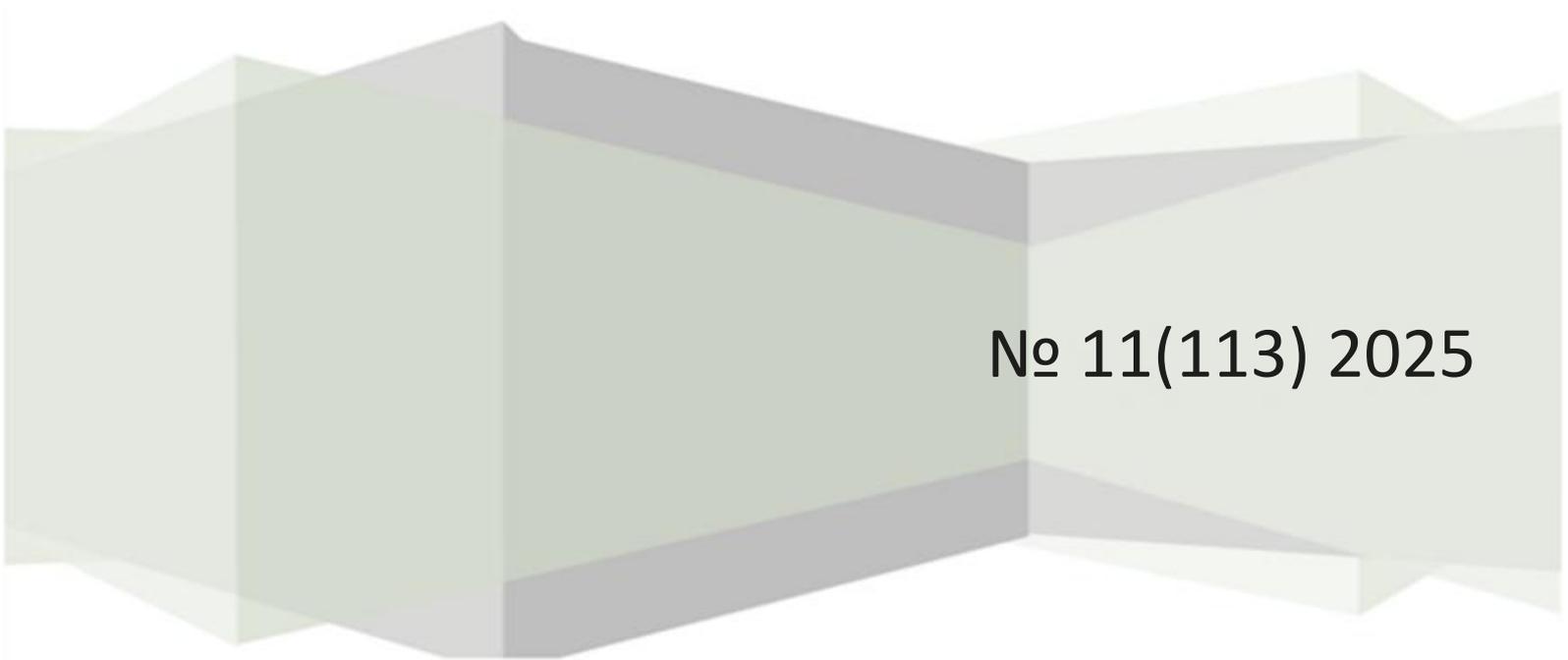


ISSN 1997-9347

Components of Scientific and Technological Progress

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL



№ 11(113) 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:

Marina Karina

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)

Pukharenko Yury 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

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

- Жупанов А.И., Шайкин Д.В., Коноваленко А.А., Лепилов В.И.** Обзор систем вентиляции и методы их совершенствования..... 8
- Ондар Ю.Ч., Кысыыдак А.С., Борбак-Оол Н.С., Соян Б.Э.** Анализ проблем и перспективы развития электроэнергетики Республики Тыва. К 100-летию тувинской энергетики..... 13

Технология и организация строительства

- Абрамов И.Л., Петракова А.Д.** Организационно-технологические решения в строительстве промышленных зданий нефтеперерабатывающего завода в условиях городской среды (на примере г. Москвы)..... 20
- Забелина О.Б., Ванзяк И.С.** Разработка организационно-технологических решений при строительстве монолитных зданий в стесненных условиях городской застройки 29
- Кулаков К.Ю., Айбазов А.Т.** Изучение ключевых аспектов базового эколого-ориентированного подхода в сфере архитектуры..... 35
- Румянцева А.Д., Абрамов И.Л.** Практические подходы к снижению трудоемкости и ресурсоемкости при реконструкции образовательных учреждений..... 42
- Хаев Т.Э., Позняк А.А.** Эволюция опалубочных систем и их влияние на производительность труда при строительстве монолитных конструкций жилых зданий..... 51

Архитектура зданий и сооружений.

Творческие концепции архитектурной деятельности

- Смирнов А.А., Тараско Е.Н.** Поиски своеобразия в архитектуре жилых кварталов 1970-х гг. на Юго-Западе Ленинграда 57

Управление жизненным циклом объектов строительства

Гулякин Д.В., Ляшова А.А., Гончаровская В.П., Иванчук В.Р. Комплексный анализ эффективности внедрения модульного домостроения в современных условиях	67
Ogidan O.T., Petrochenko M.V. Data-Driven Lifecycle Management for Construction in Extreme Environments.....	71
Razyarov R.V., Glazachev A.O., Naumov A.E., Pavlov S.Yu. Development of an AI ChatBot for Recording Deviations During Road Construction Within the Object Life Cycle	78

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

Бурмейстер М.В., Веренцов Л.А., Нестеров М.Д., Хоркина А.А. Обзор математических моделей силовых преобразователей.....	85
Хоркина А.А., Бурмейстер М.В., Стаценко Д.В., Маленкова Е.А. Определение настроечных коэффициентов демпфирования колебаний виртуального синхронного генератора.....	91

Мировая экономика

Ли Тунтун, Друзяка А.В. Исследование путей развития российско-китайского культурного сотрудничества на современном Дальнем Востоке	98
---	----

Менеджмент

Егорова М.С., Дроздова И.В., Зеленина В.А. Разработка системы контроля сроков реализации строительных проектов в условиях цифровой трансформации строительства	105
Суханов Е.В. Методологическое понимание социально-экономических условий охраны и безопасности труда в современной России	110

Contents

Heating, Ventilation, Air Conditioning, Gas Supply and Lighting

Zhupanov A.I., Shaikin D.V., Konovalenko A.A., Lepilov V.I. Overview of Ventilation Systems and Methods for Improving Them	8
Ondar Yu.Ch., Kysyydak A.S., Borbak-Ool N.S., Soyán B.E. Analysis of Problems and Prospects for the Development of Electric Power in the Republic of Tyva. On the 100th Anniversary of the Tuvan Energy Sector.....	13

Construction technology and management

Abramov I.L., Petrakova A.D. Organizational and Technological Solutions in the Construction of Industrial Buildings of an Oil Refinery in an Urban Environment (Using the Example of Moscow)	20
Zabelina O.B., Vanzyak I.S. Development of Organizational and Technological Solutions for the Construction of Monolithic Buildings in Cramped Urban Environments.....	29
Kulakov K.Yu., Aybazov A.T. Exploring Key Aspects of a Basic Ecologically Oriented Approach in the Field of Architecture	35
Rumyantseva A.D., Abramov I.L. Practical Approaches to Reducing Labor Intensity and Resource Consumption in the Reconstruction of Educational Institutions	42
Khaev T.E., Poznyak A.A. The Evolution of Formwork Systems and Their Impact on Labor Productivity in the Construction of Monolithic Residential Buildings.....	51

Architecture of buildings and structures.

Creative concepts of architectural activity

Smirnov A.A., Tarasko E.N. Searching for Originality in the Architecture of Residential Areas in the 1970s in the South-West of Leningrad	57
--	----

Life Cycle Management of Construction Objects

- Gulyakin D.V., Lyashova A.A., Goncharovskaya V.P., Ivanchuk V.R.** A Comprehensive Analysis of the Efficiency of Implementing Modular Housing Construction in Modern Conditions 67
- Огидан О.Т., Петроченко М.В.** Управление жизненным циклом объектов строительства на основе данных в экстремальных условиях..... 71
- Разяпов Р.В., Глазачев А.О., Наумов А.Е., Павлов С.Ю.** Разработка ИИ чат-бота для фиксации отклонений при строительстве автомобильных дорог в рамках жизненного цикла объекта 78

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

- Burmeister M.V., Verentsov L.A., Nesterov M.D., Khorkina A.A.** Review of Mathematical Models of Power Converters 85
- Khorkina A.A., Burmeister M.V., Statsenko D.V., Malenkova E.A.** Determination of Tuning Coefficients of a Virtual Synchronous Generator 91

World Economy

- Li Tongtong, Druzyaka A.V.** Research on the Pathways for Developing Sino-Russian Cultural Cooperation in the Modern Far East 98

Management

- Egorova M.S., Drozdova I.V., Zelenina V.A.** Development of a System for Monitoring the Dates of Construction Projects in the Context of Digital Construction 105
- Sukhanov E.V.** Methodological Understanding of Socio-Economic Conditions of Occupational Safety and Health in Modern Russia 110

УДК 697.97: 004.94

Обзор систем вентиляции и методы их совершенствования

А.И. Жупанов, Д.В. Шайкин, А.А. Коноваленко,
В.И. Лепилов

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

Ключевые слова и фразы: ВМ; HEPA/ULPA фильтры; автоматизированные системы управления; вентиляция; рекуперация тепла; энергоэффективность.

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к модернизации систем вентиляции промышленных объектов. Задачей исследования является выявление недостатков устаревших систем и разработка эффективных решений для их совершенствования. Гипотеза заключается в предположении, что внедрение комплекса мер значительно повышает эффективность и надежность вентиляционных систем. Методы включают комплексную диагностику существующих систем, сравнительный анализ типов рекуператоров, а также оценку эффективности систем VAV/CAV, ЕС-двигателей, фильтров HEPA/ULPA и ВМ-моделирования. Результаты показали преимущество роторных рекуператоров и рекуператоров с тепловыми трубами (тепловая эффективность 75–85 %), высокую надежность и долговечность последних, а также значительные преимущества ВМ и АСУ при проектировании и эксплуатации. Разработан поэтапный алгоритм реконструкции.

Введение

В современном промышленном производстве, где точность, безопасность и эффективность стоят на первом месте, системы вентиляции играют важную роль, и от их корректной работы зависит охрана труда, производственная безопасность персонала, качество выпускаемой продукции и экономическая эффективность предприятия в целом. Недостаточное удаление вредных веществ, поддержание неоптимального микроклимата и избыточный воздухообмен могут привести к профессиональным заболеваниям, снижению производительности труда, бракованным изделиям, порче дорогостоящего оборудования и увеличению эксплуатационных расходов. Поэтому для налаживания эффективной работы системы вентиляции необходимо вначале проанализировать основные недостатки, присущие устаревшим системам вентиляции, очертить критические последствия неэф-

фективной вентиляции, применить современные подходы, технологии и решения для ее модернизации. Вопросы по системам вентиляции и промышленным установкам освещены в литературе [1–5].

Анализ и оценка существующих систем вентиляции необходимы для понимания текущего состояния системы вентиляции, что является фундаментом для всех последующих шагов, позволяя выявить истинные потребности объекта и избежать дорогостоящих ошибок. Комплексная оценка эффективности системы вентиляции определит ее способность поддерживать заданные параметры микроклимата и удалять вредные вещества с минимальными затратами. Для оценки эффективности используют такие методы, как инструментальный, метод измерения аэродинамических параметров, метод контроля параметров микроклимата, метод определения концентрации загрязняющих веществ, метод телевизионного контроля и другие.

Анализ и оценка существующих систем вентиляции выявляют «узкие места» и зоны для их улучшения, а на основе полученных данных проводится детализация проблемных участков: картографирование зон с отклонениями; локализация источников загрязнения; детальная оценка состояния компонентов системы; оценка герметичности, состояния внутренней поверхности, качества теплоизоляции воздуховодов; проверка степени загрязнения, эффективности фильтрации, сроков службы фильтров; оценка состояния лопаток, подшипников, электродвигателей, уровня шума и вибрации вентиляторов; анализ эффективности использования энергии [5].

Принципы проектирования и системы вентиляции

Принципы проектирования эффективных систем вентиляции основываются на комплексном подходе, учитывающем специфику объекта и современные технологические достижения. Для этого производят зонирование объекта. Это позволит более точно и эффективно управлять воздушными потоками, направляя очищенный воздух туда, где он наиболее необходим, и удаляя загрязнители из зон их образования. Также при проектировании применяют систему местной вытяжной вентиляции (**МВВ**). Она является наиболее эффективным методом борьбы с загрязняющими веществами. Проектирование эффективных систем вентиляции также включает и применение общеобменной вентиляции, которая обеспечивает общий воздухообмен в помещении, поддерживая требуемые санитарно-гигиенические нормы. Системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла основаны на принципе передачи теплоты от удаляемого загрязненного воздуха к поступающему свежему. Это позволяет существенно снизить нагрузку на системы отопления, особенно в холодный период года.

На сегодняшний день применяются три основных типа рекуператоров, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, представленные в табл. 1.

Для достижения оптимального баланса между комфортом и энергосбережением в современных системах приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла используются два основных типа систем регулирования воздухообмена: **VAV** (*Variable Air Volume*) и **CAV** (*Constant Air Volume*). Системы VAV, или переменного объема воздуха, позволяют автоматически изменять подачу воздуха в зависимости от текущих параметров микроклимата – температуры, концентрации CO₂ и наличия людей. Такой подход обеспечивает значительную экономию энергии без ущерба для комфортных условий, делая их идеальным решением для помещений с динамичным режимом использования. В свою очередь, системы CAV при сочетании с частотным регулированием скорости вентиляторов могут

Таблица 1. Основные характеристики типов рекуператоров

Характеристика	Пластинчатый рекуператор	Роторный рекуператор	Рекуператор с тепловыми трубами
Принцип работы	Теплообмен через неподвижную пластинчатую матрицу	Теплообмен через вращающийся теплоноситель	Передача тепла через испарение и конденсацию рабочего тела в герметичных трубах
Тепловая эффективность	Средняя (60–75 %)	Высокая (75–85 %)	Высокая (70–80 %)
Разделение потоков	Полное, исключает перенос запахов и загрязнений	Частичное, возможна незначительная рециркуляция	Полное
Наличие движущихся частиц	Только вентиляторы	Ротор + вентиляторы	Только вентиляторы
Основные преимущества	Простота, надежность, гигиеничность	Высокая эффективность	Надежность, долговечность, высокая эффективность
Основные недостатки	Ниже эффективность, чем у роторных	Возможен перенос запахов, требует обслуживания	Более высокая стоимость

демонстрировать высокую энергоэффективность и надежность.

Современные тенденции развития вентиляционных систем направлены на повышение их производительности, надежности и энергоэффективности за счет внедрения передовых технологий. Ключевым элементом является применение энергоэффективного оборудования, в частности, вентиляторов с электронно-коммутируемыми двигателями и частотным регулированием, что позволяет динамически адаптировать производительность оборудования к фактической потребности и значительно снизить энергопотребление.

Для объектов с повышенными требованиями к чистоте воздуха используется высокоэффективная очистка воздуха с применением фильтров классов *HEPA* и *ULPA*, у которых эффективность задержания частиц превышает 99,97 %.

Интеллектуальные автоматизированные системы управления (**АСУ**) являются «мозгом» современной вентиляционной системы. Их функциональность включает мониторинг параметров среды, что позволяет осуществлять контроль в реальном времени. Системы диагностики и прогнозирования обеспечивают непрерывный сбор данных и анализ параметров работы оборудования, позволяя выявлять отклонения и прогнозировать возможные неисправности.

Технология *Building Information Modeling (BIM)* становится стандартом в современном проектировании и позволяет создавать детализированные трехмерные модели системы вентиляции, что помогает оптимизировать компоновку оборудования и трассировки воздуховодов.

Этапы реконструкции и модернизации систем

Эффективная реконструкция или модернизация существующих систем вентиляции требует системного подхода и последовательного выполнения следующих этапов.

1. *Разработка проекта реконструкции.* На основе проведенного анализа состояния

существующей системы и выбранных технологических решений разрабатывается детальный проект, включающий технические спецификации, расчеты и рабочие чертежи.

2. *Подбор оборудования.* Осуществляется выбор оптимального оборудования с учетом технических требований проекта, бюджетных ограничений и долгосрочной перспективы эксплуатации.

3. *Монтажные и пусконаладочные работы.* Качественный монтаж и точная настройка оборудования являются залогом бесперебойной и эффективной работы системы на протяжении всего срока службы.

4. *Обучение персонала.* Неотъемлемым этапом является обучение эксплуатационного персонала работе с новой системой, включая базовое обслуживание и понимание принципов ее функционирования. Это позволяет максимально реализовать потенциал внедренных технологий и обеспечить их долгосрочную эффективность.

Выводы

Внедрение современных технологий в системах вентиляции позволяет не только решать задачи обеспечения нормативного воздухообмена и качества воздуха, но и достигать значительной экономии энергетических ресурсов, повышая общую безопасность и экономическую эффективность различных объектов. Комплексный подход, включающий использование высокоэффективных рекуператоров, энергоэффективного оборудования, интеллектуальных систем управления и *ВИМ*-технологий, является ключевым фактором успеха для совершенствования системы вентиляции.

Литература

1. Волков, И.Е. Разработка программно-аппаратного комплекса мониторинга параметров микроклимата помещений / И.Е. Волков, М.В. Раскатова, П. Щеголев, Э.А. Челышев // *Components of Scientific and Technological Progress*. – 2023. – № 11(89). – С. 14–18.

2. Усадский, Д.Г. Исследование гидравлических сопротивлений в современных системах отопления / Д.Г. Усадский, К.А. Цибизова, Д.М. Бекларян // *Инженерный вестник Дона*. – 2018. – № 2(49). – С. 150.

3. 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. 8–13.

4. Мельников, Е.В. Эффективность тепловой изоляции трубопроводов систем теплоснабжения / Е.В. Мельников, А.В. Ковылин // *Перспективы науки*. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2023. – № 6(165). – С. 84–87.

5. Мельников, Е.В. Исследование материалов и процессов обогрева и теплоизоляции трубопроводов горячего и холодного водоснабжения, тепловых сетей, газопроводов / Е.В. Мельников, А.В. Ковылин // *Components of Scientific and Technological Progress*. – 2023. – № 4(82). – С. 31–35.

References

1. Volkov, I.E. Razrabotka programmno-apparatnogo kompleksa monitoringa parametrov mikroklimata pomeshchenii / I.E. Volkov, M.V. Raskatova, P. Shchegolev, E.A. Chelyshev // *Components of Scientific and Technological Progress*. – 2023. – № 11(89). – S. 14–18.

2. Usadskii, D.G. Issledovanie gidravlicheskiikh soprotivlenii v sovremennykh sistemakh otopeniia / D.G. Usadskii, K.A. Tcibizova, D.M. Beklarian // Inzhenernyi vestnik Dona. – 2018. – № 2(49). – S. 150.
3. 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. 8–13.
4. Melnikov, E.V. Effektivnost teplovoi izoliatcii truboprovodov sistem teplosnabzheniia / E.V. Melnikov, A.V. Kovylin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2023. – № 6(165). – S. 84–87.
5. Melnikov, E.V. Issledovanie materialov i protsessov obogreva i teploizoliatcii truboprovodov goriachego i kholodnogo vodosnabzheniia, teplovykh setei, gazoprovodov / E.V. Melnikov, A.V. Kovylin // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 4(82). – S. 31–35.

Overview of Ventilation Systems and Methods for Improving Them

A.I. Zhupanov, D.V. Shaykin, A.A. Konovalenko, V.I. Lepilov

*Volgograd State Technical University,
Volgograd (Russia)*

Key words and phrases: ventilation; heat recovery; energy efficiency; HEPA/ULPA filters; automated control systems; BIM.

Abstract. The article discusses modern approaches to the modernization of ventilation systems in industrial facilities. The objectives of the study are to identify the shortcomings of outdated systems and develop effective solutions for their improvement. The hypothesis is that the implementation of a set of measures significantly increases the efficiency and reliability of ventilation systems. The methods include a comprehensive diagnosis of existing systems, a comparative analysis of recuperator types, and an evaluation of the effectiveness of VAV/CAV systems, EC motors, HEPA/ULPA filters, and BIM modeling. The results showed the advantage of rotary recuperators and recuperators with heat pipes (thermal efficiency of 75–85 %), the high reliability and durability of the latter, as well as the significant advantages of BIM and ACS in design and operation. A step-by-step reconstruction algorithm has been developed.

© А.И. Жупанов, Д.В. Шайкин, А.А. Коноваленко, В.И. Лепилов, 2025

УДК 621.3.05

Анализ проблем и перспективы развития электроэнергетики Республики Тыва. К 100-летию тувинской энергетики

Ю.Ч. Ондар, А.С. Кысыдак, Н.С. Борбак-оол, Б.Э. Соян

*ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет»,
г. Кызыл (Россия)*

Ключевые слова и фразы: 100-летие энергетики; развитие энергосистемы; Республика Тыва; электропотребление; электроэнергетика; энергобезопасность.

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ текущего состояния и перспектив развития электроэнергетики Республики Тыва, целью которого является разработка научно обоснованных предложений по повышению ее эффективности и надежности. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ динамики электропотребления и мощностей за 2018–2022 гг., выявление системных проблем, прогнозирование потребления до 2029 г. и разработка рекомендаций по развитию инфраструктуры.

Методика исследования основана на системном подходе с применением сравнительного анализа, статистической обработки данных и прогнозного моделирования, опирающихся на официальные данные Минэнерго РФ и региональные программы. В ходе исследования были получены следующие результаты: установлен рост электропотребления на 32 млн кВт·ч с пиковым приростом 3,59 % в 2022 г., выявлены ключевые проблемы (износ оборудования до 65 %, ограниченность мощностей), разработан прогноз роста потребления до 2289 млн кВт·ч к 2029 г. и обоснована необходимость строительства новых ЛЭП и подстанций для интеграции в межрегиональную систему и повышения энергобезопасности региона.

Гипотеза: спрогнозировано повышение потребления электрической энергии и мощности на основании технических условий на технологическое присоединение энергопринимающих устройств потребителей к электроэнергетическим сетям. Представлена информация о необходимости строительства объектов электроэнергетики, которые будут обеспечивать повышение энергетической безопасности и эффективности работы республиканской энергосистемы.

В апреле 2025 г. Главой Республики Тыва издано распоряжение о рабочей группе по подготовке и проведению мероприятий, посвященных 100-летию создания тувинской энергетики, в состав которой, помимо членов правительства республики, вошли представители органов исполнительной и муниципальной власти, топливно-энергетического комплекса, научных, образовательных и общественных организаций [2].

Исследователи истории развития энергетики Республики Тыва предполагают, что электрификация в Туве начиналась еще в период Народной Республики Тыва (Тувинской Народной Республики, **ТНР**). 1 октября 1925 г. в городе Кызыле ТНР специалистами из Советского Союза введена в эксплуатацию первая электрическая станция, которая обеспечивала электроэнергией немногочисленные организации и правительственное здание ТНР [7].

При дальнейшем изучении истории энергетики из архива обнаружено, что данная электростанция, расположенная в столице Тувы, городе Кызыле по улице Кочетова, дом 27, где в настоящее время находится Национальная библиотека РТ имени А.С. Пушкина, открыта 7 ноября 1925 г. [3; 7].

Таким образом, в текущем году тувинская энергетика будет праздновать вековой юбилей своего развития. Благодаря развитию энергетики за 100 лет Тува превратилась в аграрно-индустриальный регион.

Данный юбилей является еще одним поводом для анализа функционирования электроэнергетики Республики Тыва, а также изучения перспективы ее развития.

С учетом исследований авторов данной темы в предыдущие годы возможно продолжение изучения развития электроэнергетики республики за 2018–2022 гг. на основе открытых источников.

Следует отметить, что тувинская электроэнергетическая система входит в Энергосистему Красноярского края и Республики Тыва. Управление энергосистемы Тувы обеспечивает Красноярское региональное диспетчерское управление, за которым закреплены территория Красноярского края и Республики Тыва [1].

Электросетевые организации, обеспечивающие передачу и распределение электроэнергии на территории Тувы и владеющие объектами сетевого хозяйства 110 кВ и выше, представлены Филиалом ПАО «Россети» – Хакасское предприятие магистральных электрических сетей Сибири (ПМЭС) – организацией, обеспечивающей управление Единой национальной (общероссийской) электросетью, – и АО «Россети Сибирь Тываэнерго» – предприятием, которое обеспечивает передачу и распределение электроэнергии по сетям 0,4–6(10)–35–110 кВ на территории республики [1].

Следует отметить, что Тувинская электроэнергетическая система связана с энергосистемами Республики Хакасии РФ и Монголии.

Кызылская ТЭЦ (ООО «Сибирская генерирующая компания») и дизельные электростанции являются электрогенерирующими мощностями Тувы.

Полностью исчерпанные мощности по производству и передаче электроэнергии являются главной проблемой экономики республики, которая уменьшает конкурентные преимущества региона для потенциальных инвесторов, планирующих организацию энергоемких производств.

На территории республики отсутствуют крупные потребители электрической энергии.

Динамика потребления электрической энергии и мощности энергосистемы Республики Тыва приведена в табл. 1 и на рис. 1, 2.

Проведенный анализ динамики электропотребления и среднегодовых темпов прироста электропотребления за период 2018–2022 гг. показывает, что суммарный прирост со-

Таблица 1. Динамика потребления электрической энергии и мощности энергосистемы Республики Тыва

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022
Потребление электрической энергии, млн кВт·ч	808	806	803	808	837
Годовой темп прироста, %	0,37	-0,25	-0,37	0,62	3,59
Доля потребления электрической энергии Республики Тыва в энергосистеме Красноярского края и Республики Тыва, %	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7
Максимум потребления мощности, МВт	162	154	156	160	159
Годовой темп прироста, %	5,19	-4,94	1,30	2,56	-0,63
Дата и время прохождения максимума потребления мощности (МСК), дд.мм чч.мм	31.12 14:00	08.01 14:00	31.12 15:00	31.12 14:00	31.12 14:00
Среднесуточная ТНВ, °С	-38,4	-30,6	-31,0	-29,1	-27,2
Потребление мощности (совмещенное) на час прохождения максимума энергосистемы Красноярского края и Республики Тыва, МВт	154	144	143	133	153
Доля потребления мощности Республики Тыва в энергосистеме Красноярского края и Республики Тыва, %	2,3	2,1	2,1	1,9	2,3
Число часов использования максимума потребления мощности, ч/год	4988	5234	5147	5053	5264

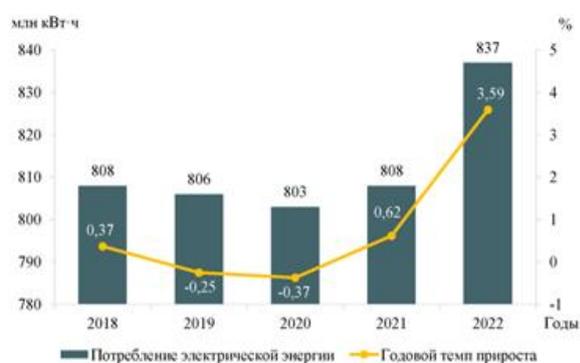


Рис. 1. Потребление электроэнергии и годовые темпы прироста

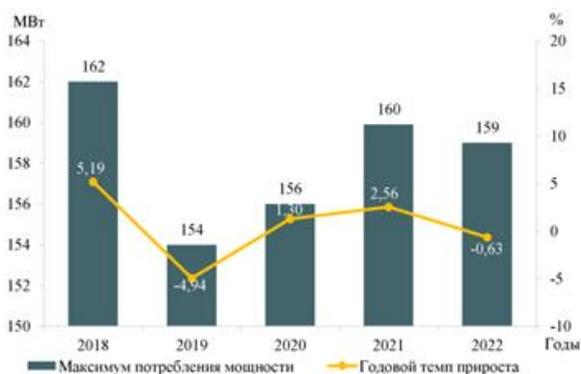


Рис. 2. Максимум потребления мощности и годовые темпы прироста

ставил 32 млн кВт·ч. (с 803 млн кВт·ч до 837 млн кВт·ч), при этом максимальный прирост (3,59 %) зафиксирован в 2022 г. В 2018 г., 2019 г. и 2020 г. потребление было примерно на одном уровне – 803–808 млн кВт·ч, увеличение произошло в 2022 г. до 837 млн кВт·ч. Наибольшее снижение зафиксировано в 2020 г. и составило 0,37 %, что объясняется спадом производства и влиянием пандемии коронавирусной инфекции.

За период 2018–2022 гг. максимальное потребление мощности увеличилось на 5 МВт и составило 159 МВт, что соответствует среднегодовому темпу прироста мощности 0,64 %.

Наибольший годовой прирост мощности составил 5,19 % в 2018 г., что обусловлено вариативностью уровня электропотребления и температурой окружающей среды.

Наибольшее годовое снижение мощности зафиксировано в 2019 г. и составило 4,94 %. Доля в максимальном потреблении мощности энергосистемы в 2022 г. не изменилась по

Таблица 2. Прогнозируемое потребление электроэнергии и мощности предприятий Тувы

№ п/п	Наименование инвестиционного проекта	Наименование заявителя	Ввод новой мощности, МВт	Напряжение, кВ	Год ввода	Центр питания
1	Ак-Сугский ГОК (ПС 220 кВ Туманная)	ООО «Голевская ГРК»	161,0	220	2024	ПС 220 кВ Туран
2	Комплексная застройка г. Кызыл	ГКУ Республики Тыва «ГСЗ»	32,57	110	2024	Новая ПС 110 кВ Эне-Сай
3	Комплекс по добыче полезных ископаемых	ООО «Лунсин»	24,0	110	2024	Новая ПС 110 кВ Лунсин
4	Комплекс по добыче металлических руд	ООО «Кара-Бельдир»	15,0	110	2024	Новая ПС 110 кВ Кара-Бельдир

Таблица 3. Прогнозируемое потребление электроэнергии республики

Наименование показателя	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Потребление электрической энергии, млн кВт·ч	899	908	1489	2023	2156	2286	2289
Абсолютный прирост потребления электрической энергии, млн кВт·ч	–	9	581	534	133	130	3
Годовой темп прироста, %	–	1,00	63,99	35,86	6,57	6,03	0,13
Доля потребления электрической энергии Красноярского края в энергосистеме Красноярского края и Республики Тыва, %	1,8	1,7	2,7	3,6	3,7	3,9	3,9

сравнению с первым годом ретроспективного периода и составила 2,3 %.

Разнонаправленные тенденции потребления предприятиями по добыче полезных ископаемых, разница температур наружного воздуха в период прохождения годовых максимумов потребления мощности и увеличение потребления в домашних хозяйствах и сфере услуг существенно повлияли на изменение потребления электрической энергии и мощности в течение 2018–2022 гг.

Проблемами функционирования электроэнергетического комплекса региона являются:

- снижение энергобезопасности и надежности электроснабжения потребителей;
- высокие степени загрузки центров питания 110–220 кВ и износ сетевого оборудования.

Основные направления развития энергетики Тувы следуют из анализа роста электропотребления энергии и мощности.

В табл. 2 представлено прогнозируемое потребление электроэнергии и мощности предприятий Тувы [1].

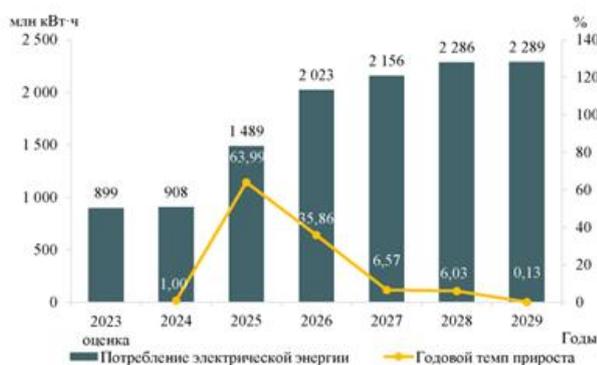
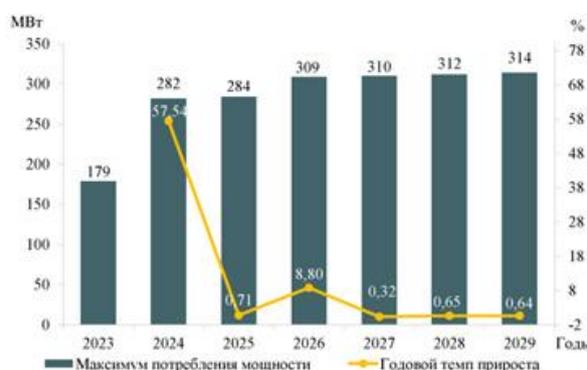
Прогнозируемое потребление электроэнергии республики представлено в табл. 3 [1].

Потребление электроэнергии прогнозируется на уровне 2289 млн кВт·ч со среднегодовым темпом прироста 15,46 %. Наибольший годовой прирост прогнозируется в 2025 г. и составит 581 млн кВт·ч, или 63,99 %. Наименьший годовой прирост потребления электрической энергии ожидается в 2029 г. и составит 3 млн кВт·ч, или 0,13 %.

