001@bk.ru

Забелина О.Б. – кандидат экономических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: kolya-matevosyan@mail.ru

Zabelina O.B. – 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: kolya-matevosyan@mail.ru

Матевосян К.А. – магистр Института промышленного и гражданского строительства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: kolya-matevosyan@mail.ru

Matevosyan K.A. – Master, Institute of Industrial and Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: kolya-matevosyan@mail.ru

Забелина О.Б. – кандидат экономических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: zacharmkoyan@yandex.ru

Мкоян З.С. – магистр Института промышленного и гражданского строительства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: zacharmkoyan@yandex.ru

Mkoyan Z.S. – Master, Institute of Industrial and Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: zacharmkoyan@yandex.ru

Кулиш Ю.А. – магистр Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: rudik-com85@mail.ru

Kulish Yu.A. – Master, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: rudik-com85@mail.ru

Усадский Д.Г. – кандидат технических наук, доцент кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: usadsky@list.ru

Usadsky D.G. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: usadsky@list.ru

Лепилов В.И. – кандидат технических наук, доцент кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: ilichv7@gmail.com

Lepilov V.I. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: ilichv7@gmail.com

Преснов О.М. – кандидат технических наук, доцент кафедры строительства автомобильных дорог и городских сооружений Сибирского федерального университета, г. Красноярск (Россия), e-mail: presn995@mail.ru,

Presnov O.M. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Construction of Highways and Urban Structures, Siberian Federal State Educational Institution of Higher Education, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: presn995@mail.ru

Кулеба А.С. – студент Красноярского института железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск (Россия), e-mail: kuleba.2001@mail.ru

Kuleba A.S. – Student, Krasnoyarsk Rail Transport Institute, Branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: kuleba.2001@mail.ru

Волков А.П. – студент Красноярского института железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск (Россия), e-mail: Andrvolk8@yandex.ru

Volkov A.P. – Student, Krasnoyarsk Rail Transport Institute, Branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: Andrvolk8@yandex.ru

Хлыстов Д.И. – студент Красноярского института железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск (Россия), e-mail: danilchlystov@mail.ru

Khlystov D.I. – Student, Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: danilchlystov@mail.ru

Шестерикова Я.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: jana.shesterikova@yandex.ru

Shesterikova Y.V. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Technology and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: jana.shesterikova@yandex.ru

Андреианов В.Н. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: vasi.shetinin@yandex.ru

Andrianov V.N. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: vasi.shetinin@yandex.ru

Клеев Д.Л. – аспирант Московского финансово-юридического университета МФЮА, г. Москва (Россия), e-mail: tennisbox@mail.ru

Kleyev D.L. – Postgraduate Student, Moscow University of Finance and Law, Moscow (Russia), e-mail: tennisbox@mail.ru

Кочеткова О.А. – кандидат педагогических наук, доцент Московского финансово-юридического университета МФЮА, г. Москва (Россия), e-mail: tennisbox@mail.ru

Kochetkova O.A. – Candidate of Science (Education), Associate Professor, Moscow University of Finance and Law, Moscow (Russia), e-mail: tennisbox@mail.ru

Бурмейстер М.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетических систем Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), e-mail: BurmeysterMV@mpei.ru

Burmeyster M.V. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Electric Power Systems, National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow (Russia), e-mail: BurmeysterMV@mpei.ru

Борис П.С. – магистрант Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), e-mail: BorisPS@mpei.ru

Boris P.S. – Master’s Student, National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow (Russia), e-mail: BorisPS@mpei.ru

Нестеров М.Д. – студент Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), e-mail: NesterovMD@mpei.ru

Nesterov M.D. – Student, National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow (Russia), e-mail: NesterovMD@mpei.ru

Маленкова Е.А. – магистрант Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), e-mail: MalenkovaYA@mpei.ru

Malenkova E.A. – Master’s Student, National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow (Russia), e-mail: MalenkovaYA@mpei.ru

Хоркина А.А. – магистрант Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), e-mail: KhorkinaAA@mpei.ru

Khorkina A.A. – Master’s Student, National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow (Russia), e-mail: KhorkinaAA@mpei.ru

Ли Синь – кандидат философских наук, профессор кафедры руссиеведения Хэйхэского университета, г. Хэйхэ (Китай), e-mail: ilia9980@mail.ru

Li Xin – Candidate of Science (Philosophy), Professor, Department of Russian Studies, Heihe University, Heihe (China), e-mail: ilia9980@mail.ru

Цзян Ин – кандидат филологических наук, доцент кафедры русского языка Хэйхэского университета, г. Хэйхэ (Китай), e-mail: jy83626@163.com