Прогноз максимума потребления мощности Республики Тыва на период 2024–2029 гг.

Таблица 4. Прогноз максимума потребления мощности Республики Тыва на период до 2029 г.

Наименование показателя	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Максимум потребления мощности, МВт	179	282	284	309	310	312	314
Абсолютный прирост максимума потребления мощности, МВт	–	103	2	25	1	2	2
Годовой темп прироста, %	–	57,54	0,71	8,80	0,32	0,65	0,64
Число часов использования максимума потребления мощности, ч/год	5022	3220	5243	6547	6955	7327	7290

**Рис. 3.** Прогноз потребления электрической энергии и годовые темпы прироста**Рис. 4.** Прогноз максимума потребления мощности и годовые темпы прироста

представлен в табл. 4.

Изменение динамики потребления электрической энергии и мощности и годовые темпы прироста представлены на рис. 3 и 4 [1].

Максимум потребления мощности Республики Тыва к 2029 г. прогнозируется на уровне 314 МВт. Среднегодовой темп прироста составит 10,21 %.

Анализ показывает, что с учетом развития электроэнергетики Тувы и в соответствии с Комплексным планом энергоснабжения инвестиционных проектов в промышленной и социальной сферах на территории Республики Тыва (Комплексный план) предусмотрен перечень мероприятий по развитию электрической сети 110 кВ и выше, выполнение которых необходимо для обеспечения прогнозного потребления электрической энергии (мощности), а также обеспечения надежного электроснабжения и качества электрической энергии на территории Республики Тыва. В рамках данного Комплексного плана предусмотрено строительство воздушных линий электропередач напряжения 110–220 кВ и подстанций напряжения 110–220 кВ, а также реконструкция существующих центров питания [1].

На наш взгляд, исследование состояния и перспективы развития электроэнергетики Республики Тыва необходимо продолжить с учетом смежных энергосистем Красноярского края, Республики Хакасия и Иркутской области для комплексного развития энергосистемы Тывы, а также для использования в научной, учебной и практической работе.

Литература

1. Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем Рос-

сии на 2025–2030 годы : Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 29 ноября 2024 г. № 2328 // СПС Консультант-плюс, 2025.

2. О рабочей группе по подготовке и проведению мероприятий, посвященных 100-летию создания тувинской энергетики : Распоряжение Главы Республики Тыва от 2 апреля 2025 г. № 178-р // СПС Консультант-плюс, 2025.

3. Тувинская энергетика: 100 лет силы и развития // TMGnews. – 7.04.2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://tmgnews.ru>.

4. История Тувы: в 2 т. : 2-е изд. / Под общ. ред. В.А. Ламина. – Новосибирск : Наука, 2015. – Т 2. – 430 с.

5. Монгуш, Ч.П. Анализ потерь электроэнергии и пути их снижения в электрических сетях Республики Тыва / Ч.П. Монгуш, Ю.Ч. Ондар, А.В. Сат, С.Н. Чижма // Омский научный вестник. – 2017. – № 6(156). – С. 91–96.

6. Кенден, К.В. Проблемы и перспективы развития энергетического комплекса Республики Тыва / К.В. Кенден, К.Б. Сагаан-оол, Ю.Ч. Ондар // Омский научный вестник. – 2018. – № 6(162). – С. 150–153.

7. Кысыыдак, А.С. Развитие энергетики Тувы: история и современность / А.С. Кысыыдак, Ю.Ч. Ондар, Ч.В. Сендажы // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. – 2020. – № 4(70). – С. 21–33.

8. Ондар, Ю.Ч. Анализ функционирования электроэнергетики Республики Тыва / Ю.Ч. Ондар, А.М. Ондар, Д.А. Хангай, М.В. Сенгин-оол, М.Х. Даржаа // Вестник Тувинского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 1(1).

References

1. Ob utverzhdenii skhemy i programmy razvitiia elektroenergeticheskikh sistem Rossii na 2025–2030 gody : Prikaz Ministerstva energetiki Rossiiskoi Federatsii ot 29 noiabria 2024 g. № 2328 // SPS Konsultant-plus, 2025.

2. O rabochei gruppe po podgotovke i provedeniuiu meropriiatii, posviashchennykh 100-letiiu sozdaniia tuvinskoii energetiki : Rasporiazhenie Glavy Respubliki Tyva ot 2 apreliia 2025 g. № 178-r // SPS Konsultant-plus, 2025.

3. Tuvinskaia energetika: 100 let sily i razvitiia // TMGnews. – 7.04.2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://tmgnews.ru>.

4. Istoriia Tuvy: v 2 t. : 2-e izd. / Pod obshch. red. V.A. Lamina. – Novosibirsk : Nauka, 2015. – T 2. – 430 s.

5. Mongush, Ch.P. Analiz poter elektroenergii i puti ikh snizheniia v elektricheskikh setiakh Respubliki Tyva / Ch.P. Mongush, Iu.Ch. Ondar, A.V. Sat, S.N. Chizhma // Omskii nauchnyi vestnik. – 2017. – № 6(156). – S. 91–96.

6. Kenden, K.V. Problemy i perspektivy razvitiia energeticheskogo kompleksa Respubliki Tyva / K.V. Kenden, K.B. Sagaan-ool, Iu.Ch. Ondar // Omskii nauchnyi vestnik. – 2018. – № 6(162). – S. 150–153.

7. Kysyydak, A.S. Razvitie energetiki Tuvy: istoriia i sovremennost / A.S. Kysyydak, Iu.Ch. Ondar, Ch.V. Sendazhy // Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskii i fiziko-matematicheskie nauki. – 2020. – № 4(70). – S. 21–33.

8. Ondar, Iu.Ch. Analiz funkcionirovaniia elektroenergetiki Respubliki Tyva / Iu.Ch. Ondar, A.M. Ondar, D.A. Khangai, M.V. Sengin-ool, M.Kh. Darzhaa // Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskii nauki. – 2023. – № 1(1).

**Analysis of Problems and Prospects for the Development
of Electric Power in the Republic of Tyva.
On the 100th Anniversary of the Tuvan Energy Sector**

Yu.Ch. Ondar, A.S. Kysydyak, N.S. Borbak-ool, B.E. Soyann

*Volgograd State Technical University,
Volgograd (Russia)*

Key words and phrases: electric power industry; the Republic of Tuva; electricity consumption; energy security; energy system development; 100th anniversary of energy.

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of the current state and development prospects of the electric power industry of the Republic of Tuva, the purpose of which is to develop scientifically based proposals for improving its efficiency and reliability. To achieve this goal, the following objectives were solved: analysis of the dynamics of electricity consumption and capacity for 2018–2022, identification of systemic problems, forecasting consumption up to 2029 and development of recommendations for infrastructure development.

The research methodology is based on a systems approach using comparative analysis, statistical data processing and predictive modeling, based on official data from the Ministry of Energy of the Russian Federation and regional programs. The following results were obtained during the study: an increase in electricity consumption of 32 million kWh with a peak increase of 3.59 % in 2022 was established, key problems were identified (equipment wear and tear up to 65 %, limited capacity), a forecast of consumption growth to 2,289 million kWh by 2029 was developed and the need for the construction of new power transmission lines and substations for integration into the interregional system and increasing the energy security of the region was substantiated.

The hypothesis suggests that an increase in the consumption of electrical power has been predicted on the basis of technical specifications for the technological connection of consumers' power-receiving devices to electric power grids. Information is presented on the need to build facilities of electric power industry, which will ensure increase in energy security and efficiency of operation of the republican power system.

© Ю.Ч. Ондар, А.С. Кысыдак, Н.С. Борбак-оол, Б.Э. Соян, 2025

УДК 69.057:658.5

Организационно-технологические решения в строительстве промышленных зданий нефтеперерабатывающего завода в условиях городской среды (на примере г. Москвы)

И.Л. Абрамов, А.Д. Петракова

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

Ключевые слова и фразы: BIM-технологии; городская среда; модульное строительство; Москва; нефтеперерабатывающий завод; организационно-технологические решения; экологические ограничения.

Аннотация. В статье рассматриваются организационно-технологические решения для строительства промышленных зданий нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) в условиях городской среды на примере Москвы. Проанализированы нормативная база, особенности строительства, градостроительные и экологические ограничения, логистические вызовы. Разработаны рекомендации по оптимизации процессов с использованием модульного строительства, BIM-технологий, автоматизации и экологических материалов. Апробация на гипотетическом проекте в зоне ЗИЛ показала сокращение сроков на 25 %, затрат на 16 % и снижение экологического воздействия. Экономический и социальный эффект подтвержден опытом модернизации Московского НПЗ. Предложены перспективы масштабирования решений.

Введение

Нефтеперерабатывающая отрасль играет ключевую роль в экономике России, обеспечивая производство топлива, химической продукции и других материалов, необходимых для различных секторов промышленности и повседневной жизни. Устойчивое развитие этой отрасли напрямую влияет на энергетическую безопасность страны и ее экспортный потенциал. В условиях роста спроса на нефтепродукты, вызванного увеличением потребления как на внутреннем, так и на международном рынках, особое значение приобретает модернизация и расширение инфраструктуры нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). Строительство промышленных зданий таких объектов в городской среде, особенно в мегаполисе вроде Москвы, представляет собой сложную задачу, связанную с необходимостью учета множества ограничений. Экологические нормы требуют минимизации воз-

действия на окружающую среду, градостроительные регламенты ограничивают возможности размещения объектов, а логистические вызовы усложняют доставку материалов и координацию работ. В этой связи оптимизация организационно-технологических решений становится ключевым фактором, позволяющим повысить эффективность строительства, сократить сроки реализации проектов и снизить затраты, сохраняя при этом высокий уровень безопасности и качества.

Целью исследования является разработка и обоснование эффективных организационно-технологических решений для строительства промышленных зданий нефтеперерабатывающего завода в условиях городской среды. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи: изучение нормативно-технической базы и особенностей строительства объектов нефтеперерабатывающих заводов; анализ современных организационно-технологических решений, применяемых в строительстве промышленных зданий, выявление специфики строительных процессов в условиях Москвы с учетом градостроительных, экологических и логистических ограничений; разработка рекомендаций по оптимизации строительных процессов для объектов нефтеперерабатывающей отрасли. Объектом исследования выступает процесс строительства промышленных зданий нефтеперерабатывающего завода в Москве, а предметом – организационно-технологические решения, используемые в строительном производстве таких объектов.

В работе применяются различные методы исследования, включая анализ научной и нормативной литературы для формирования теоретической базы, сравнительный анализ технологий и методов строительства для выявления наиболее эффективных подходов, системный подход к изучению организационных процессов, моделирование строительных процессов с использованием специализированного программного обеспечения, а также экспертные оценки и анализ кейсов на основе реальных проектов. Научная новизна исследования заключается в разработке адаптированных организационно-технологических решений, учитывающих уникальные условия строительства нефтеперерабатывающих заводов в мегаполисе. Практическая значимость работы состоит в возможности применения предложенных решений для повышения эффективности строительных процессов, минимизации экологических рисков и улучшения координации между участниками проектов, что способствует успешной реализации инфраструктурных объектов в сложных городских условиях.

Строительство промышленных зданий НПЗ требует комплексного подхода, учитывая специфику технологических процессов, высокие стандарты безопасности и долговечности, а также строгое соблюдение нормативной базы. В условиях Москвы, где свободные земельные участки ограничены, размещение НПЗ часто требует реорганизации существующих промышленных территорий или их вывода за пределы города, что связано с дополнительными затратами на инфраструктуру и логистику. Например, Московский НПЗ в Капотне, расположенный в черте города, неоднократно подвергался критике со стороны местных жителей из-за экологических рисков, что подчеркивает важность строгого соблюдения норм при строительстве новых объектов. Экологическая безопасность регулируется Федеральным законом № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», который требует минимизации выбросов и отходов на всех этапах строительства и эксплуатации объекта. Также важное значение имеют отраслевые стандарты, такие как ГОСТ 31385-2016, касающийся проектирования резервуаров для хранения нефтепродуктов, и другие документы, устанавливающие требования к технологическому оборудованию и инженерным системам.

Теоретические основы организационно-технологических решений в строительстве промышленных зданий

Строительство промышленных зданий нефтеперерабатывающих заводов представляет собой сложный процесс, обусловленный спецификой технологических процессов, высокими требованиями к безопасности и необходимостью соответствия строгим нормативным стандартам. Нефтеперерабатывающие заводы предназначены для переработки сырой нефти в различные виды продукции, включая бензин, дизельное топливо, керосин и химические компоненты, что определяет уникальные особенности проектирования и строительства их зданий. Технологические процессы на таких объектах связаны с использованием высокотемпературного оборудования, агрессивных химических веществ и сложных инженерных систем, что требует применения специализированных конструктивных решений. Здания должны быть спроектированы с учетом обеспечения устойчивости к нагрузкам, вызванным работой оборудования, а также с учетом необходимости минимизации рисков аварий, таких как взрывы или утечки.

Безопасность является приоритетным аспектом при строительстве объектов нефтеперерабатывающей отрасли. Конструкции зданий должны обладать высокой огнестойкостью, а материалы – соответствовать требованиям по устойчивости к коррозии и воздействию химических веществ. Кроме того, долговечность сооружений имеет ключевое значение, так как эксплуатация нефтеперерабатывающих заводов рассчитана на десятилетия, что требует использования высококачественных строительных материалов и тщательного контроля качества на всех этапах строительства. Нормативная база, регулирующая строительство таких объектов, включает в себя ряд документов, среди которых особое место занимают Своды правил (СП), ГОСТы и Строительные нормы и правила (СНИП). Например, СП 56.13330.2021 устанавливает требования к проектированию промышленных зданий, включая вопросы пожарной безопасности и устойчивости конструкций. Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» определяет обязательные меры по предотвращению пожаров, включая организацию эвакуационных путей и установку систем автоматического пожаротушения.

Современные подходы к организации строительного производства промышленных зданий направлены на повышение эффективности, сокращение сроков и затрат, а также обеспечение высокого качества выполнения работ. Одним из ключевых аспектов является календарное планирование, которое позволяет оптимально распределить ресурсы и этапы строительства. Оно включает разработку детальных графиков выполнения работ, учитывающих последовательность операций, сроки поставки материалов и доступность техники. Использование методов сетевого планирования, таких как метод критического пути, помогает выявить наиболее важные этапы и минимизировать простои. Управление ресурсами, включая трудовые, материальные и технические, также играет важную роль. Современные системы управления проектами позволяют отслеживать расход ресурсов в реальном времени, прогнозировать потребности и предотвращать дефицит. Применение цифровых технологий, в частности, *BIM (Building Information Modeling)*, стало важным инструментом в проектировании и строительстве промышленных объектов. *BIM*-технологии позволяют создать трехмерную информационную модель здания, которая объединяет архитектурные, конструктивные и инженерные данные. Это обеспечивает более точное проектирование, выявление коллизий на ранних этапах и улучшение координации между участниками проекта. Кроме того, *BIM*-модели используются для оптимизации строительных процессов, включая расчет объемов работ, планирование логистики и контроль

качества.

Важным направлением является оптимизация логистики и управления цепочками поставок. В условиях строительства крупных промышленных объектов, таких как нефтеперерабатывающие заводы, доставка материалов и крупногабаритного оборудования требует тщательной организации. Современные подходы включают использование систем управления логистикой, которые позволяют отслеживать движение материалов, оптимизировать маршруты доставки и минимизировать транспортные расходы. Применение модульного строительства, когда отдельные элементы здания изготавливаются на заводе и собираются на площадке, также способствует ускорению процессов и снижению зависимости от погодных условий. Автоматизация процессов, включая использование программного обеспечения для управления проектами, такого как *Primavera* или *MS Project*, позволяет повысить точность планирования и контроля. Таким образом, современные подходы к организации строительного производства базируются на интеграции цифровых технологий, оптимизации ресурсного и календарного планирования, а также совершенствовании логистических процессов, что обеспечивает высокую эффективность и конкурентоспособность строительных проектов.

Анализ мирового и отечественного опыта строительства объектов НПЗ позволяет выявить успешные практики, инновационные технологии и проблемы, с которыми сталкиваются участники таких проектов. За рубежом крупные нефтеперерабатывающие комплексы, такие как заводы в Сингапуре или Саудовской Аравии, демонстрируют высокую степень автоматизации и цифровизации процессов. Например, проект расширения нефтеперерабатывающего завода в Джубайле (Саудовская Аравия) активно использовал BIM-технологии для координации проектирования и строительства, что позволило сократить сроки реализации на 15 % и снизить количество ошибок на этапе монтажа оборудования. Применение модульного строительства, когда крупные технологические узлы собираются на специализированных площадках и доставляются на объект, также получило широкое распространение в международной практике. Это позволило минимизировать влияние погодных условий и ускорить монтажные работы. В России одним из ярких примеров является модернизация Московского нефтеперерабатывающего завода, где были внедрены современные экологические технологии, включая системы очистки выбросов, соответствующие европейским стандартам. Этот проект также показал важность взаимодействия с городскими властями для соблюдения градостроительных и экологических требований. Использование инновационных материалов, таких как высокопрочные стали и композиты, позволило повысить долговечность конструкций и снизить затраты на эксплуатацию.

Однако российский опыт выявил и ряд проблем, связанных с недостаточной цифровизацией процессов и сложностями в управлении цепочками поставок. Например, задержки в доставке крупногабаритного оборудования часто приводили к срывам сроков. Мировой опыт также указывает на трудности, связанные со строительством в городской среде. Проект строительства нефтеперерабатывающего комплекса вблизи Лондона столкнулся с жесткими экологическими ограничениями, что потребовало дополнительных инвестиций в системы шумопоглощения и переработки отходов. Уроки таких проектов подчеркивают необходимость раннего планирования и тесной координации с местными органами власти. В целом анализ мирового и отечественного опыта показывает, что успех строительства нефтеперерабатывающих заводов зависит от интеграции цифровых технологий, использования инновационных материалов и методов, а также учета местных условий и нормативных требований. Эти выводы становятся основой для разработки адаптированных решений, применимых в условиях городской среды таких крупных городов, как Москва.

Строительство промышленных объектов, таких как здания нефтеперерабатывающего завода, в условиях крупного мегаполиса, каким является Москва, сопряжено с рядом градостроительных и экологических ограничений, которые существенно влияют на организацию и реализацию строительных процессов. Москва, как административный, экономический и культурный центр России, характеризуется высокой плотностью застройки, сложной транспортной инфраструктурой и строгим нормативным регулированием, направленным на сохранение городской среды и обеспечение безопасности населения. Эти факторы создают уникальные вызовы для строительства крупных промышленных объектов, особенно таких сложных и потенциально опасных, как НПЗ. Одной из ключевых особенностей размещения промышленных объектов в Москве является необходимость соблюдения строгих градостроительных норм, установленных Градостроительным кодексом Российской Федерации, а также местными нормативными актами, такими как Генеральный план развития города Москвы до 2035 г. Генеральный план определяет зоны функционального назначения, включая промышленные, жилые и природоохранные территории, и устанавливает ограничения на размещение объектов с повышенным уровнем экологического воздействия. Промышленные здания НПЗ, как объекты с высоким потенциалом воздействия на окружающую среду, должны размещаться в специально выделенных промышленных зонах, таких как территории бывших промзон, которые в последние годы активно реорганизуются в Москве. Например, такие территории, как ЗИЛ или районы Капотни, исторически использовались для размещения промышленных объектов, включая нефтеперерабатывающий завод ПАО «Газпром нефть». Однако даже в этих зонах существуют ограничения, связанные с близостью жилых массивов и природных объектов, таких как парки и водоемы.

Размещение промышленных объектов в городской среде требует учета санитарно-защитных зон (**СЗЗ**), которые регламентируются СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Для НПЗ, относящихся к объектам первого класса опасности, ширина СЗЗ может достигать 1 км и более, что создает сложности при выборе участка в условиях плотной застройки Москвы. Санитарно-защитная зона предназначена для минимизации воздействия выбросов, шума и других факторов на жилые территории и общественные пространства. Экологические ограничения в Москве являются одним из наиболее значимых факторов, влияющих на строительство промышленных зданий НПЗ. Согласно Федеральному закону № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», все строительные проекты должны проходить государственную экологическую экспертизу, которая оценивает потенциальное воздействие объекта на окружающую среду. Для НПЗ это включает анализ выбросов в атмосферу, сбросов в водные объекты, а также управление отходами производства и потребления. В Москве действуют дополнительные местные нормативы, такие как постановления Правительства Москвы, направленные на снижение загрязнения воздуха и водных ресурсов. Например, выбросы летучих органических соединений, характерные для нефтеперерабатывающих процессов, строго контролируются, и строительные проекты должны предусматривать использование современных систем фильтрации и очистки.

Шумовое воздействие является еще одним важным аспектом экологических ограничений. Строительство НПЗ предполагает использование тяжелой техники, такой как краны, экскаваторы и сваебойные установки, которые создают значительный уровень шума. Согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96, допустимые уровни шума в жилых зонах в дневное время составляют 55 дБ, а в ночное – 45 дБ. В условиях Москвы, где промышленные объекты часто расположены вблизи жилых районов, это требует применения шумозащитных экранов, ограничения времени проведения шумных работ и использования техники с по-

ниженным уровнем шума. Например, при строительстве объектов в районе Капотни подрядчики обязаны согласовывать график работ с городскими властями, чтобы минимизировать неудобства для жителей.

Управление строительными отходами также представляет собой значимую проблему. Строительство промышленных зданий НПЗ сопровождается образованием большого количества отходов, включая грунт, бетонные обломки и металлические конструкции. Согласно Федеральному закону № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», все отходы должны быть классифицированы, утилизированы или переработаны в соответствии с установленными нормами. В Москве, где площади для полигонов ограничены, акцент делается на переработку строительных отходов. Например, бетонные отходы могут быть переработаны в щебень для использования в дорожном строительстве, а металлические конструкции отправляются на вторичную переработку. Это требует от подрядчиков внедрения систем сортировки отходов непосредственно на строительной площадке, что увеличивает затраты, но снижает экологическую нагрузку.

Транспортная доступность и плотность застройки в Москве создают дополнительные ограничения для строительства НПЗ. Город характеризуется высокой плотностью транспортных потоков, особенно в центральных и прилегающих районах. Доставка крупногабаритных конструкций, таких как резервуары, колонны или модульные элементы, требует тщательной координации с городскими службами, включая ГИБДД и Департамент транспорта Москвы. Например, перевозка крупногабаритных грузов часто проводится в ночное время, чтобы минимизировать воздействие на дорожное движение. Однако даже в этом случае маршруты должны быть заранее согласованы, а в некоторых случаях требуется временное перекрытие дорог, что вызывает неудобства для жителей и увеличивает сроки выполнения работ. Логистические и инфраструктурные вызовы при строительстве НПЗ в Москве включают проблемы доставки крупногабаритных конструкций, ограничения на въезд грузового транспорта и координацию с городскими службами.

Плотность застройки в Москве также ограничивает возможности для организации строительных площадок. Промышленные объекты НПЗ требуют значительных площадей для размещения техники, складов материалов и временных сооружений. В условиях мегаполиса свободные участки ограничены, а их использование часто связано с необходимостью сноса существующих зданий или реорганизации территории. Например, реорганизация промзон, таких как ЗИЛ, требует значительных инвестиций в инфраструктуру, включая строительство новых дорог, коммуникаций и инженерных сетей. Это увеличивает сложность проекта и требует от подрядчиков высокой степени координации с городскими властями.

Еще одним аспектом является необходимость интеграции промышленных объектов в существующую городскую инфраструктуру. Новые здания НПЗ должны быть подключены к городским инженерным сетям, включая водоснабжение, канализацию, электроснабжение и теплоснабжение. В Москве, где инженерные сети часто работают на пределе мощности, это требует модернизации существующих систем или строительства новых. Например, подключение к электросетям может потребовать установки дополнительных трансформаторных подстанций, что увеличивает затраты и сроки реализации проекта. Кроме того, промышленные объекты должны соответствовать требованиям пожарной безопасности, что особенно важно в условиях плотной застройки. Согласно СП 4.13130.2013, здания НПЗ должны быть оснащены системами автоматического пожаротушения, а подъездные пути для пожарной техники должны быть обеспечены в любое время. Экологические и градостроительные ограничения также связаны с общественным мнением и социальны-

ми факторами. В Москве, где уровень экологической осведомленности населения высок, строительство объектов НПЗ часто вызывает протесты со стороны местных жителей. Например, Московский НПЗ в Капотне неоднократно становился объектом общественных дискуссий из-за выбросов и запахов, что подчеркивает важность прозрачной коммуникации с населением на этапе строительства. Подрядчики обязаны проводить общественные слушания, предоставлять информацию о мерах по снижению экологического воздействия и учитывать мнение жителей при планировании работ. Это требует дополнительных ресурсов для организации информационных кампаний и взаимодействия с общественными организациями.

Для минимизации воздействия на городскую среду при строительстве НПЗ применяются современные технологии и подходы. Например, использование модульного строительства позволяет сократить объем работ на площадке, что снижает шум, пыль и количество отходов. Модульные конструкции изготавливаются на заводах и доставляются на объект в готовом виде, что также упрощает логистику. Кроме того, внедрение BIM-технологий (информационного моделирования зданий) позволяет оптимизировать проектирование и строительство с учетом всех ограничений. BIM-модели включают данные о градостроительных нормах, экологических требованиях и логистических маршрутах, что помогает заранее выявить потенциальные проблемы и разработать решения. Примером успешного учета градостроительных и экологических ограничений может служить модернизация Московского НПЗ, проводимая ПАО «Газпром нефть» в рамках программы «Чистый воздух». В ходе модернизации были внедрены новые очистные сооружения, что позволило сократить выбросы вредных веществ на 50 %. Кроме того, проект включал установку шумозащитных экранов и модернизацию транспортной инфраструктуры для минимизации воздействия на жителей района Капотня. Этот опыт демонстрирует, что соблюдение экологических и градостроительных норм возможно при условии использования современных технологий и тщательного планирования.

Специфика обеспечения безопасности при строительстве НПЗ включает пожарную безопасность, охрану труда и предотвращение аварий. Пожарная безопасность регулируется Федеральным законом № 123-ФЗ и СП 4.13130.2013, требуя систем пожаротушения и эвакуации. Охрана труда – по Трудовому кодексу и ГОСТ 12.0.003-74, с использованием СИЗ. Меры предотвращения аварий – ПЛА по Федеральному закону № 116-ФЗ. BIM и дроны помогают в мониторинге.

Разработка организационно-технологических решений для строительства промышленных зданий НПЗ

Выбор оптимальных технологий строительства включает сравнительный анализ традиционных и инновационных методов. Традиционные методы, такие как монолитное бетонирование, обеспечивают прочность, но требуют времени и создают шум. Сборные конструкции ускоряют монтаж на 20–30 %, модульное – на 40 % с минимизацией отходов. Экологичные материалы снижают углеродный след. Автоматизация повышает точность.

Разработка модели организации производства включает алгоритм: анализ данных, моделирование, опрос экспертов ($W = 0,82$), компенсационные мероприятия. Приоритет – сроки и экология: модульное строительство, пылеподавление.

Рекомендации по управлению: BIM для контроля, координация, минимизация рисков. На Московском НПЗ снижены ошибки на 20 %.

Оценка эффективности предложенных организационно-технологических решений

Критерии: сроки, затраты, соответствие нормам. Апробация в ЗИЛ: сокращение сроков на 25 %, затрат на 16 %, выбросов на 50 %. Экономический эффект – 450 млн руб., социальный – снижение жалоб на 40 %.

Заключение

Разработанные решения достигли цели. Перспективы – масштабирование, ИИ.

Литература

1. ГОСТ Р 53682-2009 (ИСО 13705:2006). Установки нагревательные для нефтеперерабатывающих заводов. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ, 2010. – 40 с.
2. ГОСТ Р 57311-2016. Моделирование информационное в строительстве. Требования к эксплуатационной документации объектов завершеного строительства. – М. : Стандартинформ, 2017. – 12 с.
3. СП 48.13330.2019. Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004. – М. : Минстрой России, 2019. – 48 с.
4. Об охране окружающей среды : Федеральный закон № 7-ФЗ от 10 января 2002 г. (в ред. от 27 декабря 2019 г.). – М. : Проспект, 2020. – 64 с.
5. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : Федеральный закон № 116-ФЗ от 21 июля 1997 г. (в ред. от 29 декабря 2020 г.). – М. : Проспект, 2021. – 48 с.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – М. : Минздрав России, 2008. – 32 с.
7. Талапов, В.В. Основы BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В.В. Талапов. – М. : ДМК Пресс, 2020. – 256 с.
8. Мешалкин, В.П. Ресурсоэнергоэффективные методы энергообеспечения и минимизации отходов нефтеперерабатывающих производств: основы теории и наилучшие практические результаты / В.П. Мешалкин. – М. : Изд-во НИУ ВШЭ, 2018. – 180 с.
9. Eastman, C. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors : 3rd ed. / C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. – Hoboken : Wiley, 2018. – 688 p.
10. Hardin, B. BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows : 2nd ed. / B. Hardin, D. McCool. – Indianapolis : Sybex, 2015. – 408 p.

References

1. GOST R 53682-2009 (ISO 13705:2006). Ustanovki nagrevatelnye dlia neftepererabatyvaiushchikh zavodov. Obshchie tekhnicheskie trebovaniia. – M. : Standartinform, 2010. – 40 s.
2. GOST R 57311-2016. Modelirovanie informatcionnoe v stroitelstve. Trebovaniia k ekspluatatcionnoi dokumentatcii obektov zavershennogo stroitelstva. – M. : Standartinform, 2017. – 12 s.

3. SP 48.13330.2019. Organizatsiia stroitelstva. Aktualizirovannaia redaktsiia SNIIP 12-01-2004. – M. : Minstroï Rossii, 2019. – 48 s.
4. Ob okhrane okruzhaiushchei sredy : Federalnyi zakon № 7-FZ ot 10 ianvaria 2002 g. (v red. ot 27 dekabria 2019 g.). – M. : Prospekt, 2020. – 64 s.
5. O promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh obektov : Federalnyi zakon № 116-FZ ot 21 iulia 1997 g. (v red. ot 29 dekabria 2020 g.). – M. : Prospekt, 2021. – 48 s.
6. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03. Sanitarno-zashchitnye zony i sanitarnaia klassifikatsiia predpriatii, sooruzhenii i inykh obektov. – M. : Minzdrav Rossii, 2008. – 32 s.
7. Talapov, V.V. Osnovy BIM: sut i osobennosti vnedreniia informatcionnogo modelirovaniia zdanii / V.V. Talapov. – M. : DMK Press, 2020. – 256 s.
8. Meshalkin, V.P. Resursoenergoeffektivnye metody energoobespecheniia i minimizatsii otkhodov neftepererabatyvaiushchikh proizvodstv: osnovy teorii i nailuchshie prakticheskie rezultaty / V.P. Meshalkin. – M. : Izd-vo NIU VShE, 2018. – 180 s.

**Organizational and Technological Solutions in the Construction
of Industrial Buildings of an Oil Refinery in an Urban Environment
(Using the Example of Moscow)**

I.L. Abramov, A.D. Petrakova

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

Key words and phrases: oil refinery; organizational and technological solutions; modular construction; BIM technologies; environmental restrictions; urban environment; Moscow.

Abstract. This article examines organizational and technological solutions for the construction of industrial buildings for oil refineries in urban environments, using Moscow as an example. The regulatory framework, construction features, urban planning and environmental constraints, and logistical challenges are analyzed. Recommendations are developed for process optimization using modular construction, BIM technologies, automation, and environmentally friendly materials. Testing on a hypothetical project in the ZIL zone demonstrated a 25 % reduction in construction time, a 16 % reduction in costs, and a reduced environmental impact. The economic and social benefits are confirmed by the experience of modernizing the Moscow Oil Refinery. Prospects for scaling up these solutions are proposed.

© И.Л. Абрамов, А.Д. Петракова, 2025

УДК 69.055

Разработка организационно-технологических решений при строительстве монолитных зданий в стесненных условиях городской застройки

О.Б. Забелина, И.С. Ванзяк

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

Ключевые слова и фразы: логистика JIT; метод «малыми захватками»; монолитное строительство; организационно-технологические решения; самоуплотняющийся бетон; стесненные условия; факторы стесненности.

Аннотация. Актуальность рассмотрения организационно-технологических решений в строительстве обусловлена прогрессирующей урбанизацией и увеличением доли возводимых монолитных объектов в условиях плотной городской застройки. Стесненные условия формируют комплекс ограничений, влияющих на сроки, издержки и безопасность работ. Цель данного исследования – выявление факторов стесненности и систематизация организационно-технологических решений, нивелирующих выявленные ограничения при строительстве монолитных зданий. Объект исследования – процесс строительства зданий с монолитным железобетонным каркасом. Предмет исследования – организационно-технологические решения по оптимизации строительного цикла в условиях дефицита пространства. В ходе исследования проведен аналитический обзор существующих технологий (в том числе Top-Down и безударные методы устройства фундаментов), применен экспертный метод для ранжирования ограничивающих факторов. Установлено, что основными факторами влияния на продолжительность работ являются ограниченность площади строительной площадки и сложность транспортной логистики.

Стремительная урбанизация и уплотнение существующей городской застройки ставят перед строительной отраслью новые задачи, которые, прежде всего, связаны с необходимостью возведения монолитных зданий на ограниченных территориях. Реализация таких проектов требует предварительной разработки комплексного проекта производства работ

(ППР), анализа факторов, ограничивающих строительный процесс. Главная проблема стесненности – это пространственные, геологические и логистические ограничения, которые неизбежно приводят к увеличению сроков и сметной стоимости работ.

Одним из приоритетных направлений является оптимизация логистики и снабжения. Р.О. Бельчевский [1] подчеркивает, что выбор организационно-технологической системы должен начинаться с классификации факторов стесненности. В свою очередь, Я.Д. Агеева [2] предлагает использовать методы экономико-математического моделирования, в частности, линейное программирование для управления снабжением, особенно при отсутствии складских зон на площадке. С.А. Чебанова [3] рекомендует централизованную поставку материалов и предварительную заготовку элементов для сокращения внутриплощадочных операций.

Второе важное направление – технологии устройства оснований. Поскольку ударные методы (забивка свай) недопустимы вблизи существующих зданий, более приоритетными становятся безударные технологии. Так, С.Э. Церузис [4] описывает применение технологии «стена в грунте», которая позволяет возводить заглубленные части с минимальным нарушением геологической среды. Р.В. Жабасова [5] отмечает, что для строительства глубоких подземных частей в плотной застройке часто применяется технология *Top-Down* (работы по возведению подземной и надземной частей параллельно).

Третий аспект – организация работ и механизация. П.В. Бажин [6] обращает внимание на сложности, связанные с размещением крупногабаритной техники, в частности, кранов. Э.А. Тиникашвили [7] отмечает, что в стесненных условиях затруднено применение традиционных поточных методов, т.е. нужны отдельные потоки для однотипных элементов и особый контроль зоны работы башенных кранов. П.Н. Павлов [8] видит решение в интеграции организационных процессов с технологией *VIM* для улучшения координации.

В свою очередь, монолитное строительство, несмотря на гибкость в архитектурно-планировочных решениях, предъявляет повышенные требования к контролю качества и квалификации персонала. При этом, например, среди отечественных систем сборно-монолитного строительства («РЕКОН», «АРКОС», «КУБ-2,5») есть конструктивные недостатки, связанные с надежностью узловых соединений (стыки «плита – колонна»).

Среди общих проблем монолитного строительства – высокая трудоемкость, повышенные требования к контролю качества бетона (особенно в зимний период), недостаточная квалификация персонала, приводящая к нарушениям технологии. Для повышения качества строительного процесса применяются следующие организационно-технологические решения.

1. Применение несъемной опалубки (объединяет несколько этапов в один цикл).
2. Использование самоуплотняющегося бетона (**СУБ**). СУБ повышает качество конструкций, снижает шумовое загрязнение и устраняет необходимость в виброуплотнении.
3. Учет реологических свойств бетона при расчетах, поскольку стандартные методики не всегда корректно отражают работу бетона под поэтапным нагружением в процессе строительства.

Стесненные условия городской застройки формируют комплекс ограничений. Последние надо учитывать при разработке организационно-технологических решений (**ОТР**). Стесненность определяется как отклонение от нормативных параметров плотности застройки, которое накладывает ограничения на ширину, высоту и глубину рабочей зоны. Для целей оптимизации ОТР ограничения целесообразно разделить на несколько групп (табл. 1).

Для определения наиболее значимых сдерживающих факторов был проведен экс-

Таблица 1. Классификация ограничений, присущих стесненной городской застройке

Группа ограничений	Конкретные примеры	Влияние на строительный процесс
Пространственные	Недостаток места для складирования МТР, узость проездов, невозможность размещения крупногабаритной техники	Замедление работы техники (применение K_{yc}), необходимость внедрения принципа JIT
Инфраструктурные	Высокая плотность подземных коммуникаций, близость действующих сетей	Усложнение земляных работ, необходимость применения бестраншейных технологий (например, «стена в грунте»)
Геотехнические	Слабые, обводненные грунты, риски деформации соседних фундаментов	Требуется усиление оснований (сваи) и постоянный геодезический мониторинг
Экологические и социальные	Шум, вибрация от работ вблизи жилых домов, ограничения по высоте из-за соседних зданий	Запрет ударных работ, ограничение рабочего времени для шумных операций



Рис. 1. Результаты экспертного опроса о значимости факторов, влияющих на продолжительность строительства

пертный опрос 15 специалистов. Экспертам предлагалось оценить влияние 13 факторов на продолжительность строительства. На рис. 1 представлены полученные результаты экспертного опроса о значимости факторов, влияющих на продолжительность строительства.

Анализ согласованности мнений показал статистическую значимость результатов (коэффициент конкордации $W = 0,75$). Результаты экспертной оценки позволили выделить 4 фактора по степени влияния: ограниченность площади строительной площадки (средняя оценка 4,8), сложность подъездных путей и транспортной логистики (средняя оценка 4,7), качество планирования и подготовки ППР (средняя оценка 4,6) и оптимизация логистики поставок материалов и оборудования (средняя оценка 4,5).

Поскольку стесненность напрямую влияет на простои техники и необходимость ручного труда, критерием оптимизации организационно-технологических решений принято сокращение общей продолжительности строительства, что напрямую коррелирует со снижением накладных расходов и повышением экономической эффективности. Так, разработанные организационно-технологические решения позволили сократить продолжительность строительства монолитного здания на 1,8 месяца (20 %) и одновременно обеспечить прямую экономию на капитальных затратах в размере 59 246,64 тыс. руб. за счет перепланировки и использования самоуплотняющегося бетона.

Таким образом, строительство монолитных зданий в стесненных условиях должно быть основано на системном подходе. Основными элементами этого процесса являются безударные геотехнологии, методы логистики *JIT*, выбор поточных методов организации работ, адаптированных к малой площади (например, метод «малыми захватками»), и использование СУБ для минимизации технологических задержек.

Литература

1. Бельчевский, Р.О. Классификация стесненных условий, влияющих на выбор организационно-технологических систем по возведению зданий и сооружений / Р.О. Бельчевский // Экономика строительства. – 2023. – № 4. – С. 126–130.
2. Агеева, Я.Д. Применение методов экономической кибернетики при управлении снабжением строительства в стесненных условиях / Я.Д. Агеева // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – 2023. – Т. 26. – № 4(90). – С. 6–17.
3. Чебанова, С.А. Организационно-технологические решения строительства в стесненных городских условиях // С.А. Чебанова, О.В. Бурлаченко, В.Г. Поляков / Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 1. – С. 1–6.
4. Церузис, С.Э. Проектирование и строительство фундаментов в стесненных условиях / С.Э. Церузис, О.М. Преснов // Точная наука. – 2023. – № 140. – С. 13–14.
5. Жабасова, Р.В. Проблема строительства в стесненных условиях. Применение инновационных технологий / Р.В. Жабасова, А.О. Эрзяйкина, Е.В. Кузнецова // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения : Материалы IX Национальной конференции с международным участием, Саратов, 11–12 апреля 2019 г. / Под ред. Ф.К. Абдразакова. – Саратов : Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2019. – С. 101–106.
6. Бажин, П.В. Анализ методов строительства в стесненных условиях / П.В. Бажин // Студенческий вестник. – 2020. – № 11-2(109). – С. 88–90.
7. Тиникашвили, Э.А. Оценка значимости факторов стоимости строительства при возведении зданий в стесненных условиях / Э.А. Тиникашвили // Вестник современных исследований. – 2020. – № 2-2(32). – С. 45–47.
8. Павлов, П.Н. Совершенствование организационно-технологических решений строительства зданий в стесненных условиях на основе совмещения со средой BIM / П.Н. Павлов, Т.Ф. Чередниченко // Экономика строительства. – 2023. – № 12. – С. 147–149.

References

1. Belchevskii, R.O. Klassifikatsiia stesnennykh uslovii, vliiaiuschikh na vybor organizatsionno-tekhnologicheskikh sistem po vozvedeniiu zdanii i sooruzhenii /

R.O. Belchevskii // *Ekonomika stroitelstva*. – 2023. – № 4. – S. 126–130.

2. Ageeva, I.A. Primenenie metodov ekonomicheskoi kibernetiki pri upravlenii snabzheniem stroitelstva v stesnennykh usloviakh / I.A. Ageeva // *Trudy Novosibirskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta (Sibstrin)*. – 2023. – T. 26. – № 4(90). – S. 6–17.

3. Chebanova, S.A. Organizatsionno-tekhnologicheskie resheniia stroitelstva v stesnennykh gorodskikh usloviakh // S.A. Chebanova, O.V. Burlachenko, V.G. Poliakov / *Inzhenernyi vestnik Dona*. – 2018. – № 1. – S. 1–6.

4. Tseruzis, S.E. Proektirovanie i stroitelstvo fundamentov v stesnennykh usloviakh / S.E. Tseruzis, O.M. Presnov // *Tochnaia nauka*. – 2023. – № 140. – S. 13–14.

5. Zhabasova, R.V. Problema stroitelstva v stesnennykh usloviakh. Primenenie innovatsionnykh tekhnologii / R.V. Zhabasova, A.O. Erziaikina, E.V. Kuznetcova // *Sovremennye problemy i perspektivy razvitiia stroitelstva, teplogazosnabzheniia i energoobespecheniia : Materialy IX Natsionalnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Saratov, 11–12 apreliia 2019 g. / Pod red. F.K. Abdrazakova*. – Saratov : Saratovskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. N.I. Vavilova, 2019. – S. 101–106.

6. Bazhin, P.V. Analiz metodov stroitelstva v stesnennykh usloviakh / P.V. Bazhin // *Studencheskii vestnik*. – 2020. – № 11-2(109). – S. 88–90.

7. Tinikashvili, E.A. Otsenka znachimosti faktorov stoimosti stroitelstva pri vozvedenii zdanii v stesnennykh usloviakh / E.A. Tinikashvili // *Vestnik sovremennykh issledovaniia*. – 2020. – № 2-2(32). – S. 45–47.

8. Pavlov, P.N. Sovershenstvovanie organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenii stroitelstva zdanii v stesnennykh usloviakh na osnove sovmeshcheniia so sredoi BIM / P.N. Pavlov, T.F. Cherednichenko // *Ekonomika stroitelstva*. – 2023. – № 12. – S. 147–149.

Development of Organizational and Technological Solutions for the Construction of Monolithic Buildings in Cramped Urban Environments

O.B. Zabelina, I.S. Vanzyak

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

Key words and phrases: monolithic construction; constrained conditions; organizational and technological solutions; constraints factors; “small-plot” method; self-compacting concrete; JIT logistics.

Abstract. The relevance of considering organizational and technological solutions in construction is due to progressive urbanization and an increased share of monolithic objects being erected in conditions of dense urban development. Constrained conditions form a set of limitations affecting the timelines, costs, and safety of work, requiring a shift towards adaptive design and production approaches. The purpose of this study is to identify the dominant factors of constraint and systemize effective organizational and technological solutions that mitigate the identified limitations during the construction of monolithic buildings. The object of the study is the construction process of buildings with monolithic reinforced concrete frames. The subject of the study is organizational and technological solutions aimed at optimizing the construction cycle in conditions of space deficiency. During the research, an analytical review of existing technologies (including “Top-Down” and non-percussive foundation methods) was conducted, and an expert

method was used to rank the limiting factors. It was established that the predominant factors affecting the duration of work are the limited construction site area and transport logistics complexity.

© О.Б. Забелина, И.С. Ванзяк, 2025

УДК 620.9:504.06:628.4:711.4

Изучение ключевых аспектов базового эколого-ориентированного подхода в сфере архитектуры

К.Ю. Кулаков, А.Т. Айбазов

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

Ключевые слова и фразы: возобновляемые источники энергии; зеленая архитектура; сохранение функций экосистем; устойчивое развитие; хозяйственная деятельность человека; экологически чистая продукция; экологический след.

Аннотация. Цель исследования – анализ и систематизация ключевых аспектов базового эколого-ориентированного подхода в архитектуре для минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Задачи включают изучение современных стратегий экологичного строительства, оценку эффективности экологически чистых технологий и выявление перспективных направлений развития. Гипотеза состоит в предположении, что внедрение комплексного эколого-ориентированного подхода способствует значительному снижению экологического следа строительной отрасли. В работе использованы методы сравнительного анализа, системного моделирования и обзора научной литературы. В результате сформулированы рекомендации по стратегии в области архитектуры с целью увеличения эффективности применения в практике.

В начале периода технологической революции хозяйственная деятельность человека вошла в противоречие с природой. Это иллюстрируется тем, что в результате хозяйственной деятельности человека увеличивается объем выбросов CO_2 в атмосферу, а вместе с этим увеличивается и глобальная температура (рис. 1) [3].

При достаточной емкости экосистемы (поглощающая способность планеты составляет приблизительно от 3 до 3,5 млрд т парниковых выбросов [2]), начиная с 2000-х гг., экономическая система, представляющая деятельность человека (промышленное производство, транспорт, населенные пункты), стала превышать репродуктивную возможность биоемкости Земли. По сути, нарушила предел, установленный природой. Экологический след, произведенный экономической деятельностью человека, перешел установленные природой пределы и превысил биоемкость планеты (рис. 2) [3]. Экологический след – это способность производить продукцию и в то же время поглощать отходы экономического

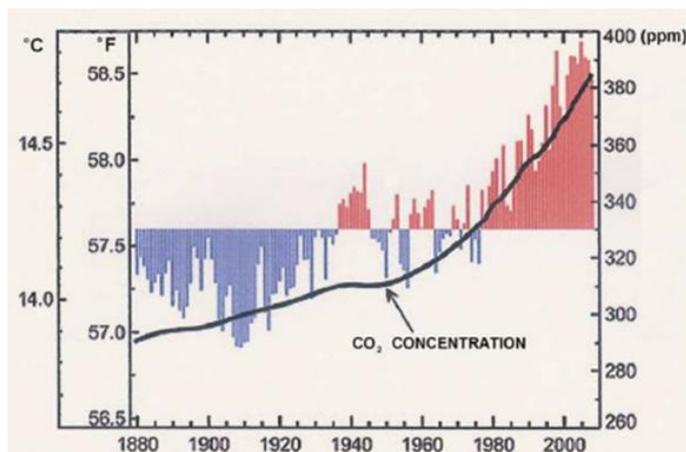


Рис. 1. Взаимодействие концентрации CO_2 (ppm) и глобальной годовой температуры ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$) во времени [1]

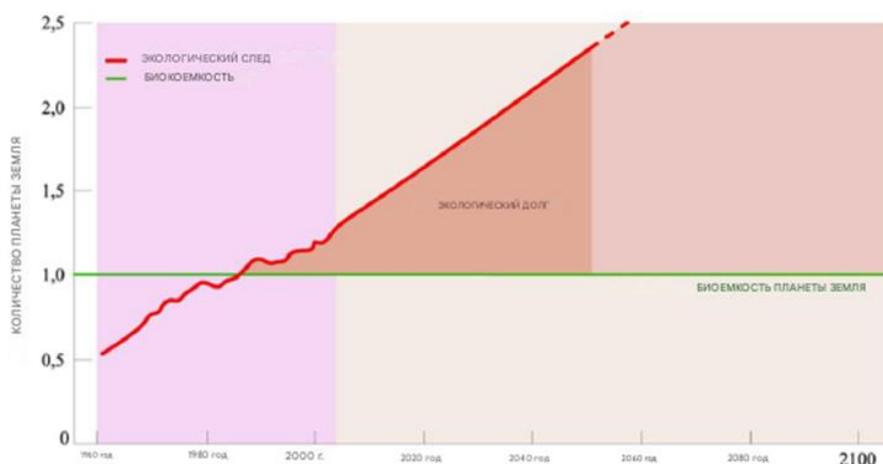


Рис. 2. Биоемкость планеты Земля. Схема превышения биоемкости планеты хозяйственной деятельностью человека и образования экологического долга [1]

процесса, представленного деятельностью человека.

В настоящее время мир производит экологическую нагрузку на природную экосистему, которая превышает его биоемкость, т.е. поглощающую способность экологических систем планеты, примерно на 28 % (рис. 2). Область, обозначенная линиями биоемкости Земли и экологического следа, представляет собой экологический «перегруз» деятельностью человека.

Необходимо было искать эффективный способ исправления этого состояния и путь возврата в пространство, отведенное человеку природой. Основой экологического пути исправления этого состояния является преобразование ископаемого топлива и возобновляемых источников энергии в единый энергетический рынок. Это преобразование, подкрепленное развитием технологий с низким потреблением энергии и низким уровнем выбросов, позволит восполнить капитал, предоставленный природой в виде ископаемого топлива, прежде чем он окончательно исчерпается [2].

Таким образом, устойчивое развитие – это удовлетворение потребностей современно-

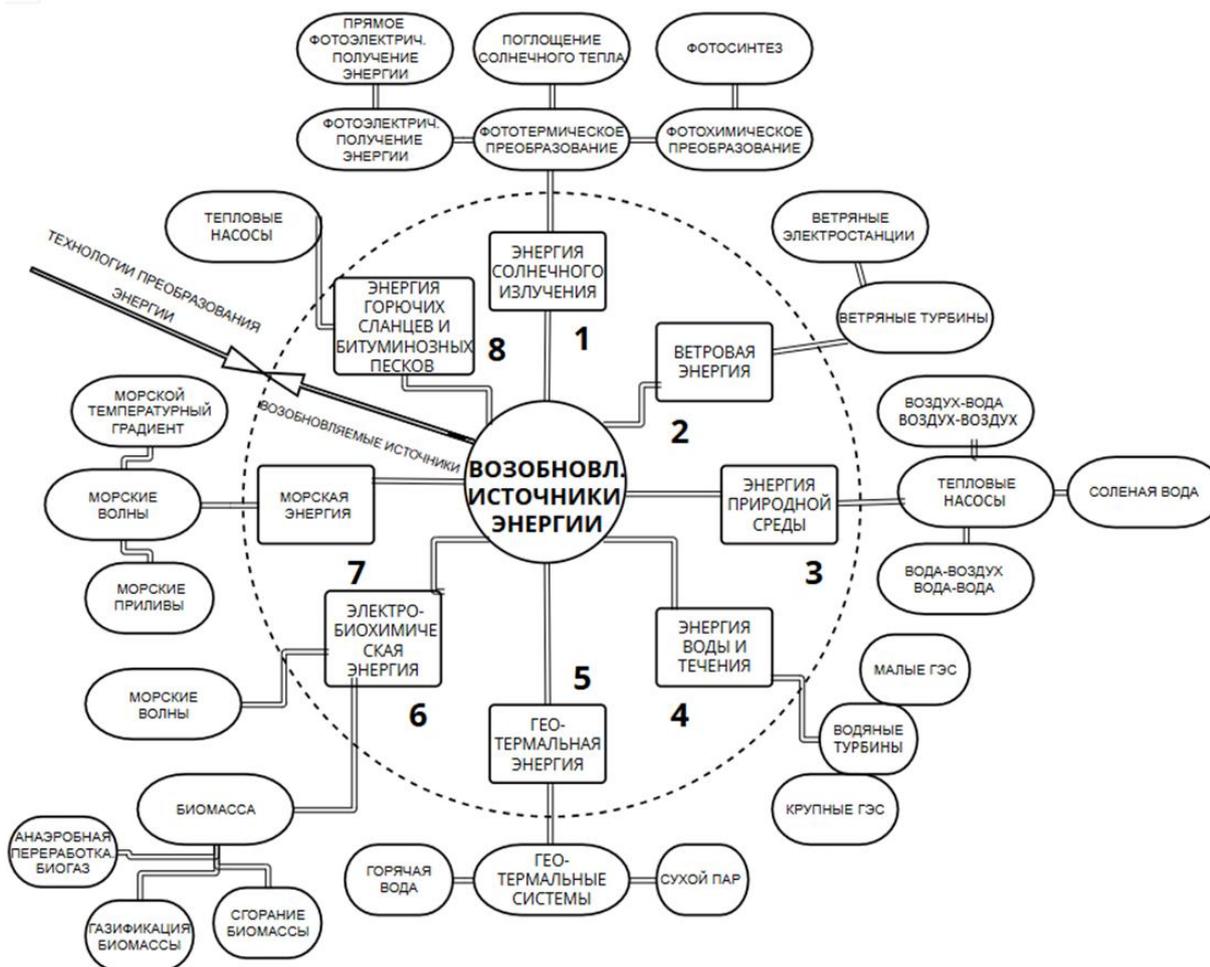


Рис. 3. Возобновляемые источники энергии – технология производства капитала, предоставляемого человеку природой

го поколения без нарушения способности будущих поколений удовлетворять свои потребности на достаточном уровне.

Устойчивое общество основано на рынке возобновляемых источников энергии (рис. 3), который представляет стратегическую ценность общества, обновляемого природой. Возобновляемые источники энергии позволяют создавать и поддерживать необходимый баланс между природным капиталом и экономической деятельностью человека. Период, в который экологический след по отношению к биоемкости планеты создает экологический резерв, является периодом устойчивого общества, частью которого является также устойчивая архитектура.

Для успешного решения этой проблемы человечеству необходимо пересмотреть свои приоритеты в инвестициях, которые заключаются в следующем:

- преобразование энергетического сектора промышленности, транспорта и населенных пунктов в сторону экологически чистых источников энергии и ее экологически чистого преобразования, поскольку это представляет собой увеличение природного капитала, предоставляемого для экономической деятельности человека природой;
- трансформация всей экономики в сторону экологически чистых технологий и экологически чистой продукции, поскольку это означает снижение выбросов и сохранение

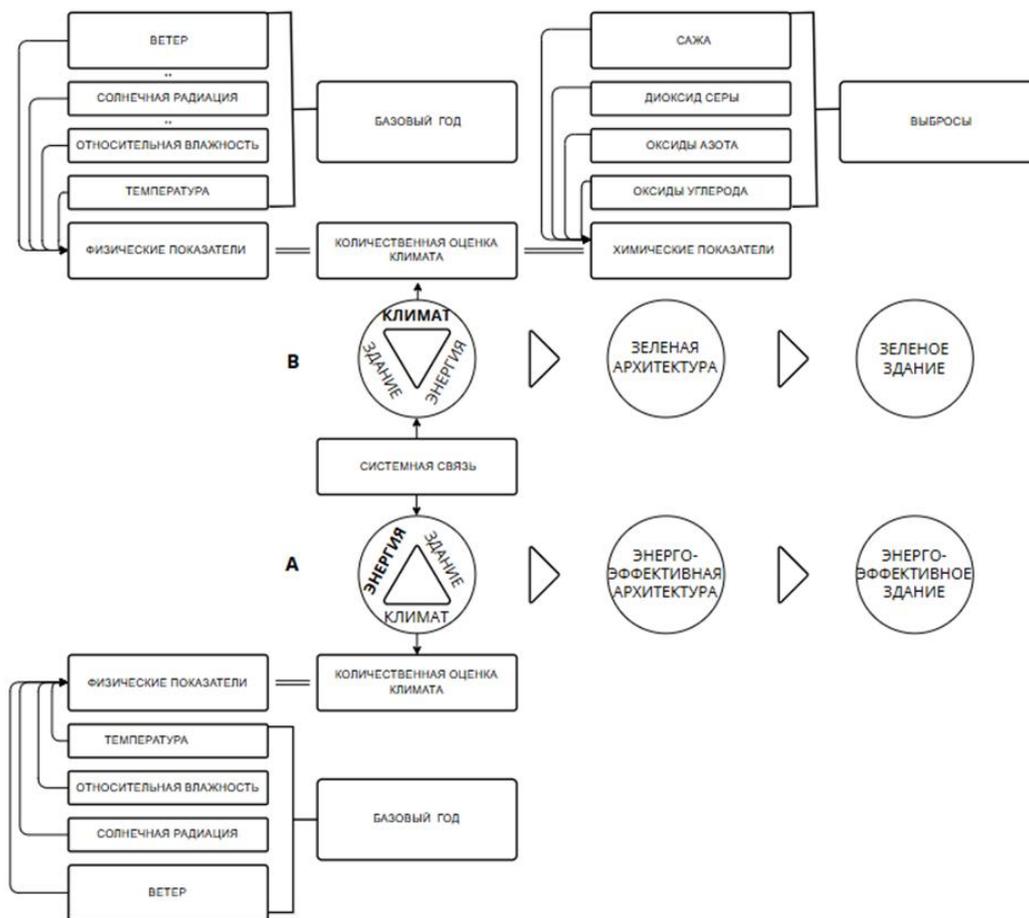


Рис. 4. Связь здания, климата и энергетической системы в архитектурных технологиях

баланса между экологическим следом и ограничениями, заложенными природой, т.е. биоемкостью планеты.

Предложенное решение проблемы и указанные приоритеты в инвестициях также должны быть полностью приняты в населенных пунктах и, следовательно, должны быть отражены в технологиях современной архитектуры информационного века. Средство решения этой проблемы – зеленая архитектура как значимый этап между современной архитектурой с низким энергопотреблением и целевой программой устойчивой архитектуры [4].

Зеленая архитектура

Современная информационная эпоха оказывает значительное влияние на архитектуру, особенно на технический аспект, наиболее важными областями которого являются экология, энергетика, вода и материалы [5].

Приход и дополнение эпохи механического производства – информационной – находит свое во многих аспектах строительства и его организации, в т.ч. в архитектуре зданий, требующей междисциплинарного подхода и интегрированных концепций.

Это развитие в технологии архитектуры характеризуется существенным изменением содержания характера системы «здание – климат – энергия». Если существенно уси-

лить экологическую составляющую в этой системной связи и поставить на один уровень с энергией, количественно оценив климат не только по физическим, но и по химическим параметрам (рис. 4), мы создадим новые предопределяющие условия для более высокого технического уровня процесса архитектурного проектирования.

Циклы развития и смена возможных приоритетов при градостроительном планировании определяют необходимость преобразования и реновации территорий застройки более раннего времени, в том числе переход на устойчивую архитектуру и устойчивое развитие.

В последние десятилетия недвижимость как продукт строительной отрасли превратилась в важный этап жизненного цикла объекта капитального строительства. Изучение функционирования данного этапа является сложной задачей, содержащей элементы техники, технологий, экономики и других отраслей народного хозяйства. Недвижимость как экономическая категория превратилась в важную социальную составляющую воспроизводственного процесса, влияющую на стабильность общества в целом и его экономический рост, а также являющуюся показателем уровня жизни населения и одним из факторов экономической безопасности страны.

Мы будем называть архитектуру «зеленой», когда она имеет эквивалентную экологическую функцию, продуктом которой является комфортное высокоэффективное здание с целенаправленным энергосбережением – по сути, низкоэнергетическое здание, использующее экологически чистые источники энергии со здоровым микроклиматом в помещении, построенное на основе экологически чистых материалов и экологически чистых процессов их производства с контролируемым сокращением выбросов, т.е. «зеленое» здание.

Зеленые здания демонстрируют важные тенденции применения экологически чистых:

- материалов с идентичным экологичным производством;
- природных водных ресурсов с тем же уровнем экологической безопасности;
- источников энергии с тем же уровнем экологичности окружающей среды.

Экологичное строительство характеризуется оптимально контролируемым сокращением выбросов.

Таким образом, в технологии архитектуры зеленое строительство является качественно более высоким понятием, чем энергоэффективное или низкоэнергетическое строительство. Низкоэнергетическое строительство является значительным шагом вперед, но только стартовой платформой для существенного шага к зеленому строительству (рис. 3).

Развитие технологий в современной архитектуре информационной эпохи является достаточным для осуществления перехода от архитектуры с низким потреблением энергии к зеленой архитектуре и включает в себя подготовительную фазу для формирования целевой программы: устойчивая архитектура в комплексе устойчивого общества. К зданиям, которым может быть присвоен статус зеленого здания, можно отнести при условии соблюдения следующих условий:

– включает стратегические направления преднамеренной экономии материалов, энергии и водных ресурсов;

– использует возобновляемые источники энергии;

– обычно включает экологически чистые или нетоксичные строительные материалы;

– учитывает изменения климата, является экологически чистым, намеренно минимизирует выбросы газов, в частности, выбросы углекислого газа (CO_2) как основного продукта топливной системы здания и критического показателя экологии наружного климата;

– имеет приятный, эффективный и экологически чистый дизайн, который гармонирует с использованием материальных, энергетических и водных ресурсов;

– обеспечивает высокий уровень комфорта при создании оптимального искусственно-

архитектурного образа жизни окружающей среды и минимизирует неблагоприятное воздействие на здоровье человека [5].

Характер зеленого строительства в контексте зеленой эоархитектуры стал вызовом для архитекторов, для их активного участия не только в формировании структуры и эстетики зеленых зданий, но и в освоении комплекса экологических, энергетических, материальных и водных стратегий при их создании. Лучшим способом использования стратегии зеленого строительства является теоретическое освоение экологических, физических, химических и строительно-технологических проблем современных технологий в архитектуре еще на начальном этапе проектирования проекта.

Капитал природы вошел в хозяйственно-экономическую деятельность человека с новыми технико-экономическими ценностями, что, в свою очередь, приведет к пересмотру ценностей и распределения приоритетов в организациях и обществе в целом. Без применения экологически чистых возобновляемых источников энергии, перехода к низкоэмиссионным и энергоэффективным производственным технологиям в таких основных технических областях, как промышленность, транспорт и градостроительство, развитие базового взаимодействия экосистем в цепочке «общество – энергия – экология» будет невозможно.

Можно наблюдать реакцию современной науки в области градостроительства – новые тенденции, основанные на развитии в равной степени всех трех аспектов базового взаимодействия в рамках новой концепции системного отношения «здание – климат – энергия», на трех уровнях объектов строительства, которые определяются терминами «низкоэнергетическое», «зеленое» и «устойчивое».

В работе актуальная проблема представлена эколого-ориентированным подходом в сфере архитектуры как важный вклад, позитивный шаг на пути к целевой программе устойчивого развития. Глобальная тенденция развития низкоэмиссионных и энергоэффективных технологий в текущем развитии современных архитектурных технологий находит свое отражение в концепции зеленого строительства.

Литература/References

1. Global Climate Change Impacts in the United States / Cambridge University. – New York : Cambridge University Press, 2009. – 196 p.
2. Lukášik, D. Green Zone of Košice as a Technical Symbiosis of Renewable Energy Sources and Natural Gas / D. Lukášik [et al.]; Research center of the economy of renewable energy sources and distribution networks. – Košice, 2010. – 154 p.
3. The ecological footprint atlas // Global Footprint Network. – 2008 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.footprintnetwork.org>.
4. Bielek, B. Development of technology in architecture for sustainable society / B. Bielek, J. Híreš, D. Lukášik, M. Bielek. – Bratislava : Slovak University Press, 2012. – 218 p.
5. Kwok, A.G. The Green Studio Handbook: Environmental Strategies for Schematic Design : 2nd ed. / A.G. Kwok, W.T. Grondzik. – Boston : Architectural Press Elsevier, 2007. – 424 p.

Exploring Key Aspects of a Basic Ecologically Oriented Approach in the Field of Architecture

K.Yu. Kulakov, A.T. Aybazov

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

Key words and phrases: renewable energy sources; green architecture; environmentally friendly products; ecological footprint; sustainable development; human economic activity; conservation of ecosystem functions.

Abstract. The purpose of this study is to analyze and systematize key aspects of a basic eco-oriented approach in architecture to minimize negative environmental impacts. The objectives include examining modern green building strategies, assessing the effectiveness of environmentally friendly technologies, and identifying promising development areas. The hypothesis is that the implementation of an integrated eco-oriented approach contributes to a significant reduction in the construction industry's environmental footprint. The study utilizes comparative analysis, systems modeling, and a literature review. As a result, recommendations for an architectural strategy aimed at increasing the effectiveness of practical application are formulated.

© К.Ю. Кулаков, А.Т. Айбазов, 2025

УДК 69

Практические подходы к снижению трудоемкости и ресурсоемкости при реконструкции образовательных учреждений

А.Д. Румянцева, И.Л. Абрамов

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

Ключевые слова и фразы: биофильный подход; навесной фасад; организационно-технологические решения; ПВХ-мембрана; реконструкция зданий; ресурсоэффективность; сталефибробетон; трудоемкость; школьная архитектура.

Аннотация. В условиях возрастающих требований к качеству городской среды и ограниченных ресурсов реконструкция образовательных учреждений становится приоритетным направлением развития социальной инфраструктуры. Работа рассматривает практические пути снижения трудоемкости и ресурсоемкости строительных процессов при модернизации зданий школ. Особое внимание уделяется технологиям быстрого монтажа, применению сталефибробетона, навесных вентилируемых фасадов и композитных систем усиления. Выявлены преимущества решений, позволяющих ускорить производственные циклы, уменьшить объем ручного труда и оптимизировать логистику на стесненных площадках. Проанализированы примеры эффективной реконструкции, в том числе с применением биофильных принципов архитектуры. Представлена модель оценки проектных решений с точки зрения энергоэффективности и технологической реализуемости. Полученные результаты демонстрируют возможности комплексной оптимизации работ без ущерба для качества.