Jiang Ying – Candidate of Science (Philology), Associate Professor, Russian Language Department, Heihe University, Heihe (China), e-mail: jy83626@163.com

Силун – магистрант кафедры русского языка, коммуникации и журналистики Амурского государственного университета, г. Благовещенск (Россия), e-mail: shuluun0513@gmail.com

Xilong – Master's Student, Department of Russian Language, Communication, and Journalism, Blagoveshchensk (Russia), e-mail: shuluun0513@gmail.com

Волошенко Д.Д. – студент Красноярского института железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск (Россия), e-mail: voloshenko.80@list.ru

Voloshchenko D.D. – Student, Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk (Russia), e-mail: voloshenko.80@list.ru

Зайцева И.В. – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики и физики Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург (Россия), e-mail: rina.zaitseva.stv@yandex.ru

Zaitseva I.V. – Candidate of Science (Physics and Mathematics), Associate Professor, Head of Department of Higher Mathematics and Physics, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg (Russia), e-mail: rina.zaitseva.stv@yandex.ru

Захаров В.В. – кандидат физико-математических наук, доцент, 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, Department of Informatics, Stavropol State Agrarian University, Stavropol (Russia), e-mail: vvzakharov@mail.ru

Кущев П.М. – начальник кафедры огневой подготовки Ставропольского филиала Краснодарского университета Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Ставрополь (Россия), e-mail: kushchev70@mail.ru

Kushchev P.M. – Head, Department of Fire Training, Stavropol Branch of Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Stavropol (Russia), e-mail: kushchev70@mail.ru

Скворцова О.И. – преподаватель физико-технического факультета Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь (Россия), e-mail: olga-skvorcova2015@yandex.ru

Skvorcova O.I. – Associate Professor, Faculty of Physics and Technology, North Caucasus Federal University, Stavropol (Russia), e-mail: olga-skvorcova2015@yandex.ru

Козлов К.В. – аспирант Российского технологического университета (МИРЭА); эксперт (инспекция и сертификация) ООО «СИБУР», г. Москва (Россия), e-mail: kozlovkvs@yandex.ru

Kozlov K.V. – Postgraduate Student, Russian Technological University (MIREA); Expert (Inspection and Certification), SIBUR, Moscow (Russia), e-mail: kozlovkvs@yandex.ru

Манин А.Н. – техник Московского авиационного института (национального исследовательского университета), г. Москва (Россия), e-mail: andreym012@gmail.com

Manin A.N. – Technician, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow (Russia), e-mail: andreym012@gmail.com

Вельш Д.И. – техник Российского технологического университета (МИРЭА), г. Москва (Россия), e-mail: danik.lp2016@yandex.ru

Velsh D.I. – Technician, Russian Technological University (MIREA), Moscow (Russia), e-mail: danik.lp2016@yandex.ru

Горшкова А.П. – техник перспективных разработок Московского авиационного института (национального исследовательского университета), г. Москва (Россия), e-mail: alyaayg@yandex.ru

Gorshkova A.P. – Technician of Advanced Developments, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow (Russia), e-mail: alyaayg@yandex.ru

Коданев В.Л. – кандидат технических наук, доцент кафедры КБ-1 «Защита информации» Российского технологического университета (МИРЭА), г. Москва (Россия), e-mail: kod_v@mail.ru.ru

Kodanev V.L. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department KB-1 “Information Security”, Russian Technological University (MIREA), Moscow (Russia), e-mail: kod_v@mail.ru.ru

Машенцева Н.Г. – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической безопасности и качества Тамбовского государственного технического университета, г. Тамбов (Россия), e-mail: mashentseva.nadezhda@yandex.ru

Mashentseva N.G. – Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Department of Economic Security and Quality, Tambov State Technical University, Tambov (Russia), e-mail: mashentseva.nadezhda@yandex.ru

Семенова Ю.Е. – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономики и управления Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург (Россия), e-mail: mohamedalhayajneh@gmail.com

Semenova Yu.E. – Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Head of Department of Economics and Management, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg (Russia), e-mail: mohamedalhayajneh@gmail.com

Альхаджне Мохаммад Аднан Мохаммад – аспирант направления подготовки «Региональная и отраслевая экономика» Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург (Россия), e-mail: mohamedalhayajneh@gmail.com

Alhayajneh Mohammad Adnan Mohamad – Postgraduate Student in Regional and Sectoral Economics, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg (Russia), e-mail: mohamedalhayajneh@gmail.com

FOR NOTES

COMPONENTS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROGRESS
№ 5(107) 2025
SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

Manuscript approved for print 20.05.25
Format 60.84/8
Conventional printed sheets 19.07
Published pages 9.35
200 printed copies

16+

Printed by Zonari Leisure LTD. Paphos