На фоне урбанизации и роста требований к городской среде реконструкция школ и других социально значимых объектов становится приоритетной задачей, поскольку многие из них уже не соответствуют современным санитарным и энергоэффективным стандартам. В условиях стабильного спроса на доступные услуги, особенно в густонаселенных регионах, реконструкция рассматривается как эффективная альтернатива новому строительству. В рамках государственной программы модернизации ЖКХ на 2025–2026 годы планируется обновление социальных объектов, внедрение энергосберегающих тех-

нологий и создание условий для маломобильных граждан, при этом предусмотрены инвестиции в объеме 200 млрд руб. в 2025 г., 250 млрд руб. в 2026 г. и еще 120 млрд руб. на развитие инфраструктуры в новых регионах [1].

В качестве исходных материалов использованы отечественные и зарубежные исследования, нормативно-техническая документация, проектные решения, а также отчеты по реализованным объектам в сфере модернизации школ и детских садов. Методологически статья базируется на сравнительном и контент-анализе применяемых организационно-технологических решений, направленных на снижение трудоемкости и ресурсоемкости. Проведен отбор характерных примеров, отражающих современные подходы к реконструкции. Особое внимание уделено обобщению практических эффектов от внедрения сборных и механизированных технологий. Кроме того, исследование опирается на принципы междисциплинарного анализа, охватывающего технические, архитектурные, экологические и эксплуатационные аспекты, это позволяет выявить наиболее перспективные решения для масштабного применения в рамках государственной модернизации социальной инфраструктуры.

Реконструкция социально значимых зданий, особенно образовательных учреждений, требует комплексного подхода, включающего не только техническую модернизацию, но и пересмотр архитектурных и инженерных решений с учетом современных стандартов. Износ школьного фонда, большая часть которого была построена в советский и постсоветский периоды, обуславливает потребность не просто в ремонте, а в качественном обновлении среды обучения. Программа модернизации школ на 2022–2026 годы охватывает широкий спектр задач – от повышения энергоэффективности и безопасности до внедрения биофильных архитектурных приемов, способствующих созданию благоприятной и здоровой атмосферы в учебных пространствах [2]. Одним из перспективных инструментов стало методическое оценивание типовых проектов школ 1960–1970-х годов по их потенциалу к естественному освещению, вентиляции и визуальной связи с окружающей средой, что позволяет планировать реконструкцию заранее, без выезда на объект.

На этапе проектирования ключевое значение приобретает сбор и анализ информации об объекте: его техническом состоянии, наличии дефектов, доступных ресурсах и условиях выполнения работ. Для оценки организационно-технологических решений применяются такие показатели, как трудоемкость, материалоемкость и производительность, особенно в условиях ограниченного пространства и при функционирующем учреждении [3]. Стандартизация проектных решений осуществляется через нормативные положения к проектно-сметной документации. В дополнение к этому используются различные аналитические модели – индикаторные, критериальные и программно-целевые. Индикаторный подход позволяет сравнивать текущие параметры с эталонными значениями, выявляя отклонения от нормы, тогда как критериальная модель систематизирует показатели по направлениям – от экономической эффективности до технологической реализуемости. Это обеспечивает комплексную оценку и сравнение альтернативных решений при реконструкции объектов.

Для анализа используется несколько типов моделей: индикаторный, критериальный, программно-целевой и игровые подходы. Индикаторная модель основана на сравнении фактических показателей состояния с установленными эталонными значениями, что позволяет оценить допустимость текущего состояния здания. Критериальный подход разделяет показатели на производственные и финансовые, включая фондоотдачу, рентабельность и объемы инвестиций.

При выборе организационно-технологических решений для реконструкции фасадов

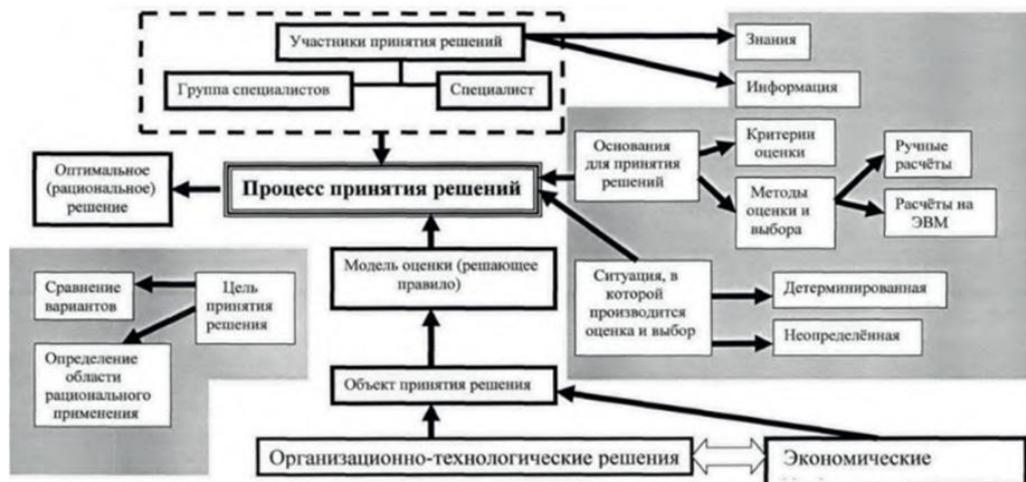


Рис. 1. Факторы, влияющие на процессы выбора и принятия решений [3]

зданий применяется аналитическая модель, оценивающая ряд ключевых параметров: трудозатраты, скорость монтажа, материалоемкость, производственные затраты, энергоэффективность и экологичность конструкции. Сначала рассматриваются все возможные варианты фасадных систем, после чего на основе экспертного ранжирования и с применением критерия Романовского отбираются наиболее значимые факторы, исключая наименее влияющие, такие как ремонтпригодность и унификация элементов [4]. В результате анализа приоритетными считаются фасадные системы с навесными вентилируемыми панелями, особенно металлокассеты с утеплителем, монтируемые на скрытом алюминиевом каркасе, благодаря их высокой скорости установки, энергоэффективности и сниженным затратам. Дополнительное преимущество дают технологии, основанные на предварительной заводской сборке и механизированной установке, что упрощает логистику и позволяет реализовывать поточные схемы организации фасадных работ.

При реконструкции зданий учебного назначения предлагается применять управленческую модель, в основе которой лежит параметризация организационно-технологических процессов с акцентом на показатели энергосбережения. Такая модель включает предварительную оценку энергопотребления до и после модернизации, диагностику технического состояния и износа конструкций, а также выбор эффективных энергетических решений с последующим построением технологических маршрутов. Все этапы интегрируются в многокритериальную матрицу, охватывающую не только энергозатраты, но и временные, трудовые и финансовые параметры. Управление проектом осуществляется по программно-целевому принципу с четкой поэтапной структурой – от обследования объекта до реализации выбранных решений. При этом параметры ранжируются и нормируются по шкале значимости с возможностью их адаптации в соответствии с приоритетами заказчика [5].

Анализ планировочной организации школьного здания в Кабардино-Балкарии выявил несоответствие площади и вместимости помещений действующим нормативам, что потребовало корректировки проектных решений [6]. В процессе проектирования особое внимание уделено недостаткам: перегруженности столовой, нехватке площади спортивного и актового залов, а также неудобной конфигурации входной группы. В рамках предложенного архитектурного решения был выбран вариант пристройки нового блока, что позволило



Рис. 2. План школы до реконструкции (вверху) и после реконструкции (внизу) [6]

разгрузить существующее здание и перераспределить функциональные зоны с учетом современных требований к организации учебного процесса.

Реконструкция предусматривала перенос столовой и актового зала в новый корпус, освободив площади под учебные кабинеты и обеспечив переход школы на обучение в одну смену. Планировочное решение сохраняет симметрию застройки и обеспечивает визуальную и функциональную связь между корпусами с помощью остекленных переходов. Дополнительно была расширена входная зона и обустроена рекреационная площадка

между зданиями.

Землетрясение 2015 г. в Непале, достигшее магнитуды 7,8, нанесло серьезный ущерб школьной инфраструктуре: до 86 % учебных заведений в наиболее пострадавших районах получили разрушения, а треть зданий оказалась полностью непригодной к эксплуатации [7]. Основные причины масштабных разрушений заключались в недостаточном контроле при строительстве, применении низкокачественных материалов и нарушении сейсмических норм, что привело к тому, что около миллиона детей остались без доступа к образованию. В ответ на кризис была разработана государственная программа реконструкции, охватившая более 7 500 объектов в 32 районах страны. Программа включала строительство временных помещений, возведение новых школ с учетом сейсмостойких требований и обучение специалистов новым строительным стандартам. Через шесть лет после катастрофы 88 % разрушенных школ были восстановлены, а общий объем инвестиций составил около 300 млн долларов США.

Анализ показал, что реконструкция объектов социальной инфраструктуры требует комплексного подхода – от диагностики технического состояния до выбора эффективных методов усиления и модернизации. В российской практике приоритет отдан нормативной точности, энергоэффективности и функциональной адаптации пространств, тогда как зарубежный опыт акцентирует внимание на устойчивости конструкций, управлении рисками и вовлечении местных сообществ. В совокупности эти подходы формируют целостное понимание принципов качественной реконструкции.

При реконструкции школьных зданий особое внимание уделяется видам работ, определяющим структуру строительного процесса и оказывающим наибольшее влияние на его продолжительность и затраты ресурсов. Для этих этапов критично обеспечить соблюдение нормативных требований и подобрать такие технологические подходы, которые позволяют повысить эффективность производства, сократить время выполнения и снизить трудоемкость операций.

Сталефибробетон (**СФБ**) применяется в реконструкции полов благодаря способности фибры выполнять роль трещиностойкого армирования. Устройство состоит из базовой бетонной подготовки и верхнего износостойкого слоя СФБ, укладываемого с затиркой. Самоуплотняющийся бетон повышает удобоукладываемость и снижает брак по краям. Подбор состава смеси и ее равномерное распределение определяют ресурсную эффективность технологии. За один цикл выполняется демонтаж, укладка, шовная нарезка и выдержка, что сокращает затраты труда и оборудования, обеспечивая прочное и долговечное покрытие без традиционной арматурной сетки [8].

В системах перекрытий по профнастилу используется несъемная опалубка из стального настила, укладываемого на балки с последующим армированием и бетонированием. Такой подход исключает применение щитовой опалубки и упрощает логистику на стесненных объектах. Настил служит частью рабочей схемы плиты и позволяет быстро организовать фронт работ без блокировки проходов и коммуникаций. Снижение трудозатрат и уменьшение объема металла делают технологию особенно удобной для реконструкции зданий, где важны сроки, чистота процессов и минимизация вмешательства в действующие помещения.

Сталежелезобетонные перекрытия с профилированным настилом показывают высокие прочностные характеристики, позволяя отказаться от нижней арматуры без потери несущей способности [9]. Благодаря совместной работе бетона и настила достигается оптимизация расхода материалов: уходит потребность в оборотной опалубке, уменьшается объем стержневой арматуры, а бетон используется рационально. Технология ускоряет

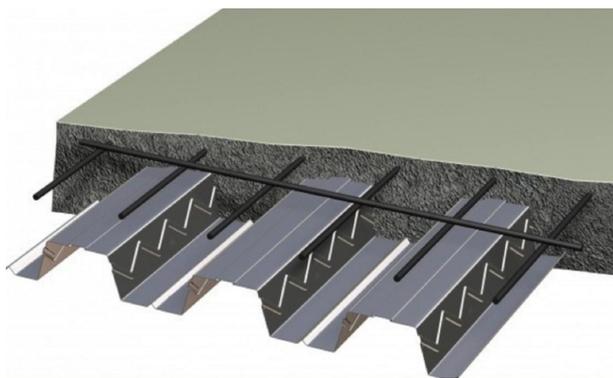


Рис. 3. Плиты перекрытий по профилированному стальному настилу



Рис. 4. Усиление перекрытия углеволокном



Рис. 5. ПВХ-мембрана для кровли

производство перекрытий и сокращает затраты на монтаж, обеспечивая нормативные показатели при одновременном снижении стоимости и трудозатрат.

Внешнее армирование с использованием композитных материалов (углеродных, стеклянных, арамидных волокон) эффективно при усилении конструкций [10]. Ленты и ткани, наклеиваемые на эпоксидную смолу, обладают высокой прочностью и упругостью, заменяя стальные элементы и существенно снижая массу добавленных материалов. Благодаря быстрому набору прочности и минимальному объему «мокрых» процессов, технология особенно удобна для реконструкции в условиях ограниченного времени и пространства.

Навесные вентилируемые фасады монтируются на кронштейны с образованием воздушного зазора и утеплением. Эта технология не требует сезонных ограничений, ускоряет темпы работ и снижает зависимость от погодных условий. Панели легко заменяются, обеспечивая высокую ремонтпригодность и длительный срок службы. В школах такие системы повышают термостабильность, сохраняют фасад в чистоте и уменьшают потребность в регулярных ремонтах.

ПВХ-мембраны для кровельных систем представляют собой армированные полотна, сочетающие гидроизоляцию, эластичность и устойчивость к УФ-излучению [11]. Легкие и удобные в укладке, они монтируются термосваркой, клеевым или балластным способом, включая монтаж при низких температурах и поверх старого покрытия. Высокая производительность укладки и сокращение расхода традиционных битумных материалов делают

мембраны выгодным решением при реконструкции, снижая общий вес системы и ускоряя выполнение работ.

Литература

1. Величенко, Е.А. О рекордном обновлении социальной инфраструктуры и ЖКХ в РФ в 2025–2026 гг. / Е.А. Величенко // ВСЕМ.ру [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://wsem.ru/publications/o_rekordnom_obnovlenii_sotsialnoy_infrastruktury_i_zhkkh_v_rf_v_2025_2026_gg__31409.

2. Куприянов, В.Н. Реконструкция объемно-планировочных параметров школ с использованием принципов и приемов биофильной архитектуры / В.Н. Куприянов, И.Т. Мирсаяпов, А.Г. Хабибулина, А.М. Хабибулина // Известия КазГАСУ. – 2023. – № 1(63) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/rekonstruktsiya-obemno-planirovochnyh-parametrov-shkol-s-ispolzovaniem-printsipov-i-priemov-biofilnoy-arhitektury>.

3. Бацаева, М.И. Оценка эффективности организационно-технологических решений при реконструкции зданий / М.И. Бацаева, А.В. Котляревская // Системные технологии. – 2023. – № 2(47) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-organizatsionno-tehnologicheskikh-resheniy-pri-rekonstruktsii-zdaniy>.

4. Никифоров, В.В. Выбор организационно-технологических решений устройства фасадных систем при реконструкции зданий / В.В. Никифоров // Вестник науки. – 2022. – № 12(57) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-organizatsionno-tehnologicheskikh-resheniy-ustroystva-fasadnyh-sistem-pri-rekonstruktsii-zdaniy>.

5. Зильберова, И.Ю. Моделирование энергосберегающих организационно-технологических процессов реконструкции зданий учебных учреждений / И.Ю. Зильберова, А.О. Вонгай, М.Д. Арцишевский // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 3(46) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-energoberegayuschih-organizatsionno-tehnologicheskikh-protsessov-rekonstruktsii-zdaniy-uchebnyh-uchrezhdeniy>.

6. Хуранов, В.Х. Реконструкция объемно-планировочного решения школы на примере здания в КБР / В.Х. Хуранов, Д.М. Канукова, А.М. Шинахов, И.А. Бичоев // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 7(115) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/rekonstruktsiya-obemno-planirovochnogo-resheniya-shkoly-na-primere-zdaniya-v-kbr>.

7. Paudyal, Y. A Case Report on Damage to School Buildings During the 2015 Nepal Earthquake and Reconstruction Strategy / Y. Paudyal, N. Bhandary // Research square. – 2023. – № 10 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/372001048_A_Case_Report_on_Damage_to_School_Buildings_During_the_2015_Nepal_Earthquake_and_Reconstruction_Strategy.

8. Усов, Б.А. Промышленные полы со слоем износа из фибробетона / Б.А. Усов, Е.В. Сидельникова // Системные технологии. – 2015. – № 17 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennye-poly-so-sloem-iznosa-iz-fibrobetona>.

9. Денисова, Е.В. Экспериментальные исследования показателей функционального качества сталежелезобетонной плиты перекрытия / Е.В. Денисова // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-pokazateley-funktsionalnogo-kachestva-stalezhelezobetonnoy-plity-perekrytiya>.

plity-perekrytiya.

10. Полищук, А.С. Применение композитных материалов при усилении железобетонных конструкций / А.С. Полищук // Вестник магистратуры. – 2019. – № 4-2(91) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-kompozitnyh-materialov-pri-usilenii-zhelezobetonnyh-konstruktsiy>.

11. Севостьянова, И.М. Анализ использования мембраны из поливинилхлорида в строительстве / И.М. Севостьянова, Е.К. Субботина, Е.Р. Иванова, П.А. Амзаракова, Л.А. Лукина // Московский экономический журнал. – 2019. – № 7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ispolzovaniya-membrany-iz-polivinilhlorida-v-stroitelstve>.

References

1. Velichenko, E.A. O rekordnom obnovenii sotsialnoi infrastruktury i ZhKKh v RF v 2025–2026 gg. / E.A. Velichenko // VSEM.ru [Electronic resource]. – Access mode : https://wsem.ru/publications/o_rekordnom_obnovenii_sotsialnoy_infrastruktury_i_zhkkh_v_rf_v_2025_2026_gg__31409.

2. Kupriianov, V.N. Rekonstruktsiia obemno-planirovochnykh parametrov shkol s ispolzovaniem printcipov i priemov biofilnoi arkhitektury / V.N. Kupriianov, I.T. Mirsaipov, A.G. Khabibulina, A.M. Khabibulina // Izvestiia KazGASU. – 2023. – № 1(63) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/rekonstruktsiya-obemno-planirovochnykh-parametrov-shkol-s-ispolzovaniem-printsipov-i-priemov-biofilnoy-arhitektury>.

3. Batcaeva, M.I. Otsenka effektivnosti organizatsionno-tehnologicheskikh reshenii pri rekonstruktsii zdaniy / M.I. Batcaeva, A.V. Kotliarevskaya // Sistemnye tekhnologii. – 2023. – № 2(47) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-organizatsionno-tehnologicheskikh-resheniy-pri-rekonstruktsii-zdaniy>.

4. Nikiforov, V.V. Vybor organizatsionno-tehnologicheskikh reshenii ustroystva fasadnykh sistem pri rekonstruktsii zdaniy / V.V. Nikiforov // Vestnik nauki. – 2022. – № 12(57) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-organizatsionno-tehnologicheskikh-resheniy-ustroystva-fasadnykh-sistem-pri-rekonstruktsii-zdaniy>.

5. Zilberova, I.Iu. Modelirovanie energosberegaiushchikh organizatsionno-tehnologicheskikh protsessov rekonstruktsii zdaniy uchebnykh uchrezhdenii / I.Iu. Zilberova, A.O. Vongai, M.D. Artcishevskii // Inzhenernyi vestnik Dona. – 2017. – № 3(46) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-energoberegayushchih-organizatsionno-tehnologicheskikh-protsessov-rekonstruktsii-zdaniy-uchebnykh-uchrezhdeniy>.

6. Khuranov, V.Kh. Rekonstruktsiia obemno-planirovochnogo resheniia shkoly na primere zdaniia v KBR / V.Kh. Khuranov, D.M. Kanukova, A.M. Shinakhov, I.A. Bichoev // Inzhenernyi vestnik Dona. – 2024. – № 7(115) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/rekonstruktsiya-obemno-planirovochnogo-resheniya-shkoly-na-primere-zdaniya-v-kbr>.

8. Usov, B.A. Promyshlennye poly so sloem iznosa iz fibrobetona / B.A. Usov, E.V. Sidelnikova // Sistemnye tekhnologii. – 2015. – № 17 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennye-poly-so-sloem-iznosa-iz-fibrobetona>.

9. Denisova, E.V. Eksperimentalnye issledovaniia pokazatelei funktsionalnogo kachestva stalezhelezobetonnoi plity perekrytiia / E.V. Denisova // Innovatsii i investitsii. – 2021. – № 6 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-pokazateley-funktsionalnogo-kachestva-stalezhelezobetonnoy-plity-perekrytiya>.

10. Polishchuk, A.S. Primenenie kompozitnykh materialov pri usilenii zhelezobetonnykh konstruktsii / A.S. Polishchuk // Vestnik magistratury. – 2019. – № 4-2(91) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-kompozitnykh-materialov-pri-usilenii-zhelezobetonnykh-konstruktsiy>.

11. Sevostianova, I.M. Analiz ispolzovaniia membrany iz polivinilkhlorida v stroitelstve / I.M. Sevostianova, E.K. Subbotina, E.R. Ivanova, P.A. Amzarakova, L.A. Lukina // Moskovskii ekonomicheskii zhurnal. – 2019. – № 7 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ispolzovaniya-membrany-iz-polivinilkhlorida-v-stroitelstve>.

Practical Approaches to Reducing Labor Intensity and Resource Consumption in the Reconstruction of Educational Institutions

A.D. Rumyantseva, I.L. Abramov

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

Key words and phrases: building reconstruction; labor intensity; resource efficiency; steel fiber concrete; ventilated facade; PVC membrane; school architecture; biophilic design; construction methods.

Abstract. Amid growing demands for urban quality and limited resources, the reconstruction of educational institutions becomes a top priority in developing social infrastructure. This paper explores practical approaches to reducing labor intensity and resource consumption during the modernization of school buildings. Particular focus is placed on fast-assembly technologies, the use of steel fiber concrete, ventilated façade systems, and composite reinforcement methods. The study highlights solutions that accelerate production cycles, reduce manual labor, and optimize logistics on space-constrained sites. Case studies of effective reconstruction, including the integration of biophilic architectural principles, are examined. A model is proposed for evaluating design solutions in terms of energy efficiency and technological feasibility. The findings illustrate the potential for comprehensive optimization without compromising quality.

© А.Д. Румянцева, И.Л. Абрамов, 2025

УДК 69.05

Эволюция опалубочных систем и их влияние на производительность труда при строительстве монолитных конструкций жилых зданий

Т.Э. Хаев, А.А. Позняк

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

Ключевые слова и фразы: 3D-опалубка; крупнощитовая опалубка; мелкощитовая опалубка; монолитное строительство; оборачиваемость опалубки; опалубочные системы; производительность труда; точность геометрии; трудоемкость монолитных работ; туннельная опалубка; эволюция опалубочных систем.

Аннотация. В статье рассматривается эволюция систем опалубки, используемых в монолитном домостроении. Целью работы является исследование влияния эволюции опалубочных систем на повышение производительности труда при строительстве монолитных конструкций жилых зданий.

Задачи исследования: анализ эволюции опалубочных систем, выявление их особенностей и определение ключевых факторов, влияющих на трудоемкость строительных процессов.

Гипотеза исследования заключается в предположении, что внедрение современных опалубочных систем способствует существенному росту производительности труда за счет сокращения трудоемких операций, повышения точности геометрии и увеличения циклов использования.

В исследовании применялись методы сравнительного анализа, структурно-технологического анализа и оценка применяемых технологических решений.

Полученные результаты подтверждают выдвинутую гипотезу: переход от традиционных деревянных конструкций к современным опалубочным системам позволяет сократить трудоемкость операций, ускорить цикл возведения этажей до 1–3 дней, а также снизить объемы отделочных работ вследствие высокой точности геометрии. Установлено, что ключевыми факторами роста производительности являются высокая оборачиваемость

современных систем, унификация крепежных элементов, уменьшение количества ручных операций.

Введение

В последнее время монолитное строительство стало одной из самых популярных технологий в России и многих странах мира. Это обусловлено следующими преимуществами монолитного домостроения:

- высокая скорость возведения благодаря автоматизации многих процессов;
- возможность реализации различных архитектурных идей благодаря использованию опалубок разных конфигураций;
- повышенный запас прочности, что делает такие дома устойчивыми к сейсмическим воздействиям;
- долгий срок службы, который может достигать 150 лет при соблюдении всех технологических норм.

Однако, несмотря на преимущества данной технологии, отечественная практика показывает недостаточную эффективность использования трудовых ресурсов, что ведет к снижению общей конкурентоспособности предприятий и удорожанию конечной продукции.

Одним из ключевых факторов, определяющих эффективность монолитного строительства, является процесс бетонирования, где опалубка играет одну из главных ролей.

Опалубка – это вспомогательная строительная конструкция, определяющая форму будущей постройки, ее размеры, положение в пространстве. Опалубочные системы используют абсолютно все предприятия, занимающиеся возведением, реставрацией и реконструкцией зданий.

Первые упоминания опалубочных технологий датируются III–II веком до нашей эры и связываются с возникновением так называемого римского бетона, положившего начало арочно-купольному строительству в древнем Риме.

Современные опалубки позволяют в разы увеличить производительность труда при производстве монолитных конструкций жилых зданий.

1. Исторические этапы развития опалубочных систем

Деревянная опалубка

Основным типом опалубки до 1970–1980 гг. оставалась деревянная. Палубой у такой опалубки служили доски, а каркас изготавливался из кругляка или пиломатериала. Такая опалубка характеризуется высокой трудоемкостью за счет того, что при сборке и демонтаже используется ручной труд. Также производительность труда во многом зависит от квалификации плотника. В среднем цикл возведения этажа занимает 10–14 дней. При всем этом повторное использование опалубки очень ограничено.

Инвентарная мелкощитовая опалубка

С 1980-х гг. стали массово внедрять стальные и алюминиевые инвентарные мелкощитовые опалубки, которые изготавливают на заводе.

Мелкощитовая опалубка – это легкая и универсальная система для возведения монолитных конструкций, состоящая из небольших щитов (обычно до 2,25 м²), которые монтируются вручную без использования кранов. Она применяется для строительства стен, колонн, фундаментов и сложных криволинейных форм, особенно в малоэтажном и частном строительстве, а также в условиях плотной застройки или ограниченного доступа для

техники.

Такая опалубка повысила количество повторного использования опалубки в среднем до 200 циклов, также повысила качество бетонных поверхностей, снизила затраты на крепление и подгон опалубки за счет унифицированных стоек, замков и телескопических подпорок и в целом позволила стандартизировать процесс бетонных работ и снизила влияние человеческого фактора.

При использовании мелкощитовой опалубки в среднем цикл возведения этажа занимает 3–5 дней.

Инвентарная крупнощитовая опалубка

В 2000-х гг. стали обретать большую популярность крупнощитовые опалубки, из-за того что темпы монолитного домостроения возросли и мелкощитовая опалубка перестала удовлетворять потребности строительного производства.

Монтаж готовых крупноразмерных щитов весом от 200 кг до нескольких тонн производится исключительно башенным краном. Роль рабочих сводится к направлению, выравниванию и соединению уже готовых модулей. Размеры щита привели к сокращению количества операций в 5–10 раз. Один щит размером 3×8 м заменяет 20–30 мелких. Меньше стыков, креплений, перемещений. Но при этом обязательно наличие мощного крана (желательно большегрузного) и свободного пространства для складирования и маневров. Цикл опалубливания этажа при равных условиях сокращается до 1–2 рабочих дней против 3–5 дней с мелкощитовой опалубкой.

Новые тренды: туннельные опалубки, 3D-опалубка

На сегодняшний день системы опалубок не перестают совершенствоваться. На рынке стали появляться туннельные опалубки, которые позволяют одновременно заливать стены и перекрытия, что значительно ускоряет весь цикл монолитных работ. Пропадает необходимость каждый раз выставлять геометрию стен и опор под перекрытия, что уменьшает количество ошибок и, как следствие, приводит к экономии времени на переделке, вместе с тем сокращается влияние человеческого фактора.

Также активно внедряют 3D-опалубку, что позволяет создавать сложные архитектурные формы. 3D-печать исключает подгонку щитов, исключает ошибки человеческого фактора. Ко всему вышесказанному повышается производительность труда за счет отсутствия расхождения между проектом и строительно-монтажными работами.

Ключевые факторы повышения производительности труда

Эволюция опалубки привела к повышению эффективности возведения монолитных конструкций при возведении жилых зданий. Среди всех факторов, влияющих на производительность труда, выделено три наиболее существенных фактора.

1. Простота монтажа и демонтажа

Современные опалубочные системы имеют унифицированные или интегрированные замки, которые выполнены по принципу простоты и быстроты действий. Некоторые системы вообще их не имеют, представляя собой единое полотно. Минимальное число креплений и продуманное расположение стяжек значительно сокращают время сборки и разборки, уменьшая количество операций и снижая требования к квалификации плотников.

2. Высокая оборачиваемость и долговечность комплектов

Качественные материалы обеспечивают длительный ресурс использования комплектов опалубки без потери качества готовых конструкций. Высокая оборачиваемость снижает трудозатраты на ремонт и замену элементов.

3. Точность геометрии

Предварительно изготовленные на заводе щиты имеют высокую точность и жесткость конструкций, что снижает расхождение проектных решений и строительно-монтажных работ. А также позволяет тратить намного меньше времени на создание сложных архитектурных форм.

Заключение

Эволюция опалубочных систем – от деревянных конструкций до современных опалубочных систем – стала основным фактором роста производительности труда в монолитном строительстве. Современные опалубочные системы позволяют существенно сокращать сроки возведения жилых зданий, уменьшать долю ручного труда, повышать точность конструкций и обеспечивать высокую ритмичность производственных процессов.

Литература

1. Лapidус, А.А. Технология строительного производства / А.А. Лapidус, В.Н. Гончаров. – М. : Академия, 2020. – 432 с.
2. Баженов, Ю.М. Технология монолитного строительства : учебник / Ю.М. Баженов, В.Г. Копылов, В.К. Савин. – М. : МГСУ, 2021. – 352 с.
3. Ходаков, В.С. Опалубочные системы в монолитном домостроении / В.С. Ходаков, А.В. Семенов. – СПб. : Профессиональное образование, 2020. – 240 с.
4. Хмельницкий, И.Ю. Современные опалубочные технологии / И.Ю. Хмельницкий. – М. : Инфра-М, 2019. – 188 с.
5. СП 70.13330.2020. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. – М. : Минстрой России, 2020.
6. СП 48.13330.2019. Организация строительства. – М. : Минстрой России, 2019.
7. Лapidус, А.А. Организация строительства : учебник для вузов / А.А. Лapidус, Ю.М. Баженов. – М. : АСВ, 2019. – 496 с.
8. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. – М. : Минстрой России, 2018.
9. ГОСТ Р 52085-2020. Опалубка. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2020.
10. Погонин, В.В. Монолитные конструкции. Технология возведения / В.В. Погонин. – М. : АСВ, 2018. – 304 с.
11. Журавлев, В.В. Индустриализация монолитного домостроения: современные тренды и решения / В.В. Журавлев, Е.Ю. Смирнов // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 7. – С. 18–25.
12. Официальный сайт компании Doka Russia. Инженерные решения и технические паспорта оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.doka.com/ru>.
13. ULMA Construction Russia. Официальные технические материалы и системные каталоги [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.ulmaconstruction.ru>.
14. Лapidус, А.А. Технология строительного производства / А.А. Лapidус, В.Н. Гончаров. – М. : Академия, 2020. – 432 с.
15. Гордеев, В.И. Технология возведения монолитных железобетонных конструкций / В.И. Гордеев, А.Г. Михайлов. – М. : Альянс, 2021. – 272 с.
16. Хубаев, А.О. Организационно-технологические решения, влияющие на конечный

потенциал производства бетонных работ в зимний период / А.О. Хубаев // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2018. – № 4(103). – С. 57–61.

17. Фатулаев, Р.С. Использование современных строительных материалов как фактор, влияющий на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта / А.О. Фатулаев, Т.Э. Хаев // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2019. – № 5(116). – С. 224–228.

References

1. Lapidus, A.A. Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva / A.A. Lapidus, V.N. Goncharov. – M. : Akademiya, 2020. – 432 s.

2. Bazhenov, Iu.M. Tekhnologiya monolitnogo stroitelstva : uchebnik / Iu.M. Bazhenov, V.G. Kopylov, V.K. Savin. – M. : MGSU, 2021. – 352 s.

3. Khodakov, V.S. Opalubochnye sistemy v monolitnom domostroenii / V.S. Khodakov, A.V. Semenov. – SPb. : Professionalnoe obrazovanie, 2020. – 240 s.

4. Khmel'nitskii, I.Iu. Sovremennye opalubochnye tekhnologii / I.Iu. Khmel'nitskii. – M. : Infra-M, 2019. – 188 s.

5. SP 70.13330.2020. Nesushchie i ogradzdaiushchie konstrukticii. Aktualizirovannaia redaktsiia SNiP 3.03.01-87. – M. : Minstroii Rossii, 2020.

6. SP 48.13330.2019. Organizatsiia stroitelstva. – M. : Minstroii Rossii, 2019.

7. Lapidus, A.A. Organizatsiia stroitelstva : uchebnik dlia vuzov / A.A. Lapidus, Iu.M. Bazhenov. – M. : ASV, 2019. – 496 s.

8. SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukticii. – M. : Minstroii Rossii, 2018.

9. GOST R 52085-2020. Opalubka. Obshchie tekhnicheskie usloviia. – M. : Standartinform, 2020.

10. Pogonin, V.V. Monolitnye konstrukticii. Tekhnologiya vozvedeniia / V.V. Pogonin. – M. : ASV, 2018. – 304 s.

11. Zhuravlev, V.V. Industrializatsiia monolitnogo domostroeniia: sovremennye trendy i resheniia / V.V. Zhuravlev, E.Iu. Smirnov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2021. – № 7. – S. 18–25.

12. Ofitsialnyi sait kompanii Doka Russia. Inzhenernye resheniia i tekhnicheskie pasporta oborudovaniia [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.doka.com/ru>.

13. ULMA Construction Russia. Ofitsialnye tekhnicheskie materialy i sistemnye katalogi [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.ulmaconstruction.ru>.

14. Lapidus, A.A. Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva / A.A. Lapidus, V.N. Goncharov. – M. : Akademiya, 2020. – 432 s.

15. Gordeev, V.I. Tekhnologiya vozvedeniia monolitnykh zhelezobetonnykh konstrukticii / V.I. Gordeev, A.G. Mikhailov. – M. : Alians, 2021. – 272 s.

16. Khubaev, A.O. Organizatsionno-tekhnologicheskie resheniia, vliiaushchie na konechnyi potentsial proizvodstva betonnykh rabot v zimnii period / A.O. Khubaev // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2018. – № 4(103). – S. 57–61.

17. Fatulaev, R.S. Ispolzovanie sovremennykh stroitelnykh materialov kak faktor, vliiaushchii na effektivnost organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenii pri provedenii kapital'nogo remonta / A.O. Fatulaev, T.E. Khaev // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2019. – № 5(116). – S. 224–228.

The Evolution of Formwork Systems and Their Impact on Labor Productivity in the Construction of Monolithic Residential Buildings

T.E. Khaev, A.A. Poznyak

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

Key words and phrases: 3D formwork; large-panel formwork; small-panel formwork; monolithic construction; formwork turnover; formwork systems; labor productivity; geometric accuracy; labor intensity of monolithic work; tunnel formwork; evolution of formwork systems.

Abstract. This article examines the evolution of formwork systems used in monolithic housing construction.

The aim of the study is to investigate the impact of formwork system evolution on increasing labor productivity in the construction of monolithic residential buildings.

The objectives of the study are to analyze the evolution of formwork systems, identify their characteristics, and determine key factors influencing the labor intensity of construction processes.

The study's hypothesis is that the introduction of modern formwork systems contributes to a significant increase in labor productivity by reducing labor-intensive operations, improving geometric accuracy, and extending the lifespan of construction.

The study utilized comparative analysis, structural and technological analysis, and evaluation of the applied technological solutions.

The obtained results confirm the hypothesis: the transition from traditional timber structures to modern formwork systems reduces labor intensity, accelerates the floor construction cycle to 1–3 days, and reduces the amount of finishing work due to high geometric accuracy. It has been established that the key factors in productivity growth are the high turnover of modern systems, the standardization of fasteners, and the reduction in the number of manual operations.

© Т.Э. Хаев, А.А. Позняк, 2025

УДК 728.1:72.03

Поиски своеобразия в архитектуре жилых кварталов 1970-х гг. на Юго-Западе Ленинграда

А.А. Смирнов, Е.Н. Тараско

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург (Россия)*

Ключевые слова и фразы: архитектура; конструкция; многоэтажный дом; панельный дом.

Аннотация. Цель исследования – показать развитие советского модернизма, уникальность его архитектурных, объемно-пространственных и конструктивных решений на примере жилых кварталов Юго-Запада г. Ленинграда.

Задачи исследования: собрать информацию о практике застройки кварталов Юго-Запада Ленинграда середины 1970-х годов; проанализировать преимущества и недостатки кварталов этого периода; свести в таблицу преимущества и недостатки выбранных кварталов с кварталами прошлых лет; сделать выводы из проведенного анализа.

Гипотеза: постройки 1970-х годов, несмотря на скудность ресурсов, смогли стать передовыми тогда и остаются таковыми сейчас на фоне современности. Данная статья предлагает взглянуть на объекты архитектуры жилой застройки эпохи заката классического ортогонального модернизма и проанализировать те новаторские решения, которые выделяют их на фоне предшествующего и современного строительного периода.

Методы: сравнительный, визуально-аналитический.

В результате проделанной работы выполнена фотофиксация объектов, собран исторический материал в сравнении с аналогами предыдущего периода; рассмотрен ряд жилых кварталов южных районов Санкт-Петербурга периода 1970-х гг.; приведены основные параметры, особенности, преимущества и недостатки по сравнению с домами 1960-х гг.

Данная статья фиксирует новые веяния в советской архитектуре и реакцию советских архитекторов на кризис ортогонального модернизма середины 1970-х гг.

Ортогональность и планировочная упрощенность модернизма 1960-х гг. привела к однообразию новых индустриальных районов городов СССР. Это стало причиной потери



Рис. 1. Прютт-Айгоу (1953–1973), арх. М. Ямасаки. Снос зданий в 1972 г.

градостроительной средой индивидуальности и кода места, утраты местного колорита, игнорирования местных особенностей планировочной организации.

Однообразие массовой архитектуры 1950–60-х годов не было органическим пороком индустриальной архитектуры – в эти годы решалась прежде всего проблема «количественная» [1]. На протяжении более десятка лет расширяющиеся территории Ленинграда, а также других советских городов застраивались с большой интенсивностью. Такой темп и методы выдвигали сложные градостроительные задачи на основе типового индустриального домостроения.

К 1970-м годам ортогональный модернизм исчерпал себя – чрезмерный аскетизм архитектурных решений и скованные жилищные условия толкали архитекторов и инженеров на поиски новых решений в проектировании городских массивов.

В 1966 г. был принят очередной генеральный план Ленинграда, в котором предлагалась активная застройка юго-западных территорий и создание морского фасада города [2].

На смену жестким планировочным схемам пришли более гибкие и разнообразные методы организации пространства. Были переосмыслены типовые элементы, приемы архитектуры, начали меняться условия жизни. Развивался новый этап в развитии теории и практики советского модернизма.

Одним из идеологов модернизма был французский архитектор Ле Корбюзье (1887–1965). Согласно его «пяти отправным точкам архитектуры», человек должен был хорошо себя чувствовать в белом здании с ленточными окнами, с видом на природу.

Жилой квартал Прютт-Айгоу архитектора М. Ямасаки, построенный в 1953 г. в штате Миссури, США, являлся идеальным воплощением идей Корбюзье в крупном градостроительном образовании. Однако спустя 20 лет это привело не к идеальному человеческому обществу, а к криминализации среды. Это толкнуло власти к единственному выходу – расселению жителей и сносу квартала (рис. 1). «Идеальная» модель архитектуры не учитывала, что каждый человек индивидуален и уникален. Менталитет личности, ее эстетические предпочтения и образ жизни человека, на которые прямо влияет психология восприятия архитектуры, ее оценка, которая складывается из жизненного опыта, условий воспитания и особенностей культуры, что и делает каждого человека абсолютно индивидуальным. Историк архитектуры Ч. Дженкс назвал дату сноса Прютт Айгоу смертью модернизма. Этот исторический факт можно рассматривать как неудавшийся эксперимент над обществом, которое в условиях рафинированной, стерилизованной ортогональной искусственной среды начинает социально деградировать.

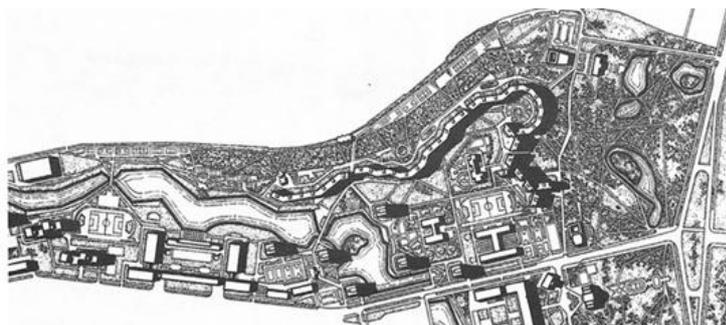


Рис. 2. Квартал № 28 в Сосновой Поляне. Генеральный план



Рис. 3. Район Сосновая Поляна, застройка квартала № 28



Рис. 4. Проект колористического решения квартала № 28 Сосновой Поляны



Рис. 5. Точечная застройка квартала № 28 в Сосновой Поляне

После длительного этапа использования в СССР форм неоклассицизма 1935–1955 гг. в 1954 г. правительство Н.С. Хрущева издает декрет об устранении архитектурных излишеств. Начиная с 1955 г. страна встает на путь Западного модернизма.

Эпоха архитектурного модернизма в мире пришлось на время восстановления строительной отрасли после Второй Мировой войны. Штучный способ возведения зданий не соответствовал масштабам задачи и уровню развития индустриальных технологий про-

изводства. Внедрение приемов типового строительства в области организации городской среды должно было обеспечить нужные объемы и экологию процесса. Пионером оказалась Франция с разработкой серии *HLM*, которая показала высокую технологическую и социальную эффективность, хорошие пластические возможности организации жилых районов. Эти возможности были использованы в институте Ленпроект для застройки квартала № 28 в Сосновой Поляне (1970–1973). Проект разрабатывался в мастерской № 7 под руководством лауреата Государственной премии, архитектора Е.М. Полторацкого с привлечением специалистов мастерской № 18 Н.З. Матусевича и А.Б. Товбина, которые предложили использовать для застройки квартала архитектурно-пластические и колористические решения для типовой серии 1-ЛГ-600 Автоковского ДСК. К работе были подключены также инженеры А.В. Эрмант, Ю.Л. Ветренко, Н.А. Золотарев, Н.А. Терещенко.

Особенностью территории квартала была речка Сосновка, фактически разделившая ее по диагонали с севера на юг на две части. Ее русло также спровоцировало принять объемно-пространственное решение застройки в виде свободно лежащей ленты, состоящей из жилых блок-секций общей меридиональной направленности (рис. 2).

Новизна принятого планировочного решения потребовала аналогичных изменений в конструктивной схеме блок-секций, которую в тот момент могла обеспечить только данная типовая серия. «Конструктивно-планировочная основа четырехквартирных секций 1ЛГ-600 – узкий план поперечных несущих стен, смещенных относительно друг друга по продольной оси на 1,5 м. Шаги 3 и 3,3 м, пролеты 4,8 и 5,7 м. Прием шахматного расположения поперечных несущих стен в плане позволил благодаря незначительной трансформации структуры секции и при относительно небольшом доборе индустриальных изделий получить универсальный набор элементов блокировки с большой степенью градостроительной маневренности» [4]. Комнаты в поворотных линейных участках получили план в виде трапеции, а секции могли соединяться по трем направлениям, для чего было разработано треугольное ядро жесткости на основе лоджий, из которых в северной части дома-ленты перед парком был сформирован блок 15-этажных трилистников, составленных на базе тех же типовых секций, соединенных специальным противопожарным узлом лоджий.

«Некоторым оппонентам, воспитанным на архитектуре «прямого угла», криволинейная конфигурация жилой структуры показалась неприемлемой. Между тем, она не только естественна для человеческого восприятия, но и в какой-то мере традиционна для Ленинграда: застройка набережных Мойки, канала Грибоедова», – отмечает Наум Захарович Матусевич, один из авторов проекта разрабатываемого квартала [6].

Играя роль ограждения квартала с запада, эта 9-этажная стена-лента формировала пространство для размещения необходимых объектов социального назначения в увязке с 15-этажными точечными домами, выстроенными из панелей ЛГ-600-14А (рис. 3–5).

Важным результатом в проектировании квартала № 28 стало принятие новых объемно-пространственных решений, продиктованных методами типового строительства в рамках возможностей 3-го Автоковского Домостроительного комбината.

В практике строительства 60-х годов, когда основные объемы формировались из типовых 5-этажных зданий, для будущей выразительной застройки резервировались свободные участки вдоль важных магистралей. В них предполагалось в дальнейшем осуществить строительство зданий по индивидуальным проектам.

Такие лакуны были оставлены в кварталах № 9 и 10 Ульянки на проспекте Ветеранов. Разработкой проекта занимались архитекторы Я.М. Майзелис, Е.М. Полторацкий, Г.Я. Бишко, С.Д. Митягин. Планировочная особенность этого места проявилась в плавной дуге проспекта, которая обусловила впоследствии формирование двух индивидуальных

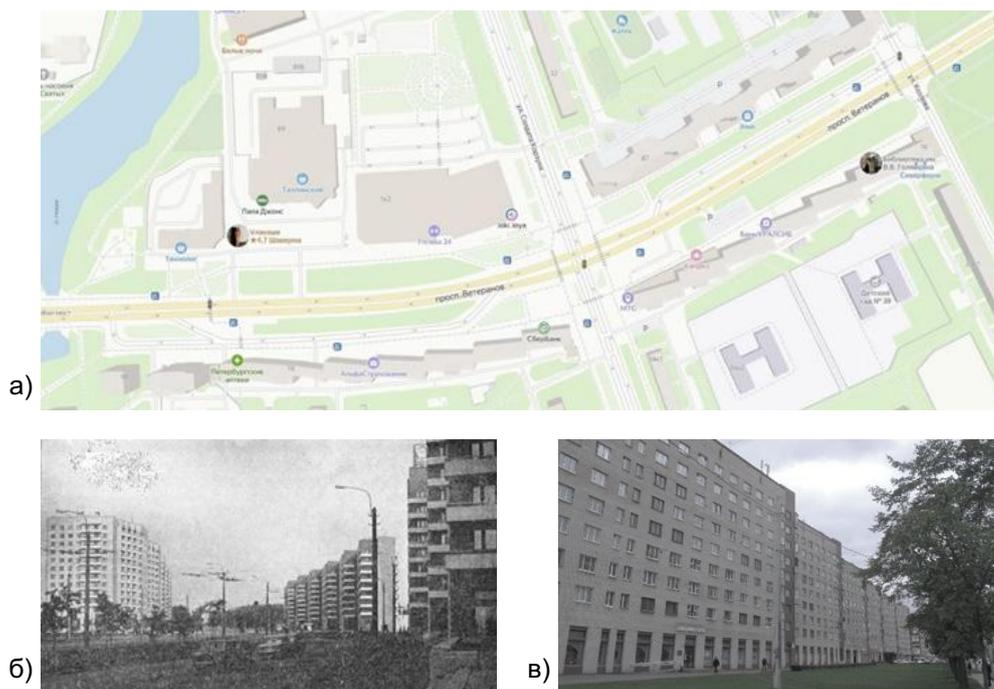


Рис. 6. Квартал № 9 и 10 в Ульяновке: а) схема квартальной застройки; б) дома № 76, 78, по пр. Ветеранов; в) дом № 76 (фото автора)

9-этажных кирпичных зданий (№ 76 и 78). Они составлены из практически одинаковых блоков спаренных кирпичных секций и расположены таким образом, чтобы их северо-западные углы находились на этой плавной кривой, для чего был использован прием сдвига блоков (рис. 6). Это решение дало возможность спроектировать в выступающих частях домов квартиры со светлыми коридорами, ориентированными на запад.

Следующий пример творческого подхода к организации городской среды – кварталы 1 и 1а западнее проспекта Стачек. Это примерно 90 га заболоченной земли, разделенных на два неравнозначных участка Трамвайным проспектом. Пространство рассчитано для размещения около 60 000 жителей. Проект разработали архитекторы Е.М. Полторацкий, Н.Н. Васильев, С.Д. Митягин при участии архитекторов В.М. Власовой и В.А. Соловьевой.

Сложная конфигурация участка определила общее объемно-пространственное решение комплекса и планировочное формирование системы жилых улиц, связывающих в единое целое сеть социальных объектов обслуживания жилого района (рис. 7, 8).

Квартал состоит из рядовой застройки домами-пластинами на основе серии ЛГ-600 с применением сдвига секций, которые образуют в плане многогранники с углами 135° и 90° . В точках поворота каждого многогранника расположены кирпичные поворотные секции – «трилистники», которые в подобной структуре играют роль «шарниров».

Планировочное решение застройки комплекса и экономическая задача максимально применить изделия 3-го ДСК обусловили создание пространственной системы из периферийных жилых групп, образованных 9-этажными типовыми блок-секциями. А в центральных пространствах кварталов вдоль жилых улиц – устройство 15-этажных пластин, составляющих архитектурный скелет комплекса (рис. 9–11).

Важной архитектурно-планировочной задачей в проектировании района стала проблема сопряжения разноэтажных блок-секций и выстраивания на этой базе нужных конфигураций пространственных ячеек комплекса. Эта задача была решена путем проектирова-



Рис. 7. Квартал № 1а западнее пр. Стачек, схема квартальной застройки

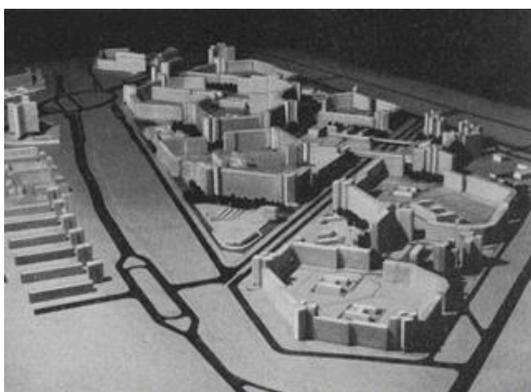


Рис. 8. Макет кварталов 1 и 1а [14]



Рис. 9. Строительство квартала 1а в 1976 г. [15]



Рис. 10. Вид с пр. Стачек (фото автора)



Рис. 11. Дворовое пространство (фото автора)

Таблица 1. Сравнительный анализ архитектурных решений 1970-х годов района Юго-Запада Ленинграда и ранних 5–9-этажных панельных домов 1960-х годов

	Недостатки	Преимущества
Индивидуальные кирпично-сборно-монолитные дома 1970-х гг.	Увеличение сроков проектирования и строительства за счет использования нетиповых и не апробированных планировочных решений	Относительно малыми затратами удалось добиться уникального объемно-планировочного решения с привязкой к конкретной градостроительной ситуации
	Уникальность проекта является его недостатком: приложены значительные проектные усилия по модификации типовой серии в уникальное решение, которое не может быть использовано повторно, т.к. жестко привязано к конкретному месту	При превращении такого метода проектирования в систему город получает разнообразную архитектурную среду, отвечающую особенностям градостроительной ситуации, коду места и эстетическим потребностям человека
Панельные дома стандартных каталогов 1960-х гг.	Типовая многократно повторяющаяся застройка создает обезличенную среду обитания	Быстрое проектирование и строительство стандартного типового панельного жилого дома по типовым стандартным каталогам
	Физическое старение. Продуваемость стыков, протечки кровли. Физический износ коммуникаций, влажные подвалы, тесные кухни, низкие потолки	Относительная дешевизна в сравнении с любыми нетиповыми решениями

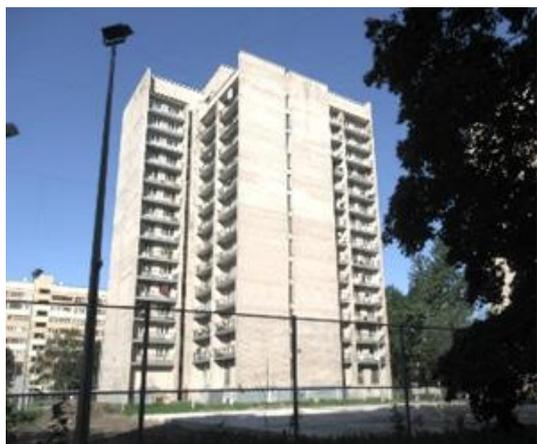


Рис. 12. «Точка» серии Щ-9378/23к (фото автора)



Рис. 13. ПТУ «Реставратор»

ния специальной поворотной блок-секции трилистника, обеспечивающей в двух вариантах этажности соединение 9-, 12- и 15-этажных корпусов. Было запланировано 22 такие блок-секции, что дало возможность Главленинградстрою выпустить серию индивидуальных треугольных плит перекрытий и заказать подготовку лицевого кирпича нужного размера.

Точечная застройка района осуществлена жилыми домами серии Щ-9378/23к (рис. 12), в некоторых из них находятся общежития Академии реставрации и дизайна (ПТУ «Реставратор») (рис. 13).

Здание «Реставратора» экспрессивно вписывается с северо-западной стороны в модернистский ансамбль квартала [9–12]. Идея о форме «шестеренки» принадлежит архитекторам Ю.В. Билинскому, М.Я. Бренер, Т.П. Иващенко [13]. Здесь, в «Реставраторе»,

в 1980-е учились Виктор Цой (на резчика по дереву) и Михаил Горшенев (на художника-реставратора).

Несмотря на ограниченность ресурсов в условиях централизованного планирования, ограниченный сортамент типовых железобетонных изделий, несущих и ограждающих конструкций, а также инерцию системы заводского производства, некоторым архитекторам удавалось привнести элементы разнообразия и новизны в планировку и облик жилых домов при минимальных дополнительных затратах. На фоне ранних жилых домов 1960-х годов дома Брежневской эпохи становятся более интересными по своей планировке, фасадным и силуэтным решениям, приобретают собственное лицо и уже выглядят не неизбежностью в условиях послевоенного восстановления, а эстетически зрелым и конструкторски выверенным шагом вперед. Благодаря удачной интеграции объемно-планировочных, архитектурных и инженерно-конструктивных решений создается более высокое архитектурное качество городской среды.

На данный момент дома 1970-х годов, даже с учетом современных условий массовой уплотнительной застройки, сохраняют оригинальные качества и обладают известной степенью смелости, уместности и новизной для своего времени. Сегодня, спустя полвека, некоторые из них достойны стать памятниками архитектуры.

Литература

1. Курбатов, Ю.И. От оттепели к преодолению стереотипов / Ю.И. Курбатов // Архитектурный Петербург. – 2012. – № 3(13).
2. Лисовский, В.Г. Ленинград. Районы новостроек / В.Г. Лисовский. – Лениздат, 1983. – 284 с.
3. Смирнов, А.А. Объекты советского модернизма 1970-х гг. района Купчино в Ленинграде / А.А. Смирнов, Е.Н. Тараско // Components of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 10(100). – С. 12–22.
4. Матусевич, Н.З. Индустриальность и разнообразие / Н.З. Матусевич // СиАЛ. – 1977. – № 11.
5. Матусевич, Н. Блокировка типовых секций: комплекс возможностей и комплекс условий / Н. Матусевич, А. Товбин, А. Эрмант, И. Терещенко // Архитектура СССР. – 1970. – № 7. – С. 16–17.
6. Смирнов, А.А. Развитие многоэтажных зданий / А.А. Смирнов. – СПб. : СПбГАСУ, 2022. – 389 с.
7. Район Сосновая Поляна, квартал № 28 // СиАЛ. – 1977. – № 11.
8. Полторацкий, Е.М. Проект колористического решения квартала № 28 / Е.М. Полторацкий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.spbmuseum.ru/funds/576/51764/?lang_ui=en.
9. Современная советская архитектура 1955–1980 гг. / под ред. Н.П. Былинкина, А.В. Рябушина. – М. : Стройиздат, 1985.
10. Смирнов, А.А. Эволюция музейного пространства XX в. / А.А. Смирнов // Components of Scientific and Technological Progress. – 2022. – № 4(70). – С. 16–26.
11. Смирнов, А.А. Социальные факторы при проектировании жилых домов / А.А. Смирнов // Components of Scientific and Technological Progress. – 2022. – № 3(81). – С. 43–48.
12. Маклакова, Т.Г. Конструкции гражданских зданий / Т.Г. Маклакова, С.М. Нанасова, Е.Д. Бородай. – М. : Стройиздат, 1986.
13. Бронуицкая, А. Ленинград: Архитектура советского модернизма 1955–1991 гг. :

справочник-путеводитель / А. Брoнoвoцкaя, Н. Мaлoнoв, Ю. Пaльмoв. – М. : Garage, 2021.

14. Макет кварталов 1 и 1А в Юго-Западном районе Ленинграда [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://dzen.ru/a/XAPnzo_PCARSMjGk.

15. Строительство квартала 1А в Юго-Западном районе Ленинграда [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pastvu.com/p/1539070>.

References

1. Kurbatov, Iu.I. Ot otpepli k preodoleniiu stereotipov / Iu.I. Kurbatov // Arkhitekturnyi Peterburg. – 2012. – № 3(13).

2. Lisovskii, V.G. Leningrad. Raiony novostroek / V.G. Lisovskii. – Lenizdat, 1983. – 284 s.

3. Smirnov, A.A. Obekty sovetskogo modernizma 1970-kh gg. raiona Kupchino v Leningrade / A.A. Smirnov, E.N. Tarasko // Components of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 10(100). – S. 12–22.

4. Matusevich, N.Z. Industrialnost i raznoobrazie / N.Z. Matusevich // SiAL. – 1977. – № 11.

5. Matusevich, N. Blokirovka tipovykh sektcii: kompleks vozmozhnostei i kompleks uslovii / N. Matusevich A. Tovbin, A. Ermant, I. Tereshchenko // Arkhitektura SSSR. – 1970. – № 7. – S. 16–17.

6. Smirnov, A.A. Razvitie mnogoetazhnykh zdanii / A.A. Smirnov. – SPb. : SPbGASU, 2022. – 389 s.

7. Raion Sosnovaia Poliana, kvartal № 28 // SiAL. – 1977. – № 11.

8. Poltoratckii, E.M. Proekt koloristicheskogo resheniia kvartala № 28 / E.M. Poltoratckii [Electronic resource]. – Access mode : https://www.spbmuseum.ru/funds/576/51764/?lang_ui=en.

9. Sovremennaia sovetskaia arkhitektura 1955–1980 gg. / pod red. N.P. Bylinkina, A.V. Riabushina. – М. : Stroizdat, 1985.

10. Smirnov, A.A. Evoliutciia muzeinogo prostranstva KhKh v. / A.A. Smirnov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2022. – № 4(70). – S. 16–26.

11. Smirnov, A.A. Sotcialnye faktory pri proektirovanii zhilykh domov / A.A. Smirnov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2022. – № 3(81). – S. 43–48.

12. Maklakova, T.G. Konstrukcii grazhdanskikh zdanii / T.G. Maklakova, S.M. Nanasova, E.D. Borodai. – М. : Stroizdat, 1986.

13. Bronovitckaia, A. Leningrad: Arkhitektura sovetskogo modernizma 1955–1991 gg. : spravochnik-putevoditel / A. Bronovitckaia, N. Malinin, Iu. Palmin. – М. : Garage, 2021.

14. Maket kvartalov 1 i 1A v Iugo-Zapadnom raione Leningrada [Electronic resource]. – Access mode : https://dzen.ru/a/XAPnzo_PCARSMjGk.

15. Stroitelstvo kvartala 1A v Iugo-Zapadnom raione Leningrada [Electronic resource]. – Access mode : <https://pastvu.com/p/1539070>.

Searching for Originality in the Architecture of Residential Areas in the 1970s in the South-West of Leningrad

A.A. Smirnov, E.N. Tarasko

*St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg (Russia)*

Key words and phrases: architecture; construction; multi-storey building; panel house; district.

Abstract. The purpose of this study is to demonstrate the development of Soviet modernism and the uniqueness of its architectural, spatial, and design solutions using residential neighborhoods in the southwest of Leningrad as an example.

Research objectives are to collect information on the development practices of neighborhoods in the southwest of Leningrad in the mid-1970s; to analyze the advantages and disadvantages of neighborhoods of this period; provide a table of the advantages and disadvantages of the selected neighborhoods compared to neighborhoods of previous years; and draw conclusions from the analysis.

The hypothesis is based on the assumption that despite resource constraints, buildings of the 1970s were advanced then and remain so today, compared to modern times. This article offers a look at residential architectural structures from the waning days of classical orthogonal modernism and analyzes the innovative solutions that distinguish them from previous and contemporary construction periods.

Methods are comparative and visual-analytical.

As a result of this study, photographs of the objects were taken and historical material was collected for comparison with similar buildings from the previous period. A number of residential areas in the southern districts of St. Petersburg during the 1970s are examined; the main parameters, features, advantages and disadvantages are presented in comparison with buildings from the 1960s.

© А.А. Смирнов, Е.Н. Тараско, 2025

УДК 624.9

Комплексный анализ эффективности внедрения модульного домостроения в современных условиях

Д.В. Гулякин, А.А. Ляшова, В.П. Гончаровская,
В.Р. Иванчук

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
технологический университет»,
г. Краснодар (Россия)*

Ключевые слова и фразы: барьеры внедрения; инновации; модульное домостроение; перспективы; строительство; эффективность.

Аннотация. Цель – исследовать аспекты эффективности внедрения модульного домостроения в современных условиях.

Задачи: провести комплексный анализ перспектив развития модульного домостроения в России.

Гипотеза исследования: развитие модульного домостроения в России как фактор эффективной экономики строительной отрасли.

Методы: теоретический анализ, систематизация.

Достигнутые результаты: исследование показало экономические, экологические и социальные эффективные аспекты применения модульных технологий.

В последние годы модульное строительство становится все более актуальным. Благодаря своей универсальности и множеству преимуществ, оно все чаще воспринимается как перспективное направление в строительной индустрии. Суть данной технологии заключается в производстве крупных строительных элементов (модулей) на специализированных заводах, которые затем транспортируются и монтируются на площадке. Этот метод позволяет значительно ускорить процесс возведения зданий, улучшить контроль качества и минимизировать влияние внешних факторов, включая погодные условия.

В российской строительной сфере модульные технологии начинают играть заметную роль. Особенно востребованы они при возведении социально значимых объектов – школ, детских садов, медицинских учреждений, где сроки реализации проектов играют решающую роль. Помимо этого, растет интерес к созданию жилых комплексов и коммерческой недвижимости на основе модульных решений [1].

Модульный дом – это конструкция, состоящая из нескольких предварительно изготовленных секций, которые могут быть собраны на строительной площадке. Каждый отдельный модуль представляет собой завершённый элемент с внутренней отделкой и необходимыми инженерными системами, такими как водоснабжение, отопление и электричество. Эта методика позволяет существенно сократить сроки строительства и уменьшить финан-

совые затраты.

Идея модульного строительства не является новшеством. Первые опыты с такими конструкциями начали проводиться в середине XX в. Тем не менее, настоящий бум в этой области наблюдается в последние десятилетия благодаря прогрессу в разработке строительных материалов и технологий. Современные модульные дома способны соперничать с традиционными постройками по уровню комфорта, долговечности и эстетической привлекательности.

Отметим преимущества модульных домов.

Быстрота возведения. Одним из главных достоинств модульных домов является их высокая скорость строительства. Полностью готовый дом может быть собран всего за несколько недель, что делает эту технологию особенно привлекательной для тех, кто стремится быстро обзавестись жильем.

Экономическая эффективность. Модульные дома зачастую оказываются более доступными по цене, чем традиционные здания, благодаря снижению затрат на рабочую силу и материалы. Поскольку модули производятся на заводе, это позволяет оптимизировать производственные процессы и снизить расходы.

Гибкость в размещении. Модульные дома легко перемещаются. Если возникает необходимость сменить место жительства, такой дом можно разобрать и транспортировать на новое место без значительных затрат.

Энергоэффективность. Модульные дома могут проектироваться с учетом современных стандартов энергоэффективности. Использование высококачественных утеплителей и новейших технологий позволяет существенно сократить расходы на отопление и кондиционирование воздуха [2].

Эффективность подобных решений проявляется не только в скорости возведения зданий, но и в их экономической, экологической и социальной значимости.

Экономическая эффективность модульного строительства заключается, прежде всего, в значительном сокращении сроков возведения объектов. В отличие от традиционных методов, время реализации проекта может быть уменьшено в два-три раза, что особенно актуально в условиях необходимости быстрого создания жилья или социальных объектов.

Экологическая составляющая также играет важную роль, так как модульное строительство снижает негативное воздействие на природу. Заводское производство модулей позволяет точно дозировать и рационально использовать материалы, что значительно уменьшает объем строительных отходов. Кроме того, сокращение транспортных операций и уменьшение времени строительства способствуют снижению углеродного следа, делая модульное строительство важным элементом «зеленой» экономики.

Социальная эффективность данного подхода проявляется в увеличении доступности жилья для различных групп населения. Более низкие затраты на строительство и возможность серийного производства делают такие проекты привлекательными для массового рынка. Также важна скорость возведения объектов социальной инфраструктуры – школ, детских садов и больниц, которые особенно необходимы в регионах с быстрым ростом населения.

Тем не менее, достижение высокой экономической, экологической и социальной эффективности невозможно без использования современных технологических решений, формирующих новые стандарты в строительной отрасли. В современном модульном строительстве активно применяется BIM-моделирование, которое интегрирует процессы проектирования и строительства, минимизируя ошибки и снижая затраты. Инновационные материалы, такие как легкие металлоконструкции, композиты и энергоэффективные пане-

ли, способствуют повышению качества зданий. Автоматизация и роботизация производственных процессов ускоряют их выполнение и делают более надежными.

Несмотря на очевидные преимущества, модульное домостроение сталкивается с рядом проблем:

- экономические – высокие стартовые затраты на создание производственных мощностей и дорогая логистика при перевозке модулей на большие расстояния;
- правовые – отставание законодательной базы (СНиПы и ГОСТы не всегда учитывают специфику модульных зданий) и сложности с сертификацией материалов;
- инфраструктурные – неравномерное развитие производств в регионах и недостаток специалистов, умеющих проектировать и собирать такие здания.

Эти факторы существенно замедляют распространение технологии в нашей стране. Тем не менее, при системной поддержке со стороны государства и бизнеса модульное строительство имеет серьезные перспективы развития в России.

Модульное строительство в России обладает значительным потенциалом, который обусловлен растущей необходимостью быстрого возведения доступного и качественного жилья, а также модернизации социальной инфраструктуры. В условиях увеличения численности городского населения и активного внедрения государственных программ в области жилищного строительства эта технология может стать ключевым инструментом для решения основных проблем сектора.

Одним из перспективных направлений является применение модульных технологий для возведения социальных объектов, таких как школы, детские сады и больницы. Эти здания часто требуются в кратчайшие сроки и при ограниченных финансах, что делает модульный подход особенно актуальным. Кроме того, возведение жилых комплексов в малых и средних городах также представляется многообещающим направлением, так как здесь необходимо сочетание доступности и высокого качества жилья [3].

Особое значение модульное строительство может иметь для регионов с суровыми климатическими условиями, где традиционные строительные процессы затруднены. Сборка модулей на заводе и их последующая транспортировка позволяют минимизировать влияние погодных факторов.

Будущее модульного строительства тесно связано с его внедрением в концепцию устойчивого развития и создание «умных городов». Применение энергоэффективных материалов, современных цифровых технологий проектирования (таких как *BIM*) и автоматизация производственных процессов обеспечат улучшение качества строящихся объектов и снижение затрат [4].

Таким образом, при наличии государственной поддержки, модернизации нормативной базы и повышении общественного доверия модульное строительство может стать одним из основных направлений развития строительной отрасли в России. В современных условиях модульное домостроение представляет собой перспективное направление, способное эффективно реагировать на ключевые вызовы времени, такие как необходимость ускоренного возведения жилья, повышение его доступности и улучшение экологических характеристик. Анализ показал, что модульные технологии обладают множеством преимуществ: экономическая и социальная эффективность, сокращение сроков строительства, а также улучшение качества и стандартизации. Технологические тенденции, такие как цифровизация (*BIM*-моделирование), применение инновационных материалов и автоматизация производства, открывают новые горизонты для развития этой сферы. В российских условиях модульное строительство имеет значительный потенциал, особенно в рамках программ по обеспечению населения доступным жильем и в сегменте коммерческой недвижимости.

Литература

1. Мосияш, А.И. Модульное домостроение: тенденции и перспективы развития в России / А.И. Мосияш // Строительные материалы и технологии. – 2021. – № 3. – С. 45–52.
2. Кошелева, С.А. Сравнительный анализ традиционного и модульного домостроения / С.А. Кошелева, В.Д. Выпринцева, А.А. Бердник, Д.В. Гулякин // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 6(108). – С. 22–26.
3. Кулешов, И.В. Энергоэффективные материалы в модульном домостроении / И.В. Кулешов // Архитектура и строительство. – 2020. – № 7. – С. 12–19.
4. Гуськов, Н.С. Современные технологии строительства : учеб. пособие / Н.С. Гуськов, В.Д. Писарев. – М. : Инфра-М, 2020. – 276 с.

References

1. Mosiash, A.I. Modulnoe domostroenie: tendentsii i perspektivy razvitiia v Rossii / A.I. Mosiash // Stroitelnye materialy i tekhnologii. – 2021. – № 3. – S. 45–52.
2. Kosheleva, S.A. Sravnitelnyi analiz traditsionnogo i modulnogo domostroeniia / S.A. Kosheleva, V.D. Vyprintceva, A.A. Berdnik, D.V. Guliakin // Components of Scientific and Technological Progress. – 2025. – № 6(108). – S. 22–26.
3. Kuleshov, I.V. Energoeffektivnye materialy v modulnom domostroenii / I.V. Kuleshov // Arkhitektura i stroitelstvo. – 2020. – № 7. – S. 12–19.
4. Guskov, N.S. Sovremennye tekhnologii stroitelstva : ucheb. posobie / N.S. Guskov, V.D. Pisarev. – M. : Infra-M, 2020. – 276 s.

A Comprehensive Analysis of the Efficiency of Implementing Modular Housing Construction in Modern Conditions

D.V. Gulyakin, A.A. Lyashova, V.P. Goncharovskaya, V.R. Ivanchuk

*Kuban State Technological University,
Krasnodar (Russia)*

Key words and phrases: modular housing construction; efficiency; innovation; barriers to implementation; prospects; construction.

Abstract. To study the effectiveness of modular housing construction in modern conditions. The objectives are to conduct a comprehensive analysis of the prospects for the development of modular housing construction in Russia. The research hypothesis suggests that development of modular housing construction in Russia as a factor in the efficient economics of the construction industry. Methods are theoretical analysis, systematization. The results are as follows: the study demonstrated the economic, environmental, and social benefits of using modular technologies.

© Д.В. Гулякин, А.А. Ляшова, В.П. Гончаровская, В.Р. Иванчук, 2025

UDC 004.9:69

Data-Driven Lifecycle Management for Construction in Extreme Environments

O.T. Ogidan¹, M.V. Petrochenko²

¹ *National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow (Russia);*

² *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg (Russia)*

Key words and phrases: arctic construction; climate resistance; corrosion management; data-driven decision making; lifecycle management; predictive maintenance; tropical construction.

Abstract. The paper focuses on the development of a comparative framework for selecting Data-Driven Lifecycle Management (**DDL**M) strategies in extreme Arctic and tropical environments. The objectives are systematization of DDL M strategies; creation of an a priori ranking system based on Technology Readiness Level (**TRL**), Lifecycle Cost (**LCC**) impact, and implementation complexity; comparative analysis of strategy effectiveness. The hypothesis is based on the assumption that if dominant environmental conditions and lifecycle phase determine the effectiveness of DDL M strategies, the context-optimized technology portfolios will demonstrate higher resilience and cost-effectiveness compared to universal solutions. Methods included a systematic literature review, comparative analysis, a priori ranking method. Results are as follows: the strategic dichotomy was identified: thermal stability and logistics are critical for the Arctic, while moisture management and material durability are paramount for the tropics. A quantitative tool was developed for forming context-optimized technology portfolios.

Introduction

Global economic and strategic imperatives, from resource extraction to the development of new trade routes and scientific outposts, are pushing construction activities into the planet's most extreme environments. The Arctic, characterized by permafrost, profound seasonal shifts, and temperatures plunging below -50 °C, presents a set of challenges diametrically opposed to those of tropical regions, where high humidity, intense rainfall, biological growth, and cyclonic winds dominate. In these contexts, traditional construction management practices, often based on temperate-climate assumptions, prove inadequate, leading to catastrophic cost overruns, safety failures, and significantly shortened asset lifespans.

The paradigm of Data-Driven Lifecycle Management (**DDL**M) has emerged as a critical response to these challenges. DDLM integrates Building Information Modeling (**BIM**), Internet of Things (**IoT**) sensors, and predictive analytics to create a digital thread throughout an asset's life ranging from design and construction to operation and decommissioning. This enables a shift from reactive, schedule-based maintenance to proactive, condition-based management. However, the optimal application of DDLM strategies is highly context-dependent. A technology that succeeds in the Arctic may be irrelevant in the tropics, and vice versa.

While numerous studies have examined specific technologies for individual environments, a holistic, comparative review is lacking. This paper addresses this gap by systematically analyzing DDLM strategies for Arctic and tropical environments. The primary objective is to develop and apply an a priori multi-criteria ranking system to evaluate the maturity, impact, and feasibility of these strategies, providing a scientifically-grounded decision-making framework for project planners and policymakers.

Methodology: A Priori Ranking System for Strategy Evaluation

To ensure a comprehensive and unbiased selection of strategies, a systematic literature review was conducted. The databases E-library, Scopus, Web of Science, and ASCE Library were queried using keyword combinations including ["Arctic construction" OR "cold region construction"], ["tropical construction" OR "hot-humid construction"], ["BIM" OR "IoT" OR "predictive maintenance"], and ["lifecycle cost" OR "durability" OR "lifecycle management"]. The search was limited to peer-reviewed articles, conference proceedings, and review papers published between 2020 and 2024. Strategies were included for analysis if they (a) explicitly addressed a core challenge of the Arctic or tropical environment, (b) incorporated a data-driven or digital component, and (c) had documented evidence of application or detailed simulation in the scientific literature.

An a priori ranking system was developed to compare DDLM strategies using three criteria: Technological Readiness Level (**TRL** 1–9) for maturity, Impact on Lifecycle Cost (**LCC** 1–5) for cost reduction potential, and Implementation Complexity (1–5) for deployment challenges. Scores were assigned via a structured qualitative synthesis of published literature, with a consensus process resolving discrepancies >1 point to ensure the final scores reflected the evidence.

The Composite Score was calculated to provide a single metric for ranking:

$$CS = (TRL \times LCC \text{ Impact}) / \text{Implementation Complexity}.$$

The composite score formula prioritizes mature, high-impact, and easily deployable strategies. Rankings are presented in tables for each environment, with radar charts visualizing individual strategy profiles to distinguish between high-complexity and readily implementable options. A comparative analysis concludes by discussing the strategic themes and differences identified between Arctic and tropical contexts.

Arctic Environment: Strategies and Ranking

Arctic construction necessitates strategies that ensure thermal stability and overcome profound logistical isolation, where permafrost degradation threatens foundation integrity and limited seasonal windows require hyper-efficient planning. Three data-driven strategies address

RADAR CHART OF THE ARCTIC STRATEGY PROFILES

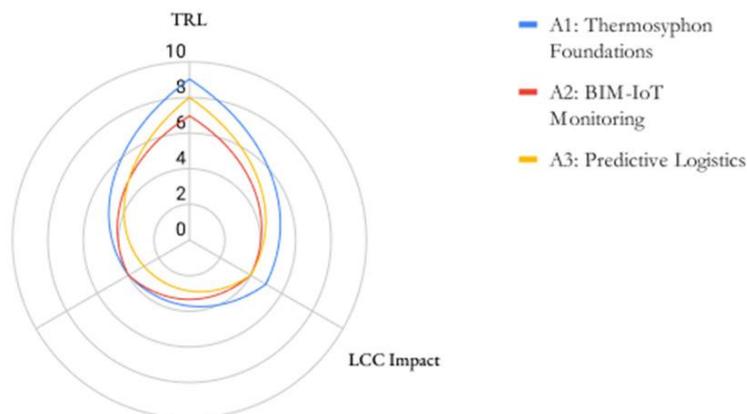


Fig. 1. Radar chart of the arctic strategy profiles

Table 1. A Priori Ranking of Data-Driven Strategies for Arctic Environments

Strategy	TRL (1–9)	LCC Impact (1–5)	Impl. Complexity (1–5)	Composite Score
A1: Thermosyphon Foundations	9	5	4	11.25
A2: BIM-Integrated Remote IoT	7	4	4	7.00
A3: Predictive Logistics Modeling	8	4	3	10.67

these core challenges.

A1: Thermosyphon Foundations passively refrigerate soil to stabilize permafrost, representing a foundational geotechnical solution where design-phase integration is critical.

A2: BIM-Integrated Remote IoT Monitoring utilizes sensor networks and digital twins for predictive maintenance, with primary value accruing during the operational phase.

A3: Predictive Logistics Modeling applies discrete-event simulation to optimize supply chains, concentrating its impact during construction by minimizing delays.

The comparative ranking of these strategies, presented in Table 1 and Fig. 1, reveals that thermosyphon foundations achieve the highest composite score. This results from their technological maturity and profound impact on preventing catastrophic structural failure, which dominates the lifecycle cost of Arctic assets. Despite higher implementation complexity, their passive nature offers essential, long-term protection for infrastructure on unstable ground.

Tropical Environment: Strategies and Ranking

Tropical environments demand strategies focused on managing moisture, preventing biological degradation, and ensuring resilience against extreme weather. The primary degradation mechanisms include reinforcement corrosion, mold growth, and storm damage.

T1: Corrosion-Resistant Material Systems, utilizing specialized steel and concrete, provide

RADAR CHART OF THE TROPICAL STRATEGY PROFILES

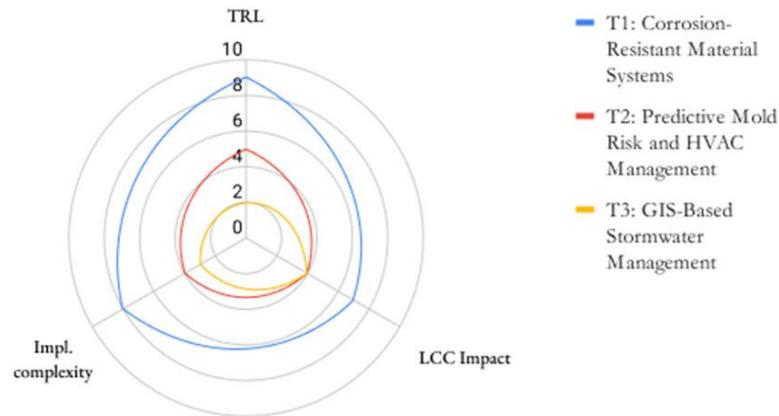


Fig. 2. Radar chart of the tropical strategy profiles

Table 2. A Priori Ranking of Data-Driven Strategies for Tropical Environments

Strategy	TRL (1–9)	LCC Impact (1–5)	Impl. Complexity (1–5)	Composite Score
T1: Corrosion-Resistant Material Systems	9	5	2	22.50
T2: Predictive Mold Risk and HVAC Management	7	4	4	7.00
T3: GIS-Based Stormwater Management	8	4	3	10.67

a foundational design-phase solution that determines long-term durability and locks in most lifecycle corrosion costs.

T2: Predictive Mold Risk and HVAC Management employs IoT sensors and predictive algorithms to control indoor environments, delivering its primary value during the operational phase by preserving building integrity and occupant health.

T3: GIS-Based Drainage and Stormwater Management uses real-time data to manage surface water runoff, with its critical impact realized during operation by preventing flooding and erosion.

As detailed in Table 2 and Fig. 2, corrosion-resistant materials emerge as the paramount strategy. Their top ranking stems from maximum scores in technological readiness and lifecycle cost impact, combined with low implementation complexity. This fundamental design choice directly counters the primary degradation agents with minimal operational overhead, offering the highest return on investment for tropical infrastructure.

Comparative Analysis

The ranking system reveals distinct strategic profiles shaped by dominant environmental

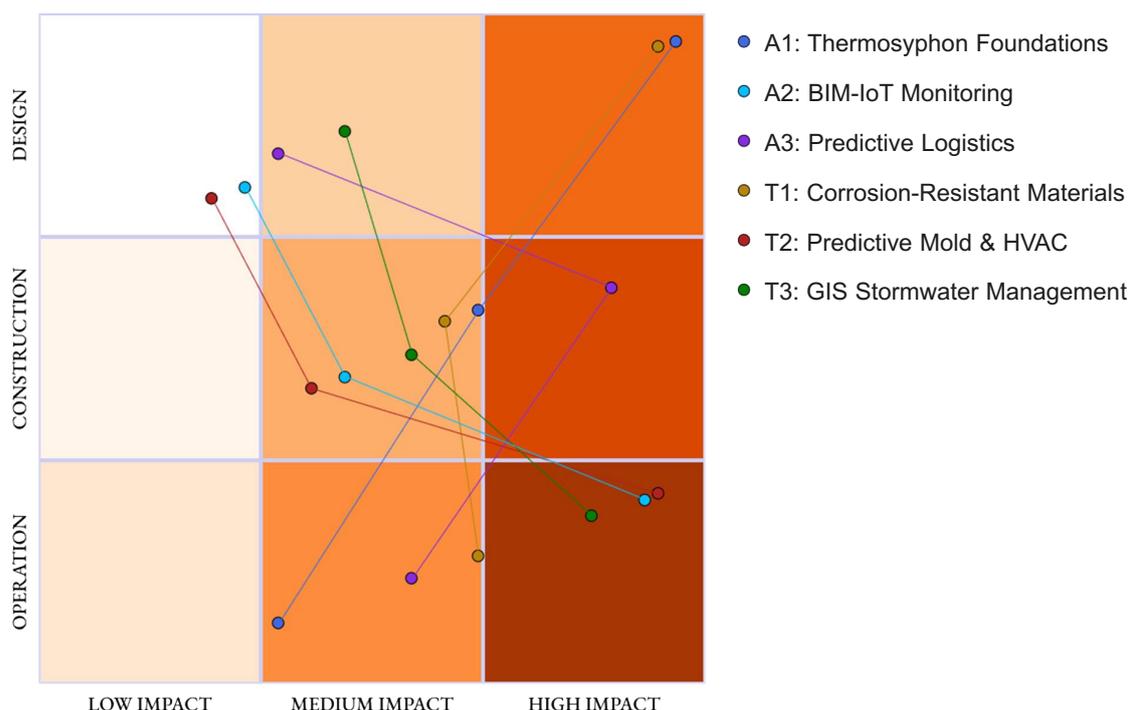


Fig. 3. Lifecycle Phase Impact Heat Map

threats. Arctic strategies prioritize thermal stability and logistical foresight, with thermosyphons and predictive logistics modeling addressing fundamental geotechnical and planning challenges, albeit with higher implementation complexity. In contrast, tropical strategies focus on moisture management and material durability, where corrosion-resistant materials offer a high-impact, low-complexity solution at the design phase.

Analysis across the project lifecycle shows that fundamental design decisions (thermosyphons, corrosion-resistant materials) are locked in early, while operational systems (IoT monitoring, predictive HVAC, stormwater management) provide continuous value. Construction remains critical for logistical execution and system implementation.

As illustrated in Fig. 3, there is no universal “best” strategy. Effective lifecycle management requires a context-specific portfolio: Arctic projects must invest in high-complexity solutions for structural integrity, while tropical projects achieve resilience through intelligent material selection and operational monitoring systems.

Conclusion

This study establishes that effective Data-Driven Lifecycle Management (**DDL**M) in extreme environments requires context-optimized portfolios, not universal solutions. A novel multi-criteria ranking framework reveals a fundamental strategic dichotomy: Arctic resilience depends on high-integrity design-phase interventions like thermosyphon foundations, while tropical durability combines robust material specifications with adaptive operational systems. Lifecycle analysis further shows strategies’ impacts evolve across project phases, demanding dynamic management approaches.

For practitioners, this research provides an evidence-based framework for prioritizing technology investments based on environmental context and lifecycle stage. Future work should

validate this framework through longitudinal case studies, develop integrated digital twins, and explore autonomous systems for extreme environments. Ultimately, resilient infrastructure demands strategic integration of tailored technological portfolios, for which this study provides a foundational methodology.

References

1. Лapidус, А.А. Повышение эффективности комплексной безопасности производственных процессов при реализации строительных проектов на основе платформы мониторинга в условиях Арктики / А.А. Лapidус, Т.Х. Бидов, А.О. Хубаев, Р.О. Самсонов, В.С. Лоткин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 8. – С. 600–605. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-8-600-601.
2. Afram, A. Theory and applications of HVAC control systems – A review of model predictive control (MPC) / A. Afram, F. Janabi-Sharifi // Building and Environment. – 2014. – № 72. – P. 343–355. – DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.11.016.
3. Лapidус, А.А. Повышение эффективности организационно-технических решений в условиях повышенного риска / А.А. Лapidус, О.Т. Огидан // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 6(84). – С. 68–73.
4. Коротеев, Д.Д. Оценка препятствий внедрения цифровых информационных моделей в строительную отрасль Сомали / Д.Д. Коротеев, Х.А. Ботан // Строительное производство. – 2023. – № 2. – С. 29–32. – DOI: 10.54950/265853402023229.
5. Алию, С.А. Оценка влияния внешних заинтересованных сторон на организационные инновации: количественный анализ производственных компаний в Нигерии / С.А. Алию, В.В. Вольчик // Russian Economic Bulletin. – 2024. – Т. 7. – № 2. – С. 97–102. – DOI: 10.58224/2658-5286-2024-7-2-97-102.
6. Петроченко, М.В. Классификация строительной информации в BIM с использованием алгоритмов искусственного интеллекта / М.В. Петроченко, П.Н. Недвига, А.А. Кукина, В.В. Шерстюк // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17. – № 11. – С. 1537–1550. – DOI: 10.22227/1997-0935.2022.11.1537-1550.
7. Liang, Y. Strength of partially frozen sand under triaxial compression / Y. Liang, N.A. Beier, D.C. Segoo // Canadian Geotechnical Journal. – 2023. – Vol. 60(9). – P. 1277–1288. – DOI: 10.1139/cgj-2022-0477.
8. Babafemi, A.J. Effect of sawdust ash and laterite on the electrical resistivity of concrete / A.J. Babafemi, O.T. Akinola, J.T. Kolawole, S.C. Paul, M.J. Miah // Magazine of Civil Engineering. – 2021. – Vol. 5(105). – DOI: 10.34910/MCE.105.2.
9. Hu, G. Research on Data-Driven Dynamic Decision-Making Mechanism of Mega Infrastructure Project Construction / G. Hu, Y. Liu, K. Liu, X. Yang // Sustainability. – 2023. – Vol. 15. – No. 12. – P. 9219. – DOI: 10.3390/su15129219.

References

1. Lapidus, A.A. Povyshenie effektivnosti kompleksnoi bezopasnosti proizvodstvennykh protsessov pri realizatscii stroitelnykh proektov na osnove platformy monitoringa v usloviakh Arktiki / A.A. Lapidus, T.Kh. Bidov, A.O. Khubaev, R.O. Samsonov, V.S. Lotkin // Izvestiia Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 8. – S. 600–605. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-8-600-601.
3. Lapidus, A.A. Povyshenie effektivnosti organizatsionno-tekhnicheskikh reshenii v

usloviiah povyshennogo riska / A.A. Lapidus, O.T. Ogidan // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 6(84). – S. 68–73.

4. Koroteev, D.D. Otsenka prepiatstvi vnedreniia tsifrovyykh informatsionnykh modelei v stroitelnuu otrasl Somali / D.D. Koroteev, Kh.A. Botan // Stroitelnoe proizvodstvo. – 2023. – № 2. – S. 29–32. – DOI: 10.54950/265853402023229.

5. Aliiu, S.A. Otsenka vliianiia vneshnikh zainteresovannykh storon na organizatsionnye innovatsii: kolichestvennyi analiz proizvodstvennykh kompanii v Nigerii / S.A. Aliiu, V.V. Volchik // Russian Economic Bulletin. – 2024. – Т. 7. – № 2. – S. 97–102. – DOI: 10.58224/2658-5286-2024-7-2-97-102.

6. Petrochenko, M.V. Klassifikatsiia stroitelnoi informatsii v BIM s ispolzovaniem algoritmov iskusstvennogo intellekta / M.V. Petrochenko, P.N. Nedviga, A.A. Kukina, V.V. Sherstiuk // Vestnik MGSU. – 2022. – Т. 17. – № 11. – S. 1537–1550. – DOI: 10.22227/1997-0935.2022.11.1537-1550.

Управление жизненным циклом объектов строительства на основе данных в экстремальных условиях

О.Т. Огидан¹, М.В. Петроченко²

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

² ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
г. Санкт-Петербург (Россия)

Ключевые слова и фразы: климатическая устойчивость; предиктивное техническое обслуживание; принятие решений на основе данных; строительство в условиях Арктики; строительство в условиях тропиков; управление жизненным циклом.

Аннотация. Цель – разработка сравнительной рамки для выбора стратегий управления жизненным циклом (DDLМ) в экстремальных арктических и тропических условиях. Задачи: систематизация стратегий DDLМ, создание системы их априорного ранжирования по технологической готовности, влиянию на стоимость жизненного цикла и сложности внедрения, а также сравнительный анализ их эффективности. Гипотеза: если доминирующие условия и фаза жизненного цикла определяют эффективность стратегий DDLМ, тогда контекстно-оптимизированные портфели технологий будут демонстрировать повышенную устойчивость и экономическую эффективность по сравнению с универсальными решениями. Методы: систематический обзор литературы, сравнительный анализ, метод априорного ранжирования. Установлена стратегическая дихотомия: для Арктики критичны термостабильность и логистика, для тропиков – управление влажностью и долговечность материалов. Разработан количественный инструмент для формирования контекстно-оптимизированных портфелей технологий.

© О.Т. Ogidan, M.V. Petrochenko, 2025

UDC 69.05

Development of an AI Chatbot for Recording Deviations During Road Construction within the Facility Life Cycle

R.V. Razyapov¹, A.O. Glazachev¹, A.E. Naumov²,
S.Yu. Pavlov³

¹ *Ufa State Oil Technical University,
Ufa (Russia);*

² *Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov,
Belgorod (Russia);*

³ *Ufa University of Science and Technology,
Ufa (Russia)*

Key words and phrases: chatbot; artificial intelligence; roads; life cycle; BIM; AR; construction control.

Abstract. The article presents a study on the use of artificial intelligence in construction quality control during the life cycle of road infrastructure projects. The purpose of the research is to develop an intelligent chatbot integrated with BIM and AR systems to automate the recording and classification of technological deviations according to their criticality level. The research hypothesis assumes that an AI-driven chatbot, connected to the information model of a facility and augmented reality measurements, can increase the accuracy and speed of deviation recording, reduce the human factor, and ensure the accumulation of structured knowledge throughout the facility's life cycle. The chatbot architecture consists of a mobile AR-control module, a message-processing core, an NLP analyzer, and a knowledge base. The methodology combines machine learning techniques for message classification, the Analytic Hierarchy Process (**AHP**) for computing the technological performance index, and statistical validation methods including Precision, Recall, F1-score, and Pearson correlation analysis. A pilot experiment on a 2-km section of a road demonstrated that the chatbot reduced data recording time by 57 %, improved agreement with expert assessments to $r = 0.88$, and achieved an average technological index value of $CI_{tech} = 2.58$, corresponding to an acceptable quality level with potential for improvement. The integration of AR increased the measurement accuracy to 3–6 mm, while AHP enabled the combination of qualitative and quantitative

criteria into a unified assessment scale. The developed AI chatbot enhances the efficiency and transparency of construction control, providing digital traceability and creating a foundation for predictive analytics and adaptive quality management in road construction.

The digitalization of road construction has simplified visualization and control (BIM, AR); however, the recording of deviations remains fragmented. Manual reports and unstructured data complicate analysis and reduce the quality of decision-making during acceptance. The purpose of the study is to develop an intelligent chatbot integrated with BIM/AR that ensures structured recording of deviations and automatic calculation of the integral technological assessment of the construction process.

The system architecture consists of four modules: a mobile AR-control module, a chatbot, an NLP analyzer, and a life-cycle knowledge base. The evaluation parameters (smoothness, slopes, deadlines, safety) are defined using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The integral assessment is calculated by the formula:

$$CI_{tech}(t) = \sum w_i s_i(t), CI_{tech}(t) = \sum w_i \cdot s_i(t), CI_{tech}(t) = \sum w_i \cdot s_i(t),$$

where $s_i \in \{1, 2, 3\}$ $s_i \in \{1, 2, 3\}$ and w_i is the criterion weight determined by the AHP method.

For message classification, an NLP model is used that converts the text into feature vectors $\varphi(x)$, based on which the classifier $f(\varphi(x))$ determines the deviation class. The model quality is evaluated by Precision, Recall, and F1-score metrics.

The accuracy of AR measurements is estimated using the confidence interval rule: $|\Delta d| > z(1 - \alpha/2) \cdot \sigma + \tau_{norm}$, where τ_{norm} is the regulatory tolerance.

On a pilot road section of 2,000 meters, 120 measurements were taken. Comparison showed that the use of the chatbot reduced data recording time by 57 % and provided agreement with expert assessments ($r = 0.88$). The average technological index CI_{tech} was 2.58, corresponding to an acceptable technological level with room for improvement.

The use of the AR interface increased geometric measurement accuracy to 3–6 mm. The application of AHP made it possible to formalize expert evaluations and combine qualitative and quantitative parameters into a unified assessment scale.

Analytic Hierarchy Process: Let $A = [a_{ij}]$ be the pairwise comparison matrix, and w be the eigenvector (criterion weights) normalized such that $\sum w_i = 1$. The consistency is assessed as $\lambda_{max} - n$, $CR = \frac{\lambda_{max} - n}{RI}$.

The consistency condition is $CR < 0.1$.

Integral technological assessment:

$$CI_{tech}(t) = \sum_{i=1}^m w_i \cdot s_i(t), CI_{tech}(t) = \sum_{i=1}^m w_i \cdot s_i(t),$$

where $s_i(t) \in \{1, 2, 3\}$ – the levels by criteria at time t ; w_i – AHP weights; $\sum w_i = 1$.

Table 1. Example of normalized criterion weights:

Criterion	weight w_i
Geometry (G)	0.38
Organization (O)	0.22
Safety (S)	0.18
Supply (N)	0.12
Personnel (K)	0.10

AR threshold for detecting geometric deviation:

$\Delta d = d - d_0 = \delta + \varepsilon$, $\Delta d = d - d_0 = \delta + \varepsilon$, where d – AR measurement, d_0 – design value, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$. Decision rule: $|\Delta d| > \tau_\alpha$, $\tau_\alpha = z_{1 - \alpha/2} \cdot \sigma + \tau_{norm}$.

Pearson correlation (agreement “bot vs. expert”):

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Process indicators: $R_t = T_{manual} - T_{bot}$, $R_t = \frac{T_{manual} - T_{bot}}{T_{manual}}$

Detection reliability: $P_d = P(\text{signal} | \text{deviation present})$; False alarm rate: $P_{fa} = P(\text{signal} | \text{no deviation})$

Improvement effect: $\Delta Cl_{tech} = Cl_{after} - Cl_{before}$

Example calculation

With levels $s_G = 2$, $s_O = 3$, $s_S = 3$, $s_N = 2$, and $s_K = 3$, the technological index is calculated as

$$Cl_{tech} = 0.38 \cdot 2 + 0.22 \cdot 3 + 0.18 \cdot 3 + 0.12 \cdot 2 + 0.10 \cdot 3 = 2.58$$

Classification “Significant Non-Conformity”: $TP = 25$, $FP = 5$, $FN = 7$ \Rightarrow Precision = 0.83, Recall = 0.78, F1 = 0.80

Correlation “bot vs. expert”: $r = 0.88$ ($p < 0.001$).

AR accuracy (median $|\varepsilon|$) ranged from 3–6 mm under properly calibrated scenes. Time efficiency: $T_{manual} = 9.5$ min, $T_{bot} = 4.1$ min $\Rightarrow R_t = (9.5 - 4.1)/9.5 = 0.57$, representing a 57 % reduction in reporting time.

The AR threshold at $\sigma = 2$ mm, $\alpha = 0.05$ ($z_{0.975} \approx$

$1.96z_{0.975} \approx 1.96z_{0.975} \approx 1.96$) and tolerance $t_{norm} = 5t_{\alpha} = 5t_{norm} = 5$ mm is $t_{\alpha} = 1.96 \cdot 2 + 5 = 8.92$ mm. $t_{\alpha} = 1.96 \cdot 2 + 5 = 8.92$ mm.

The intelligent chatbot is designed as an intermediary between on-site personnel and the digital model of the facility. Its key feature is interactive deviation logging in dialogue mode – the user does not select from a dropdown list but instead describes the issue in natural language. Using the NLP module and a trained classification model, the system extracts entities (parameters, objects, and work stages) and maps them to the life-cycle knowledge base of the road.

To improve classification reliability, a hybrid algorithm is used that combines a contextual embedding model (based on the BERT architecture) and a Bayesian probabilistic filter. The first component processes syntactic and semantic relationships, while the second refines the probability of belonging to a specific deviation category. This approach achieved a balance between precision (0.83) and recall (0.78), resulting in $F1 = 0.80$, which meets the performance requirements of industrial information systems.

An important feature of the chatbot is its context memory, which allows it to retain the dialogue history. For instance, when recording a compaction defect, the layer is linked to the latest AR measurements – including asphalt temperature, compaction date, and roller identifier. As a result, an object–parameter record is formed that captures not only the fact of the deviation but also the context of its occurrence.

The Life-Cycle Knowledge Base (**LC-KB**) accumulates all recorded deviations, including causes, corrective actions, and outcomes of repeated inspections. This turns the chatbot into a self-learning system capable of suggesting likely causes of defects based on statistical similarity to previously observed scenarios.

The developed AI module is integrated with BIM/TIM and AR-control platforms via a REST interface. During the construction phase, the bot interacts with the AR application, which transmits deviation coordinates and measurement parameters (d, σ, t_{norm}) in real time.

When a deviation is detected, the bot automatically generates a JSON report containing:

- the road section ID and coordinates;
- the textual and categorical interpretation of the deviation;
- the deviation magnitude and AR threshold;
- recommendations for corrective actions (according to LC-KB data).

The report is then sent to the BIM platform, where it is visualized as a heatmap showing levels of criticality. Each deviation is assigned a status: informational, warning, or critical, enabling the project manager to make timely decisions without additional reports.

In addition to operational benefits, the system creates digital traceability: each message and measurement is linked to a model element and stored in the life-cycle history. This makes it possible to determine – even years later – when and under what conditions a specific operation was performed, what deviations occurred, and what corrective measures were taken.

For implementation, an API connector was developed to enable data exchange with domestic systems such as BIM 360, SODIS Building, GLONASS Monitoring, and ERA GIS Safe Roads. Thus, the chatbot operates not as an isolated service but as part of the smart construction and digital infrastructure management ecosystem.

Field trials were conducted on a new Category IB road section.

Six engineers used the AI bot on mobile devices (tablets with AR modules) over a period of three weeks. During this period, 312 messages were recorded, of which 287 were correctly

classified. The misclassification rate was 8 %, comparable to manual expert data entry.

The average system response time was 1.4 seconds, and the total time to record a deviation was 4.1 minutes – twice as fast as the standard manual procedure.

At the same time, the integral index $CI_{tech}CI_{tech}$ increased from 2.31 to 2.58, indicating an improvement in technological controllability.

This architecture forms a self-developing quality management system, in which the chatbot not only records facts but also establishes contextual links and predicts potential consequences. To enhance adaptability, the system is planned to use a dynamic terminology dictionary that is continuously updated from construction logs and regulatory documents. This will improve natural language processing performance and reduce classification errors.

In the long term, the model can be integrated into a national digital construction platform for the exchange of structured data among clients, contractors, and expert organizations. Such integration will ensure process transparency and strengthen trust among all participants in the road life cycle.

Thus, the developed AI chatbot demonstrates high efficiency in recording deviations during the construction stage of highways. The system combines data collection, analytics, and feedback with the TIM/BIM model, transforming each user message into structured knowledge. The application of artificial intelligence methods not only accelerates data processing but also forms a digital memory of the facility, where each defect becomes part of a training dataset for improving future projects.

The presented AI chatbot is a component of the digital life-cycle ecosystem for highways. It automates deviation recording, reduces labor costs, and increases the objectivity of construction control. Integration with AR and BIM enables end-to-end quality control and continuous knowledge accumulation for further analysis and forecasting.

References

1. Разяпов, Р.В. Экспериментальное определение поперечных уклонов на этапе строительства в жизненном цикле автомобильных дорог с использованием AR инструментов / Р.В. Разяпов, А.О. Глазачев // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2023. – № 8(167). – С. 121–125.
2. Разяпов, Р.В. Модернизированные направленности информационного моделирования в контексте дорожно-транспортных сооружений / Р.В. Разяпов // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2021. – № 8(143). – С. 66–69.
3. Наумов, А.Е. Интеллектуализация технологических процессов строительнотехнической экспертизы / А.Е. Наумов, Д.А. Юдин, А.В. Долженко, А.А. Прахова, А.С. Кучеренко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 12. – С. 28–38. – DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-12-28-38.
4. Бойков, В.Н. IT-технологии в поддержке жизненного цикла дорог / В.Н. Бойков // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 1(2). – С. 1–7.
5. Миронюк, В.П. Анализ направлений развития САПР автомобильных дорог для реализации концепции жизненного цикла / В.П. Миронюк, В.В. Фиалкин // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 1(2). – С. 31–35.
6. Куневич, С.Н. Определение эффективности применения информационных технологий / С.Н. Куневич // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2023. – № 6(165). – С. 88–92.
7. Столбов, И.В. Современные подходы к комплексному внедрению технологий информационного моделирования на всех стадиях жизненного цикла объекта капитального

строительства (недвижимости) / И.В. Столбов, С.В. Придвижкин // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2023. – № 6(165). – С. 108–114.

8. Елшами, М.М.М. Управление жизненным циклом автомобильных дорог на этапе эксплуатации на основе алгоритмов искусственных нейронных сетей / М.М.М. Елшами, А.Н. Тиратурян, Е.В. Углова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 8(92). – С. 282–292.

9. Мухаметзянов, З.Р. Оптимизация технологии и организации монтажа изотермического резервуара как составного элемента отраслевого комплекса / З.Р. Мухаметзянов, Р.В. Разяпов, Т.А. Могучева, Д.Р. Батырова // Экономика строительства. – 2021. – № 6(72). – С. 48–57.

10. Руководство пользователя программного комплекса GLAZAR MARINE. – СПб. : ООО «ГЛАЗАР», 2022.

11. Razyapov, R.V. Application of AR technologies in the building industry / R.V. Razyapov // AIP Conf. Proc. – 2022. – Vol. 2559. – No. 04001. – DOI: 10.1063/5.0100069.

12. Mukhametzyanov, Z.R. Sustainability method for organizational and technological decisions in the construction of industrial complexes / Z.R. Mukhametzyanov, P.P. Oleinik // E3S Web Conf. – 2021. – Vol. 258. – No. 09056. – DOI: 10.1051/e3sconf/202125809056.

13. Papagiannakis, A.T. ISO-compatible index for pavement roughness / A.T. Papagiannakis, B. Raveendran // Transportation Research Record. – 1998. – Vol. 1643. – P. 110–115.

14. Swei, O. Pavement management systems: Opportunities to improve frameworks / O. Swei, J. Gregory, R. Kirchain // TRB 95th Annual Meeting. – Washington, DC. – 2016.

15. ISO 19650:2020. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including BIM – Information management using BIM.

References

1. Razyapov, R.V. Eksperimentalnoe opredelenie poperechnykh uklonov na etape stroitelstva v zhiznennom tsikle avtomobilnykh dorog s ispolzovaniem AR instrumentov / R.V. Razyapov, A.O. Glazachev // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2023. – № 8(167). – С. 121–125.

2. Razyapov, R.V. Modernizirovannyye napravlenosti informatsionnogo modelirovaniya v kontekste dorozhno-transportnykh sooruzhenii / R.V. Razyapov // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2021. – № 8(143). – С. 66–69.

3. Naumov, A.E. Intellektualizatsiya tekhnologicheskikh protsessov stroitelnotekhnicheskoi ekspertizy / A.E. Naumov, D.A. Yudin, A.V. Dolzhenko, A.A. Prakhova, A.S. Kucherenko // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. – 2022. – № 12. – С. 28–38. – DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-12-28-38.

4. Boikov, V.N. IT-tekhnologii v podderzhke zhiznennogo tsikla dorog / V.N. Boikov // SAPR i GIS avtomobilnykh dorog. – 2014. – № 1(2). – С. 1–7.

5. Mironyuk, V.P. Analiz napravlenii razvitiya SAPR avtomobilnykh dorog dlya realizatsii kontseptsii zhiznennogo tsikla / V.P. Mironyuk, V.V. Fialkin // SAPR i GIS avtomobilnykh dorog. – 2014. – №1(2). – С.31–35.

6. Kunevich, S.N. Opredelenie effektivnosti primeneniya informatsionnykh tekhnologii / S.N. Kunevich // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2023. – № 6(165). – С. 88–92.

7. Stolbov, I.V. Sovremennyye podkhody k kompleksnomu vnedreniyu tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya na vsekh stadiyakh zhiznennogo tsikla obekta kapitalnogo stroitelstva (nedvizhimosti) / I.V. Stolbov, S.V. Pridvizhkin // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2023. – № 6(165). – С. 108–114.

8. Elshami, M.M.M. Upravlenie zhiznennym tsiklom avtomobilnykh dorog na etape

ekspluatatsii na osnove algoritmov iskusstvennykh neironnykh setei / M.M.M. Elshami, A.N. Tiraturyan, E.V. Uglova // Inzhenernii vestnik Dona. – 2022. – № 8(92). – S. 282–292.

9. Mukhametzyanov, Z.R. Optimizatsiya tekhnologii i organizatsii montazha izotermicheskogo rezervuara kak sostavnogo elementa otraslevogo kompleksa / Z.R. Mukhametzyanov, R.V. Razyarov, T.A. Mogucheva, D.R. Batyrova // Ekonomika stroitelstva. – 2021. – № 6(72). – S. 48–57.

10. Rukovodstvo polzovatelya programmnoogo kompleksa GLAZAR MARINE. – SPb. : OOO «GLAZAR», 2022.

Разработка ИИ чат-бота для фиксации отклонений при строительстве автомобильных дорог в рамках жизненного цикла объекта

Р.В. Разяпов¹, А.О. Глазачев¹, А.Е. Наумов², С.Ю. Павлов³

¹ ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
г. Уфа (Россия);

² ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет
имени В.Г. Шухова», г. Белгород (Россия);

³ ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»,
г. Уфа (Россия)

Ключевые слова и фразы: AR; BIM; автомобильные дороги; жизненный цикл; искусственный интеллект; строительный контроль; чат-бот.

Аннотация. В статье представлено исследование применения искусственного интеллекта в строительном контроле на этапе жизненного цикла автомобильных дорог. Цель работы заключается в разработке интеллектуального чат-бота, интегрированного с BIM и AR-системами, обеспечивающего автоматизированную фиксацию технологических отклонений и их классификацию по степени критичности. Предполагается, что использование ИИ-чат-бота, взаимодействующего с информационной моделью объекта и данными дополненной реальности, позволит повысить объективность и скорость фиксации отклонений, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить формирование базы знаний жизненного цикла объекта. Для реализации поставленной цели разработана архитектура чат-бота, включающая мобильный модуль AR-контроля, систему обработки сообщений, NLP-анализатор и базу знаний. Применены методы машинного обучения для классификации сообщений, аналитического иерархического процесса для расчета интегральной оценки технологического состояния, а также статистические методы оценки достоверности (Precision, Recall, F1-score) и корреляционный анализ. Экспериментальные исследования на реальном участке автомобильной дороги показали, что использование чат-бота сократило время фиксации отклонений на 57 %, обеспечило согласованность оценок с экспертами на уровне $r = 0,88$ и средний интегральный индекс технологии $CI_{tech} = 2,58$, что соответствует допустимому уровню качества с тенденцией к улучшению. Разработанный чат-бот повышает эффективность и прозрачность строительного контроля, формируя цифровую память объекта и создавая основу для дальнейшего внедрения предиктивной аналитики и адаптивного управления качеством дорожного строительства.

© R.V. Razyarov, A.O. Glazachev, A.E. Naumov, S.Yu. Pavlov, 2025

УДК 621.311.001.57

Обзор математических моделей силовых преобразователей

М.В. Бурмейстер, Л.А. Веренцов, М.Д. Нестеров,
А.А. Хоркина

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

Ключевые слова и фразы: выпрямители; двунаправленные преобразователи; инверторы; силовые преобразователи.

Аннотация. В последние десятилетия в мире активно развиваются силовые преобразователи. Это обусловлено рядом причин, одной из которых является увеличение количества объектов генерации на основе возобновляемых источников энергии, а также систем накопления электрической энергии, подключаемых с помощью силовых преобразователей. В связи с этим возникают задачи исследования процессов, возникающих в электроэнергетических системах, оснащенных силовыми преобразователями. Для этого требуется наличие корректных математических моделей, обеспечивающих высокую точность и достоверность получаемых результатов. Целью данного исследования является обзор математических моделей силовых преобразователей, функционирующих в электроэнергетических системах, и определение областей их применения.

В электроэнергетических системах (**ЭЭС**) увеличивается доля объектов генерации, подключаемых с помощью силовых преобразователей. Это связано с тем, что в настоящий момент активно развиваются объекты генерации на основе возобновляемых источников энергии (**ВИЭ**), а также системы накопления электрической энергии (**СНЭЭ**) [1]. Значительную часть объектов ВИЭ составляют солнечные (**СЭС**) и ветровые (**ВЭС**) электростанции с фотоэлектрическими модулями (**ФЭМ**) и ветроэнергетическими установками (**ВЭУ**) IV типа. Подключение данных объектов генерации к ЭЭС осуществляется с помощью силовых преобразователей. Обобщенная структура подключения ФЭМ и ВЭС с ВЭУ IV типа к ЭЭС представлена на рис. 1 и 2 соответственно.

Также в настоящий момент активно развиваются системы накопления электрической энергии на основе аккумуляторных батарей, подключаемые с помощью силовых двунаправленных преобразователей. Обобщенная структура подключения аккумуляторных СНЭЭ к ЭЭС представлена на рис. 3.

Для преобразования напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока

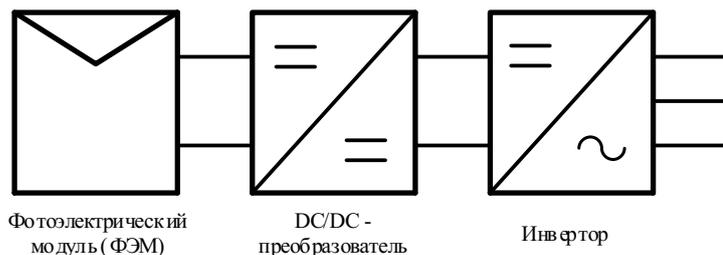


Рис. 1. Обобщенная структура подключения ФЭМ к ЭЭС

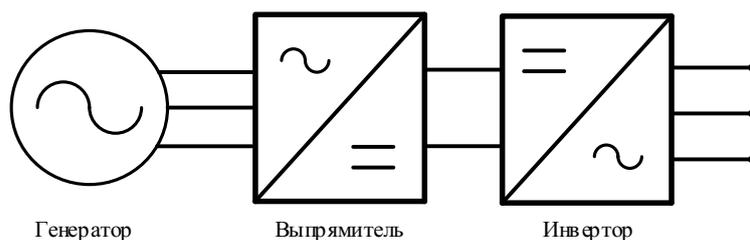


Рис. 2. Обобщенная структура подключения ВЭУ IV типа к ЭЭС

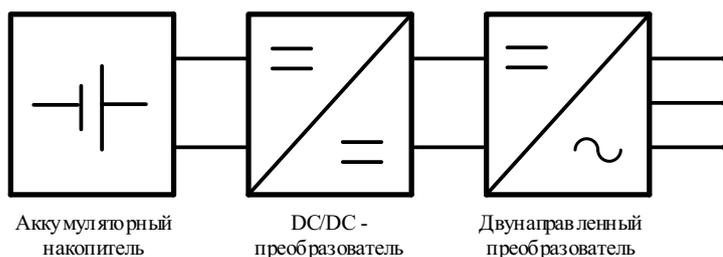


Рис. 3. Обобщенная схема подключения аккумуляторного накопителя электрической энергии к ЭЭС

силовые преобразовательные установки используют *IGBT*-транзисторы. Наиболее распространенным способом управления *IGBT*-транзисторами является система автоматического управления (**САУ**), построенная на основе широтно-импульсной модуляции (**ШИМ**). САУ рассчитывает требуемые значения напряжений и токов, выдаваемых силовым преобразователем, и подает управляющие сигналы на затворы *IGBT*-транзисторам. Так как для управления силовыми ключами используется ШИМ, то на выходе преобразователя напряжение имеет форму меандра. Для сглаживания формы выходного переменного напряжения силовые преобразователи оснащаются фильтрокомпенсирующим устройством – фильтром гармоник. В зависимости от конкретного оборудования может быть использован *LC*- или *LCL*-фильтр. Обобщенная схема замещения силового преобразователя представлена на рис. 4.

Наличие модуля *IGBT*-транзисторов приводит к значительной трудоемкости моделирования режимов работы силовых преобразователей, вызванной рядом причин: нелинейные вольт-амперные характеристики (**ВАХ**) элементов; высокая частота переключения *IGBT*-транзисторов; наличие временных задержек при включении *IGBT*-транзисторов и др. [2]. В

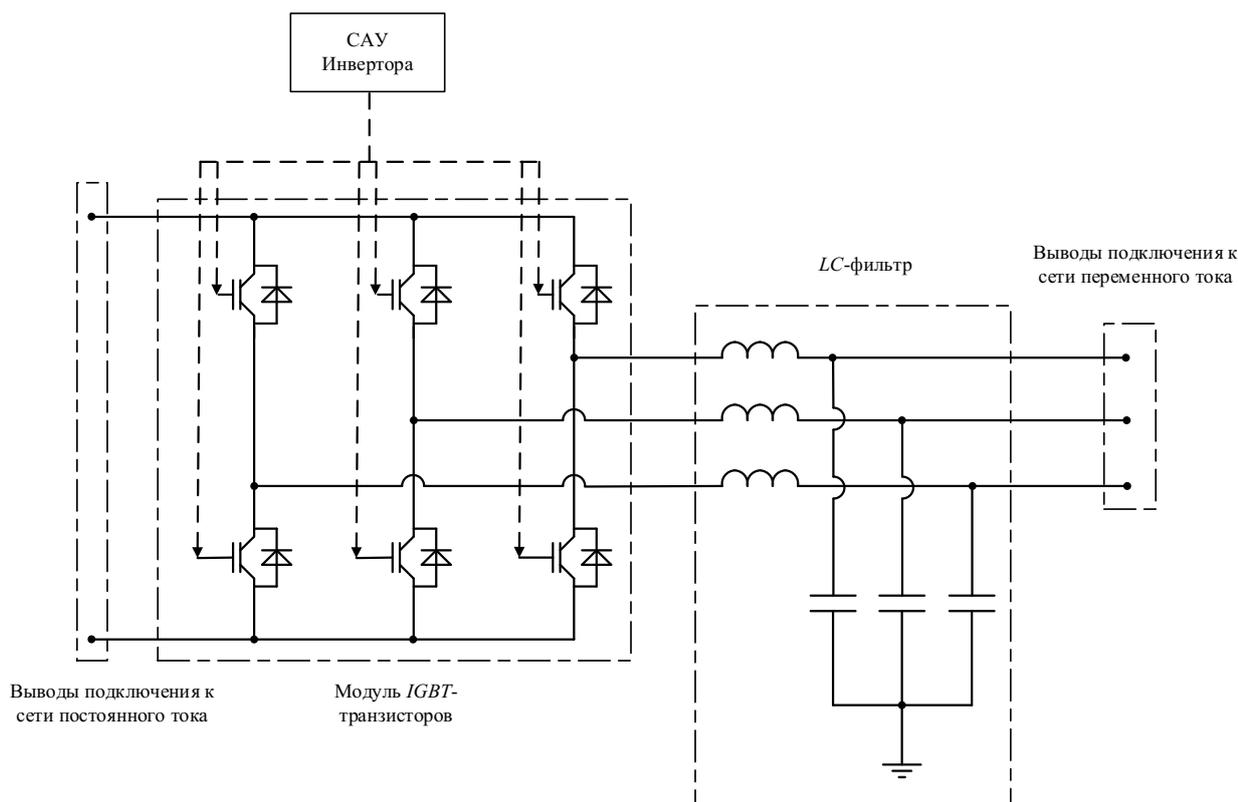


Рис. 4. Обобщенная схема силового преобразователя (инвертора)

связи с этим применяют различные типы математических моделей силовых преобразователей, позволяющих учесть характерные особенности их режимов работы для конкретного класса решаемых задач (электромагнитные/электромеханические переходные процессы, установившиеся режимы и прочее). Основными типами математических моделей силовых преобразователей являются следующие.

1. *Полная модель силового преобразователя.* Данная модель учитывает все процессы, возникающие при работе силового преобразователя. Для наиболее точного моделирования режимов работы силового преобразователя воспроизводятся режимы работы IGBT-транзисторов, а также диодов (с помощью систем дифференциальных уравнений [3; 4]). Все элементы, входящие в состав силового преобразователя, представляются в виде полных схем замещения и задаются в явном виде. Применение такого типа моделей целесообразно для проектирования силовых преобразователей, исследования режимов работы отдельных элементов, входящих в его состав.

2. *Эквивалентная модель силового преобразователя с использованием нелинейных вольт-амперных характеристик полупроводниковых элементов.* Для моделирования режимов работы IGBT-транзисторов, а также диодов используются сопротивления, имеющие нелинейные ВАХ [5]. Пример ВАХ диодов, использующихся в такой модели, представлен на рис. 5. Использование ВАХ полупроводниковых элементов вместо полных дифференциальных уравнений позволяет снизить вычислительную сложность алгоритмов расчета режимов работы силового преобразователя. Применение такого типа моделей целесообразно для исследования режимов работы силовых преобразователей при близких возмущениях (повреждениях отдельных полупроводниковых элементов, входящих в состав

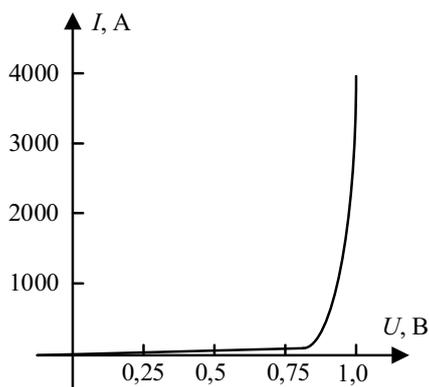


Рис. 5. Пример нелинейной ВАХ диода

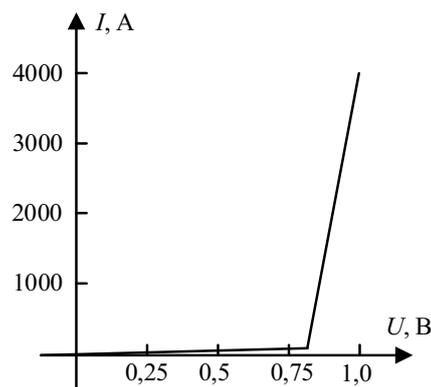


Рис. 6. Пример линейризованной ВАХ диода

силового преобразователя, коротких замыканиях на выводах и др.).

3. *Эквивалентная модель силового преобразователя с использованием линейризованных ВАХ полупроводниковых элементов.* Режимы работы отдельных полупроводниковых элементов моделируются с помощью сопротивлений, имеющих набор значений, характеризующих проводящее и разомкнутое состояние. Пример линейризации полной ВАХ диода представлен на рис. 6. Применение упрощенных ВАХ полупроводниковых элементов позволяет повысить скорость расчетов. Применение данного типа моделей целесообразно для исследования электромагнитных переходных процессов при близких возмущениях (коротких замыканиях на отходящих электросетевых элементах и др.).

4. *Эквивалентная модель силового преобразователя в средних значениях.* Данная модель представляет собой набор эквивалентных управляемых источников тока и/или напряжения, не имеющих гальванической связи. В основе данной модели используется закон сохранения энергии, а именно: электрическая энергия (мощность), преобразуемая силовым преобразователем со стороны постоянного тока, должна быть равна энергии со стороны переменного тока, увеличенной на величину потерь в силовом преобразователе. Применение управляемых активных элементов позволяет воспроизводить наличие гармонических искажений в токах и напряжениях, возникающих при эксплуатации реальных силовых преобразователей. Модель средних значений применяется для исследования электромагнитных переходных процессов, а также показателей качества электрической энергии. Использование эквивалентных управляемых источников тока и/или напряжения вместо представления полупроводниковых элементов позволяет повысить скорость расчета при использовании данной модели.

5. *Эквивалентная модель силового преобразователя на основной частоте (без учета высших гармоник).* Моделирование режимов работы силового преобразователя при использовании данного типа модели аналогично модели в средних значениях. Для этого используются управляемые источники тока и/или напряжения, но не имеющие гармонических составляющих, возникающих в результате переключения IGBT-транзисторов. Применение такого допущения не вносит значительной погрешности на результаты расчета. Это связано с тем, что величина коэффициента гармонических составляющих в токе силового преобразователя ограничена нормативно-техническими требованиями. Моделирование режимов работы силового преобразователя исключительно на основной частоте позволяет использовать более простые методы расчетов (с использованием уравнений в

комплексной форме записи). Модель на основной частоте применяется для исследования электромеханических переходных процессов, возникающих в ЭЭС, а также электромагнитных переходных процессов, вызванных возмущениями, удаленными от силовых преобразователей. Использование данного типа модели позволяет повысить скорость расчетов и наиболее целесообразно для моделирования ЭЭС со значительным количеством силовых преобразователей.

6. *Эквивалентная модель силового преобразователя в установившихся режимах.* Ведомые силовые преобразователи обеспечивают выдачу (потребление) активной и реактивной мощности в соответствии с заданной уставкой. В результате чего при исследовании установившихся режимов силовые преобразователи могут быть представлены в виде PQ -узла с соответствующими значениями активной и реактивной мощностей. Использование данного типа модели значительно повышает скорость расчетов. Однако применение такой модели возможно исключительно при исследовании установившихся режимов работы ЭЭС.

Таким образом, можно сделать вывод, что выбор математической модели, используемой для моделирования режимов работы силовых преобразователей, определяется задачами моделирования. Наиболее точной является полная модель силового преобразователя, учитывающая все физические процессы, протекающие в преобразователях. При использовании полных моделей возникают следующие трудности: высокая длительность расчетов; ограниченность исходных данных, предоставляемых заводами-изготовителями силовых преобразователей; отсутствие программно-вычислительных комплексов и др. Модель на основе средних значений с учетом высших гармоник позволяет с высокой точностью моделировать электромагнитные переходные процессы, а без учета – электромеханические. Для расчета установившихся режимов ЭЭС допустимо моделирование силовых преобразователей в виде PQ -узла.

Литература

1. Kerdphol, T. Virtual Inertia Synthesis and Control / T. Kerdphol, F.S. Rahman, M. Watanabe, Y. Mitani // Springer Nature Switzerland, Cham. – 2021. – P. 273.
2. Felderer, N. Implementation of the NIST IGBT Model based on Ordinary Differential Equations / N. Felderer, M. Luo // 17th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, Prague. – 2015. – P. 5.
3. Hefner, A. A Dynamic Electro-Thermal Model for the IGBT / A. Hefner // IEEE Transactions on Industry Applications. – № 30(2). – P. 394–405.
4. Abouelatta, M. Full electrothermal physical-based modeling of the power diode using PSPICE / M. Abouelatta, A. Shaker, M. El-Banna, M. Ossaimem, A. Zekry // Solid-State Electronics. – 2016. – P. 70–79.
5. Гречихин, Л.И. Вольт-амперные характеристики выпрямительных диодов металл – полупроводник. Часть 2. Вольт-амперные характеристики диодов металл – полупроводник / Л.И. Гречихин // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2025. – Т. 68. – № 4. – С. 291–310.

References

5. Grechikhin, L.I. Volt-ampernye kharakteristiki vypryamitelnykh diodov metall – poluprovodnik. CHast 2. Volt-ampernye kharakteristiki diodov metall – poluprovodnik /

L.I. Grechikhin // Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh obedinenii SNG. – 2025. – T. 68. – № 4. – S. 291–310.

Review of Mathematical Models of Power Converters

M.V. Burmeister, L.A. Verentsov, M.D. Nesterov, A.A. Khorkina

*National Research University "MPEI",
Moscow (Russia)*

Key words and phrases: power converters; bidirectional converters; inverters; rectifiers.

Abstract. In recent decades, power converters have been actively developing in the world. This is justified by a number of reasons, one of which is the increase in the number of generation facilities based on renewable energy sources, as well as electric energy storage systems connected using power converters. In this regard, the tasks of studying the processes occurring in electric power systems equipped with power converters arise. This requires the use of correct mathematical models that ensure high accuracy and reliability of the results obtained. The purpose of this study is to review mathematical models of power converters operating in electric power plants and to identify their applications.

© М.В. Бурмейстер, Л.А. Веренцов, М.Д. Нестеров, А.А. Хоркина, 2025

УДК 621.311.001.57

Определение настроечных коэффициентов демпфирования колебаний виртуального синхронного генератора

А.А. Хоркина, М.В. Бурмейстер, Д.В. Стаценко,
Е.А. Маленкова

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

Ключевые слова и фразы: анализ собственных значений; виртуальная инерция; виртуальный синхронный генератор; демпфирование колебаний; переходные процессы; силовой преобразователь; формирующее сеть управление.

Аннотация. Целью статьи является определение допустимых диапазонов изменения настроечных коэффициентов контуров регулирования активной и реактивной мощности виртуального синхронного генератора (ВСГ). Рассмотрена линеаризованная модель силового преобразователя с системой управления на основе концепции ВСГ. Получены зависимости выходной активной мощности от частоты и выходной реактивной мощности от напряжения в точке присоединения к сети. Выведены аналитические выражения для определения корней характеристических уравнений и проведен анализ эффективности демпфирования колебательных режимов. Исследовано влияние виртуального момента инерции на устойчивость и качество переходных процессов, предложен способ снижения колебательности.

На территории России наблюдается значительный рост установленной мощности возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общей структуре генерации. На 2025 г. установленная мощность ВИЭ составляет 7,5 ГВт. Среди объектов ВИЭ наибольшее распространение получили установки, подключаемые к электроэнергетической системе (ЭЭС) через инвертор – силовой преобразователь, который работает в ведомом режиме с внешней энергосистемой [1]. В энергосистемах с большой долей ВИЭ в силу технологической особенности данных установок актуальны вопросы регулирования частоты и напряжения [2].

На рис. 1 представлена структурная схема силовой и управляющей части преобразователя, реализующего алгоритм виртуального синхронного генератора (ВСГ). Данная система предназначена для эмуляции статических и динамических характеристик традиционного синхронного генератора, в первую очередь – инерционности и способности

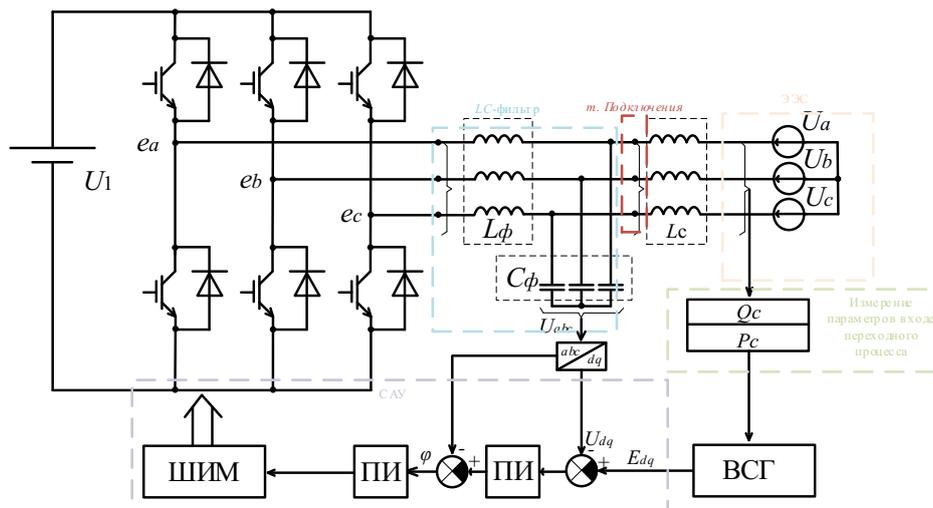


Рис. 1. Структурная схема силовой части и системы управления преобразователя, реализующего алгоритм ВСГ

к демпфированию электромеханических колебаний, что является ключевым аспектом для обеспечения статической и динамической устойчивости энергосистем с большой долей ВИЭ. Силовая часть представляет собой трехфазный мостовой инвертор, который формирует из постоянного напряжения U_1 трехфазное переменное напряжение. Форма выходного сигнала задается алгоритмом управления. Для сглаживания гармоник от широтно-импульсной модуляции (**ШИМ**) используется L_ϕ - C_ϕ -фильтр. Напряжение с выхода фильтра подается в точку подключения с напряжениями U_a , U_b , U_c , моделирующую локальную сеть или точку присоединения к внешней системе. Блок управления реализует математическую модель ротора синхронной машины.

Применение системы виртуальной инерции (**СВИ**) является одним из способов решения данных проблем [1]. Существуют различные топологии СВИ, в рамках данного исследования рассматривается топология на основе виртуального синхронного генератора. В структуре системы автоматического управления (**САУ**) ВСГ используются контуры регулирования выходной активной и реактивной мощности, позволяющие силовым преобразователям воспроизводить динамический отклик, аналогичный синхронным генераторам. Выбор настроечных коэффициентов контуров выходной активной и реактивной мощностей (K_d , J , K_Q) и их допустимых диапазонов определяет качество переходных процессов при малых возмущениях.

На рис. 2 приведена структурная схема системы управления ВСГ в малых отклонениях [3]. В схеме учтена зависимость контуров выходной активной и реактивной мощностей. Выходная активная мощность изменяется при отклонениях частоты от установленной в энергосистеме, а реактивная – при изменении напряжения в точке присоединения преобразователя к сети [4]. При ее определении было сделано допущение, что сопротивление между силовым преобразователем и энергосистемой имеет чисто индуктивный характер.

В качестве допущения примем угол между векторами ЭДС ВСГ E и напряжением в точке присоединения к сети U малым ($\delta \approx 0$). Тогда справедливо [3]:

$$\sin \delta \approx \delta. \tag{1}$$

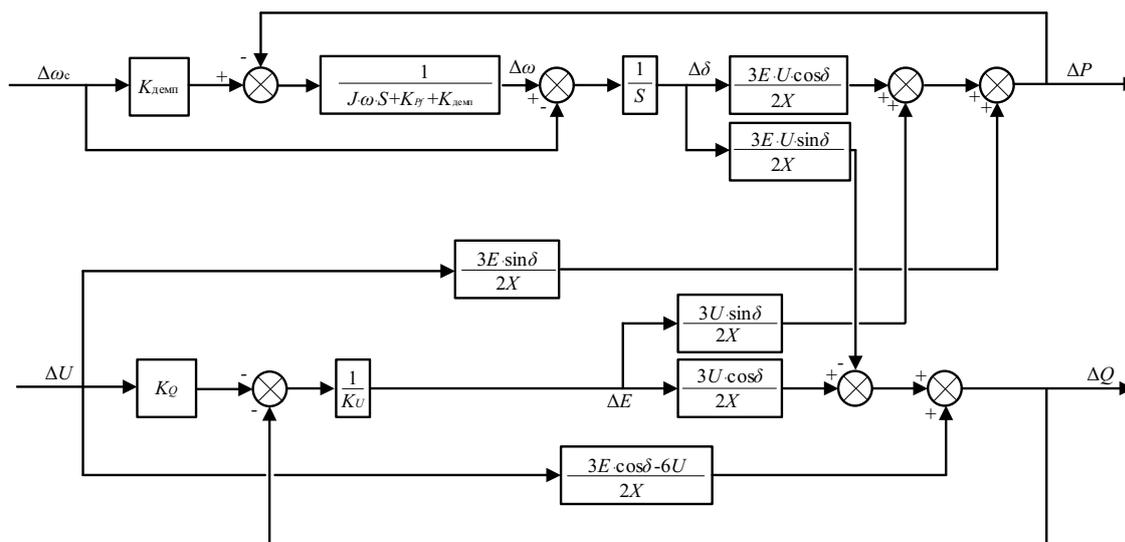


Рис. 2. Структурная схема ВСГ с учетом малых отклонений параметров установившегося режима

В соответствии со структурной схемой, представленной на рис. 1, и допущением (1) получена зависимость выходной активной мощности преобразователя от частоты в энергосистеме:

$$\frac{\Delta P}{\Delta \omega_c} \approx -\frac{3EU}{2X} \frac{s + \frac{K_P}{J\omega_c}}{s^2 + \frac{K_D + K_P}{J\omega_c}} + \frac{3EU}{2J\omega_c X}, \quad (2)$$

где P – выходная активная мощность ВСГ; K_P – коэффициент усиления по частоте; J – виртуальный момент инерции ВСГ; K_D – виртуальный коэффициент демпфирования; ω – виртуальная угловая частота ротора; ω_c – измеренная угловая частота сети; ω_0 – номинальная угловая частота сети; s – оператор дифференцирования; X – реактивное сопротивление между силовым преобразователем и ЭЭС; E – ЭДС ротора ВСГ; U – амплитуда напряжения сети.

Функция (2), связывающая частоту в энергосистеме и выходную активную мощность ВСГ, не зависит от коэффициента усиления контура регулирования реактивной мощности K_Q . Корни данного характеристического уравнения (2) могут быть рассчитаны по формуле (3):

$$s_{1,2} = \frac{-(K_D + K_P) \pm \sqrt{(K_D + K_P)^2 - \frac{6J\omega_c EU}{X}}}{2J\omega_c}. \quad (3)$$

Корни уравнения $s_{1,2}$ имеют отрицательную действительную часть, что обеспечивает устойчивость системы управления ВСГ. Настраиваемые коэффициенты ВСГ (K_D , J) могут изменяться в широком диапазоне, при этом оставаясь в области устойчивой работы. Ко-

эффицент статизма по частоте (K_p) определяется на основании требований, предъявляемых к объектам ВИЭ [5]. Для снижения колебательности переходных процессов необходимо, чтобы корни характеристического уравнения (3) были ближе к действительной оси, то есть отношение действительной к мнимой части стремилось к нулю. В соответствии с этим настроечный коэффициент эквивалентного момента инерции ВСГ J должен быть меньше или равен J_0 :

$$J_0 = \frac{(K_{\text{демп.}} + K_p)^2 X}{6\omega_c EU}. \quad (4)$$

В случае, когда момент инерции ВСГ $J > J_0$, при изменении частоты могут возникать затухающие периодические колебания. Собственная частота таких колебаний может быть рассчитана по формуле [3]:

$$\omega_k = \sqrt{\frac{3EU}{2J\omega_c X}}. \quad (5)$$

Коэффициент затухания определяется по формуле:

$$\xi = (K_d - K_p) \sqrt{\frac{X}{6\omega_c EU}}. \quad (6)$$

На основе уравнений (5)–(6) можно сделать вывод, что собственная частота колебаний определяется моментом инерции ВСГ J , а также сопротивлением между силовым преобразователем и сетью X .

В соответствии со структурной схемой системы управления, представленной на рис. 1, получена зависимость выходной реактивной мощности преобразователя от напряжения в точке присоединения силового преобразователя к сети:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta U} \approx \left[\frac{3(E - 2U)}{2X} s - \frac{2K_Q U}{2XK_U} \right] + \frac{1}{s + \frac{3U}{2XK_U}}, \quad (7)$$

где Q – выходная реактивная мощность ВСГ; K_Q – коэффициент усиления; K_U – коэффициент статизма по напряжению.

Корень характеристического уравнения (7) может быть рассчитан как

$$s_3 = -\frac{3U}{2XK_U}. \quad (8)$$

Корень s_3 является отрицательным и действительным числом при различных значениях K_U . Также он не зависит от величины настроечных коэффициентов J , K_d и K_p , что указывает на независимость расчета параметров контура управления по реактивной мощности от контура управления по активной мощности. Коэффициент усиления по реактив-

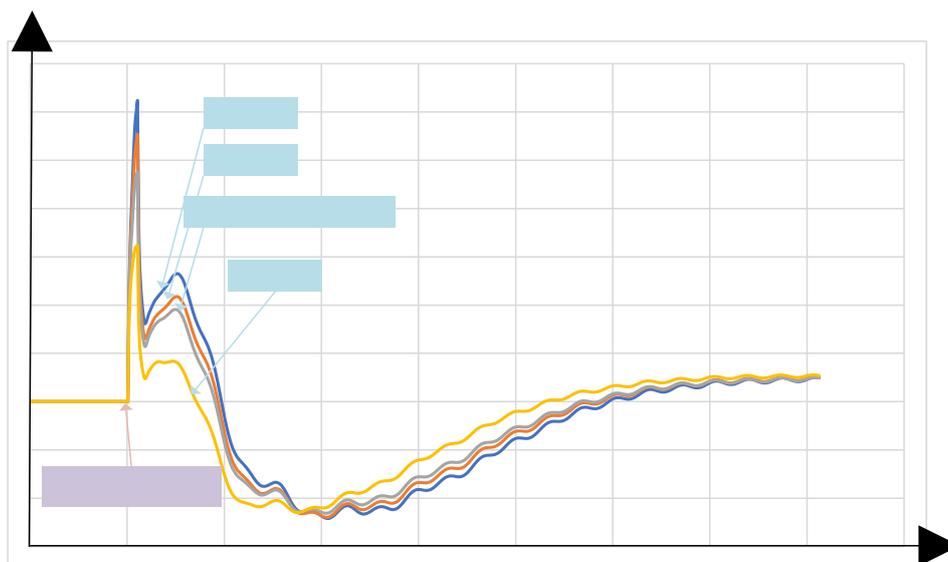


Рис. 3. Зависимость частоты от времени в переходном процессе при различных настроечных коэффициентах ВСГ

ной мощности K_Q определяется требованиями, предъявляемыми к объектам ВИЭ при снижении напряжения в сети [6].

Полученные расчетные выражения корней характеристических уравнений контуров регулирования выходной активной и реактивной мощности ВСГ позволяют оценить влияние настроечных коэффициентов на качество переходных процессов. Контур регулирования активной мощности имеет корни с отрицательной действительной частью. Это обеспечивает устойчивость системы управления при изменении настроечных коэффициентов (K_d , K_p , J , X) в широком диапазоне. Получено выражение для определения предельного значения момента инерции ВСГ J_0 , при котором возникают затухающие колебания. Получено выражение для расчета корня контура регулирования по реактивной мощности. Его значение является отрицательным действительным числом при любых допустимых значениях K_U и не зависит от величины настроечных коэффициентов J , K_d и K_p .

С целью анализа эффективности демпфирования колебаний было выполнено моделирование отклика системы на внешнее возмущение при варьировании параметра K_d . Результаты моделирования в виде зависимостей относительной частоты в узле сети от времени показаны на рис. 3.

Анализ представленных графиков переходных процессов однозначно демонстрирует, что коэффициент демпфирования ($K_{\text{демп}}$) является ключевым параметром, существенно улучшающим качество переходных процессов в системе с виртуальным синхронным генератором.

При нулевом демпфировании ($K_{\text{демп}} = 0$) система генерирует незатухающие колебания частоты, что неприемлемо для устойчивой работы. Введение и увеличение этого коэффициента ($K_{\text{демп}1}$, $K_{\text{демп}2}$, $K_{\text{демп}3}$) приводит к последовательному и значимому улучшению динамических характеристик: колебания эффективно подавляются, уменьшается перерегулирование и сокращается время переходного процесса. Наибольшее значение ($K_{\text{демп}3}$) обеспечивает апериодический, то есть наименее колебательный и наиболее плавный характер возвращения системы к установившемуся режиму.

Таким образом, корректный выбор коэффициента демпфирования напрямую определяет качество и скорость затухания переходных процессов, что является критически важным для обеспечения динамической устойчивости системы с ВСГ. Оптимальное значение $K_{\text{демп.}}$ позволяет достичь компромисса между быстродействием и демпфированием колебаний.

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*. – Москва. – 2023. – № 6(81). – С. 20–27.
2. Бердышев, И.И. Применение виртуальной синхронной машины для улучшения условий устойчивости электроэнергетических систем / И.И. Бердышев, М.В. Бурмейстер, Р.В. Булатов, Р.Р. Насыров // VI Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Технологии будущего». – Москва, 2022. – С. 139–144.
3. Hou, X. Improvement of frequency regulation in VSG-based AC microgrid via adaptive virtual inertia / X. Hou, Y. Sun, X. Zhang, J. Lu, P. Wang, J.M., Guerrero // *IEEE Trans. Power Electron.* – 2020. – № 35(2). – P. 1589–1602.
4. Song, Z. Small signal modeling and parameter design of virtual synchronous generator to weak grid / Z. Song, J. Zhang, F. Tang, M. Wu // 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2018. – P. 2618–2624.
5. Shen, C.B. Transient stability and current injection design of paralleled current-controlled VSCs and virtual synchronous generators / C.B. Shen // *IEEE Trans. Energy Convers.* – 2004. – No. 19(4). – P. 800–802.
6. Du, Y. Modeling, analysis, and design of a frequency-droop-based virtual synchronous generator for microgrid applications / Y. Du, J.M. Guerrero, L. Chang, J. Su, M. Mao // *Proc. IEEE ECCE Asia Dower, 2013*. – P. 643–649.

References

1. Burmeister, M.V. Sistemy virtualnoi inertsii: novii podkhod k integratsii VIE v elektroenergeticheskie sistemy / M.V. Burmeister, I.I. Berdyshev, R.V. Bulatov, R.R. Nasyrov // *Elektroenergiya. Peredacha i Raspredelenie*. – Moskva. – 2023. – № 6(81). – S. 20–27.
2. Berdyshev, I.I. Primenenie virtualnoi sinkhronnoi mashiny dlya uluchsheniya uslovii ustoichivosti elektroenergeticheskikh sistem / I.I. Berdyshev, M.V. Burmeister, R.V. Bulatov, R.R. Nasyrov // VI Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov i aspirantov «Tekhnologii budushchego». – Moskva, 2022. – S. 139–144.

Determination of Tuning Coefficients of a Virtual Synchronous Generator

A.A. Khorkina, M.V. Burmeister, D.V. Statsenko, E.A. Malenkova

National Research University "MPEI", Moscow (Russia)

Key words and phrases: virtual synchronous generator; grid-forming control; oscillation

damping; virtual inertia; eigenvalue analysis; power electronic converter.

Abstract. This paper addresses small-signal stability and damping of a grid-forming virtual synchronous generator (**VSG**). A linearized small-signal model of a power electronic converter with VSG-based control is developed. Steady-state characteristics relating active power to frequency and reactive power to voltage at the point of common coupling are derived. Closed-form expressions for the characteristic equation roots are obtained and used for eigenvalue-based stability analysis. The effectiveness of oscillation damping is evaluated through parametric dependencies of control gains and virtual inertia. The impact of virtual inertia on transient performance and low-frequency oscillatory modes is investigated, and a control-oriented approach for improving damping and reducing oscillatory behavior is proposed.

© А.А. Хоркина, М.В. Бурмейстер, Д.В. Стаценко, Е.А. Маленкова, 2025

УДК 94(470+571)

Исследование путей развития российско-китайского культурного сотрудничества на современном Дальнем Востоке

Ли Тунтун^{1, 2}, А.В. Друзяка¹

¹ ФГБОУ ВО «Благовещенский государственный педагогический университет»,

г. Благовещенск (Россия);

² Хэйхэский университет,

г. Хэйхэ (Китай)

Ключевые слова и фразы: Дальний Восток; культурный обмен; пути развития; сотрудничество.

Аннотация. Цель работы – анализ факторов и ограничений, влияющих на российско-китайское культурное взаимодействие на Дальнем Востоке, а также определение стратегических путей его углубления и институционализации.

Задачи: проанализировать институциональные платформы российско-китайского культурного сотрудничества на Дальнем Востоке; выявить ключевые проблемы и сдерживающие факторы, влияющие на развитие культурных обменов; рассмотреть основные направления взаимодействия; определить краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные пути улучшения сотрудничества; сформулировать предложения по повышению качества и устойчивости культурного обмена.

Гипотеза исследования состоит в предположении, что успешное развитие российско-китайских культурных связей на Дальнем Востоке возможно при условии трансформации высокого уровня политического доверия в прочный общественный фундамент, что требует перехода от масштабных, но преимущественно формальных мероприятий к содержательным, инновационным и институционализированным моделям сотрудничества.

Методы и методология: системный и сравнительный анализ, опирающийся на междисциплинарный подход и включающий изучение научных публикаций, официальных документов и практических примеров российско-китайского культурного сотрудничества на Дальнем Востоке.

Проведенный анализ показал, что российско-китай-

ское культурное сотрудничество на Дальнем Востоке достигло заметных успехов в сферах образования, культуры, туризма, спорта и медиа, однако развитие партнерства по-прежнему сдерживается асимметричностью языковой подготовки, ограниченностью инфраструктуры, формализмом отдельных мероприятий и дефицитом кадровых и финансовых ресурсов. Выявлено, что перспективное развитие сотрудничества требует перехода от масштабных, но поверхностных форматов к более содержательным и углубленным моделям взаимодействия, основанным на инновационных платформах, вовлечении молодежи и создании совместных культурных брендов.

Высшее руководство Китая и России придает большое значение культурному обмену и сотрудничеству между двумя странами. Председатель КНР Си Цзиньпин подчеркнул, что необходимо углублять культурный обмен между Китаем и Россией, укреплять взаимопонимание и позволять дружбе между двумя странами передаваться из поколения в поколение. Президент Владимир Путин также отметил, что без культурного обмена и без построения «мостов духовного общения» между простыми людьми невозможно развитие всеобъемлющего стратегического партнерства между Россией и Китаем. Российско-китайские отношения уже стали образцом межгосударственных связей великих держав в современном мире, в чем значительную роль сыграло сотрудничество в культурной сфере. В последние годы культурное взаимодействие на Дальнем Востоке стало более содержательным и масштабным. Российско-китайские отношения переживают исторически наилучший период, уровень доверия между лидерами двух стран остается крайне высоким. Дальний Восток является точкой пересечения российской стратегии «Поворота на Восток» и китайской стратегии «Возрождения Северо-Востока», а также инициативы «Один пояс, один путь» (в частности, «Ледяного шелкового пути»). В этой связи культурный обмен выступает «мягкой опорой» и «смазкой» для сопряжения двух стратегий. Дальний Восток отличается обширной территорией и низкой плотностью населения, он граничит с Северо-Восточным Китаем, что обеспечивает высокую экономическую взаимодополняемость, однако взаимное понимание и доверие на уровне граждан недостаточны. Культурный обмен способен устранить барьеры, укрепить дружбу и создать благоприятную социальную среду для «жесткого сотрудничества», такого как экономическое, торговое и инвестиционное. В то же время сохраняются определенные проблемы:

- преобладание официальных и крупных мероприятий при недостатке глубокого межобщественного взаимодействия;
- ограниченность тематики культурных контактов, слабое внимание к современной и молодежной культуре;
- нехватка кадров, владеющих языком, особенно высококвалифицированных специалистов, хорошо знающих страну-партнера;
- некоторые механизмы обмена затруднены международной обстановкой и последствиями пандемии.

Содействие культурному обмену и сотрудничеству России и Китая в Дальневосточном регионе является важнейшим направлением углубления всеобъемлющего стратегического партнерства, укрепления общественной основы и продвижения регионального процветания. Результаты исследования показывают, что культурное сотрудничество на Дальнем

Востоке достигло исторически высокого уровня и стало заметным фактором укрепления политического взаимного доверия и экономического взаимодействия. Вместе с тем выявлены устойчивые проблемы: языковая асимметрия, слабая инфраструктура, ограниченный кадровый потенциал и тенденция к формализму. Сделан вывод, что дальнейший прогресс возможен при условии активного вовлечения молодежи, укрепления брендовых инициатив, цифровизации обменов и создания устойчивых диалоговых площадок. В перспективе Дальний Восток способен превратиться в модельный регион российско-китайского гуманитарного взаимодействия, демонстрирующий синергию культурного, социального и экономического развития.

Основы культурного обмена и сотрудничества России и Китая на Дальнем Востоке

Институциональные платформы.

- Российско-китайское ЭКСПО: проводится ежегодно поочередно в двух странах, включает специальные мероприятия, посвященные культуре и туризму.
- Восточный экономический форум: Китай выступает важным участником, а культурное сотрудничество является одной из тем обсуждения.
- Межправительственная комиссия по сотрудничеству между Северо-Восточным Китаем, Дальним Востоком и Байкальским регионом России: включает культурное взаимодействие в сферу своей деятельности.

Основные направления обмена.

- Образование: взаимный обмен студентами, совместное создание университетов (например, Шэньчжэньский Били-Московский университет), языковые конкурсы (такие как «Мост китайского языка», «Олимпиада по русскому языку»), краткосрочные летние школы.
- Культура: взаимные гастроли художественных коллективов («Фестиваль китайской культуры», «Фестиваль российской культуры»), художественные выставки, двусторонний перевод и издание книг, кинонедели.
- Туризм: взаимное освобождение от виз для групповых поездок, разработка трансграничных туристических маршрутов (например, из провинций Хэйлунцзян и Цзилинь во Владивосток, на Камчатку и др.).
- Спорт: трансграничные марафоны, обмен в зимних видах спорта, сотрудничество в области ушу и дзюдо.
- Медиа: совместные интервью и репортажи средств массовой информации, сотрудничество в новых медиаформатах (например, проект «Россия – Китай. Главные новости»).

Основные проблемы и сдерживающие факторы

Асимметричность двусторонних обменов.

- Неравномерность в изучении языков. Число изучающих русский язык в Китае значительно меньше, чем число изучающих китайский язык в России. Это приводит к тому, что языковые барьеры чаще приходится преодолевать российской стороне, что ограничивает широту и глубину взаимодействия.
- Асимметрия в информационном обмене. Репортажи СМИ о партнерской стране иногда отличаются односторонностью или содержат стереотипы, что влияет на объективное восприятие и формирование общественного мнения.

Недостатки инфраструктуры и пропускной способности на Дальнем Востоке.

За исключением Владивостока и еще нескольких городов, инфраструктура Дальнего Востока (транспорт, гостиницы, туристические объекты) остается относительно слабо развитой. Несмотря на постепенное улучшение трансграничного транспортного сообщения, уровень его удобства и комфорта все еще требует повышения, что ограничивает массовые контакты. Способность принимать большие туристические потоки и крупные делегации остается ограниченной, что сдерживает развитие туризма и смежных отраслей.

Недостаток инноваций в содержании и формах.

Некоторые обменные мероприятия носят формальный характер, их содержание однообразно и недостаточно привлекательно для молодежи. Потенциал онлайн-обмена в цифровую эпоху используется не в полной мере.

Кадровые и финансовые ограничения.

Сохраняется дефицит специалистов, свободно владеющих китайским и русским языками, особенно в таких профессиональных сферах, как экономика, наука и техника, юриспруденция. Многие проекты культурного обмена не имеют устойчивого финансового обеспечения, что препятствует их долгосрочному развитию.

Пути улучшения культурного обмена и сотрудничества

В целом перспективы развития характеризуются тем, что возможности значительно перевешивают трудности: потенциал широк, однако требует внимательного и последовательного продвижения. Сотрудничество постепенно должно перейти от этапа «масштабности и широты охвата» к этапу «высокого качества и глубокой проработки».

Краткосрочные перспективы (1–3 года): укрепление фундамента и внедрение инновационных форм.

- Фокус на молодежи. Существенное увеличение числа программ студенческого обмена, краткосрочного обучения, визитов молодых художников. Активное использование новых медиа – коротких видео, социальных сетей и др. – для создания контента, ориентированного на поколение Z (например, взаимодействие китайских и российских блогеров, киберспортивные обмены).

- Совершенствование туризма. Разработка высококачественных, нишевых и комплексных туристических продуктов, что позволит избежать негативных впечатлений от «дешевых туров». Улучшение «мягкой инфраструктуры»: внедрение электронных виз, упрощение платежных сервисов (широкое использование *UnionPay*, *Alipay* и др.). Создание тематических маршрутов: «красный туризм» (например, Мемориальный музей VI съезда КПК), «экологический туризм» (Байкал, озеро Синькай), «туризм культурного наследия».

- Укрепление брендовых мероприятий: регулярное проведение таких знаковых проектов, как «Фестиваль китайско-российской культуры», «Китайско-российский спортивный карнавал», «Дальневосточная олимпиада по китайскому языку», с целью повышения их авторитета и узнаваемости.

Среднесрочные перспективы (3–5 лет): институционализация и платформенное развитие.

- Создание диалоговых площадок высокого уровня: учреждение «Форума российско-китайского культурного сотрудничества на Дальнем Востоке» с участием представителей органов власти, бизнеса, университетов и культурных организаций, формирование устойчивого механизма обмена.

- Совместное строительство комплексных площадок: изучение возможности создания «Совместного китайско-российского университета» (например, во Владивостоке), российско-китайского индустриального парка в сфере культуры и туризма, инновационного центра научно-технического сотрудничества.

- Совместные научные исследования: поддержка взаимодействия аналитических центров и ученых обеих стран в изучении вопросов освоения Дальнего Востока, сотрудничества в Арктике, трансграничной охраны окружающей среды и других общих проблем; предоставление научного обоснования и рекомендаций для государственной политики.

Долгосрочные перспективы (5 лет и более): глубокая интеграция и взаимопонимание народов.

- Формирование общей идентичности: с помощью длительных и многоуровневых контактов постепенно преодолевать исторические предубеждения, вырабатывать общее понимание, что Дальний Восток – это пространство совместного развития России и Китая, а не «арена соперничества».

- От обмена к интеграции: в областях, где для этого есть благоприятные условия (например, в сфере художественного творчества и технологических инноваций), содействовать переходу от «обмена» к более глубокой модели интеграции, характеризующейся «совместным творчеством» и «совместными исследованиями и разработками». Среди возможных направлений: съемки кино- и телепроектов на фоне Дальнего Востока и Северо-Востока Китая; продвижение китайских цифровых культурных продуктов (игры, анимация, онлайн-литература) на российский рынок и параллельное распространение российских культурных проектов в Китае.

- Создание сообщества с единым будущим для региона: конечная цель – сделать российский Дальний Восток моделью для взаимодействия между людьми, культурного процветания и экономических выгод для России, Китая, Северо-Восточной Азии и других регионов.

Заключение

Современное российско-китайское культурное сотрудничество на Дальнем Востоке выступает «стабилизатором» и «ускорителем» устойчивого развития двусторонних отношений. Его перспективы в решающей степени зависят от того, смогут ли стороны преобразовать высокий уровень политического доверия в прочную социальную основу общественной поддержки. Несмотря на существующие трудности (различия в восприятии, инфраструктурные ограничения и др.), в условиях стратегического руководства и под влиянием региональных потребностей, за счет инновационных форматов, создания новых платформ, концентрации усилий на работе с молодежью и развития брендовых проектов, культурный обмен между Россией и Китаем на Дальнем Востоке неизбежно выйдет на более высокий уровень развития.

Продвижение российско-китайского культурного сотрудничества на Дальнем Востоке представляет собой долгосрочную, базовую и стратегическую системную задачу. Для ее реализации необходимы согласованные усилия по нескольким направлениям: совместное участие государства и общества, одновременное обновление содержания и форм, сочетание традиционных и цифровых каналов взаимодействия, комплексное развитие как материальной, так и институциональной базы. Конечная цель состоит в том, чтобы превзойти рамки простого культурного обмена и осуществить качественный переход от «знакомства и познания» к «уважению и близости», сделав взаимопонимание народов прочным фунда-

ментом российско-китайских отношений на Дальнем Востоке, показав региональный пример построения сообщества с единой судьбой для человечества.

Литература

1. Чэнь Хунпэн. Исследование контрмер по совместному продвижению провинциями Хэйлунцзян и Гуандун инвестиционного сотрудничества с российским Дальним Востоком / Чэнь Хунпэн // Коммерческая экономика. – 2020. – № 4.
2. Денисов, А. Перспективы российско-китайского инвестиционного сотрудничества / А. Денисов // Китайские зарубежные инвестиции. – 2013. – № 12.
3. Дяо Сюэхуа. Прогресс экономического сотрудничества России и региона Северо-Восточной Азии : монография / Дяо Сюэхуа. – Далянь : Изд-во Северо-Восточного финансово-экономического университета, 2011.

References

1. CHen KHunpen. Issledovanie kontrmer po sovместnomu prodvizheniyu provintsiyami KHeiluntszyan i Guandun investitsionnogo sotrudnichestva s rossiiskim Dalnim Vostokom / CHen KHunpen // Kommercheskaya ekonomika. – 2020. – № 4.
2. Denisov, A. Perspektivy rossiisko-kitaiskogo investitsionnogo sotrudnichestva / A. Denisov // Kitaiskie zarubezhnye investitsii. – 2013. – № 12.
3. Dyao Syuekhua. Progress ekonomicheskogo sotrudnichestva Rossii i regiona Severo-Vostochnoi Azii : monografiya / Dyao Syuekhua. – Dalyan : Izd-vo Severo-Vostochnogo finansovo-ekonomicheskogo universiteta, 2011.

Research on the Pathways for Developing Sino-Russian Cultural Cooperation in the Modern Far East

Li Tongtong, A.V. Druzyaka

*Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk (Russia);
Heihe University, Heihe (China)*

Key words and phrases: Far East; cultural exchange; cooperation; development paths.

Abstract. The purpose of this study is to analyze the factors and constraints influencing Russian-Chinese cultural interaction in the Russian Far East and to identify strategic paths for its deepening and institutionalization.

The objectives are to analyze the institutional platforms for Russian-Chinese cultural cooperation in the Russian Far East; to identify key issues and constraints affecting the development of cultural exchanges; to examine the main areas of interaction; to identify short-, medium-, and long-term ways to improve cooperation; and to formulate proposals for improving the quality and sustainability of cultural exchanges.

The study's hypothesis is that the successful development of Russian-Chinese cultural ties in the Russian Far East is possible only if the high level of political trust is transformed into a solid social foundation, which requires a transition from large-scale, but predominantly formal, events to meaningful, innovative, and institutionalized models of cooperation.

Methods and methodology: a systemic and comparative analysis based on an interdisciplinary approach and including a review of academic publications, official documents, and practical examples of Russian-Chinese cultural cooperation in the Russian Far East.

The analysis revealed that Russian-Chinese cultural cooperation in the Russian Far East has achieved significant success in education, culture, tourism, sports, and media. However, the development of the partnership remains hampered by asymmetric language training, limited infrastructure, the formality of individual events, and a shortage of human and financial resources. It was found that the prospects for further development of cooperation require a shift from large-scale but superficial formats to more meaningful and in-depth models of interaction based on innovative platforms, youth engagement, and the creation of joint cultural brands.

© Ли Тунтун, А.В. Друзяка, 2025

УДК 69

Разработка системы контроля сроков реализации строительных проектов в условиях цифровой трансформации строительства

М.С. Егорова, И.В. Дроздова, В.А. Зеленина

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург (Россия)*

Ключевые слова и фразы: контроль сроков; строительный проект; цифровизация.

Аннотация. Надежный контроль сроков реализации строительных работ является одной из ключевых задач управления проектами. Задержки строительства приводят к росту затрат, снижению доверия заказчиков и инвесторов, а также к социальным и экономическим потерям. Существующие методы планирования и контроля зачастую оказываются недостаточно оперативными из-за ограниченной достоверности и частоты получения фактической информации с площадки. Практика показывает, что одна из наиболее распространенных проблем, влияющая на соблюдение графиков, – это минимальное реальное присутствие сотрудников на строительной площадке, операционная дисциплина бригад, а также субподрядчиков. Именно отсутствие объективных и регулярно обновляемых данных о явке и активности работников на объекте часто становится причиной неправильно оцененных рисков и запоздалых корректирующих действий. Целью исследования является разработка методологии цифровой системы контроля сроков, в основе которой лежат данные платформы «Умная Ладощка», и описание методики оценки ее влияния на вероятность соблюдения графиков и экономический эффект внедрения.

Проведенный анализ существующих методов показал, что традиционные инструменты контроля (табели, визуальные обходы, отчеты подрядчиков) фиксируют лишь часть информации и часто поступают с задержкой. Изучение зарубежных и российских практик цифровизации (*BIM, IoT, RFID*) позволило выявить существенный разрыв: большинство решений ориентированы на проектирование или учет материалов, но не на дисциплину и фактическое присутствие персонала. В ходе работы стало очевидно, что именно площадочные цифровые системы комплексного контроля явки и операций способны восполнить этот пробел. Среди них особый интерес вызвала система «Умная Ладощка», разра-

ботанная и апробированная в Москве, так как она сочетает в себе учет рабочего времени, фиксацию событий и возможность интеграции с календарным планированием. В предложенном исследовании «Умная Ладощка» рассматривается не просто как вспомогательное средство, а как центральный элемент системы контроля сроков: ее данные формируют основу для оперативного мониторинга и принятия управленческих решений [1].

Вопрос контроля сроков реализации строительных проектов стабильно занимает центральное место в исследованиях по управлению проектами. Традиционные исследования по управлению сроками фокусируются на календарно-сетевых методиках и *EVM*. Однако в литературе последних лет отмечено смещение интереса к цифровым инструментам, дающим объективные данные с площадки. Работы по *EVM* подчеркивают важность частых, достоверных замеров выполненного объема для точного расчета индексов *SPI* и *SV*; площадочные системы позволяют оперативно предоставлять такие данные.

Исследования, посвященные цифровым платформам контроля на площадках (например, технологии *RFID*, биометрическая регистрация, мобильные приложения для учета рабочего времени и специализированные платформы), показывают, что повышение количества наблюдений существенно улучшает точность прогнозов выполнения работ. При этом ключевым фактором успеха является интеграция таких систем с планированием и системой учета работ [3].

Российская практика внедрения площадочных решений имеет ряд заметных ситуаций. Системы, аналогичные «Умной Ладощке», используются для верификации явки персонала, фиксации длительности работ и подтверждения выполнения ключевых операций. Отмечается, что реализация подобных систем на строительных площадках позволяет не только объективизировать отчетность, но и снижать недобросовестные практики: «накрутку» времени, фиктивное присутствие и искажение объемов выполненных работ.

Логика развития исследований и анализа практик показывает, что «Умная Ладощка» стала естественным продолжением тенденции к цифровизации контроля сроков строительства. Если *BIM* и *IoT* в большей степени решают задачи моделирования и мониторинга технических параметров, то «Умная Ладощка» непосредственно отвечает на ключевую проблему управления проектами – достоверный и своевременный учет явки и дисциплины персонала. Это обстоятельство и определило направление нашего исследования [2].

Методология данного исследования базируется на сравнительном анализе двух крупнейших строительных рынков России – Москвы и Санкт-Петербурга. Такой выбор обусловлен тем, что оба города имеют схожие масштабы объема жилищного строительства, но различаются степенью внедрения цифровых инструментов контроля. В Москве в 2019–2022 гг. была апробирована система «Умная Ладощка», позволяющая фиксировать явку персонала и выполнение операций в реальном времени. В Санкт-Петербурге в тот же период контроль сроков осуществлялся преимущественно традиционными методами: табельным учетом, визуальными обходами и отчетами подрядчиков.

Эмпирическая база исследования включает 18 проектов массового жилищного строительства, реализованных в 2019–2023 гг. В выборку вошли 10 московских проектов, где применялась система «Умная Ладощка», и 8 сопоставимых проектов в Санкт-Петербурге, где цифровой контроль отсутствовал. Для калибровки данных использовались сведения из трех источников: официальная статистика Минстроя РФ (2022), показывающая, что средняя задержка по крупным городам составляет 38–45 дней; корпоративные отчеты московских застройщиков, где после внедрения «Умной Ладощки» средние задержки снизились до 18–20 дней; а также анализ проектной документации и других документов 8 петербургских объектов, где средняя задержка находилась в диапазоне 45–50 дней [1].

В исследовании зависимые переменные были связаны с результативностью проектного цикла. В первую очередь рассматривался факт соблюдения сроков сдачи объекта, выраженный в бинарной форме: проект либо завершен в срок, либо имело место нарушение графика. Дополнительно фиксировалась величина задержки в календарных днях, а также рассчитывался индекс освоенного объема (*SPI*), который позволяет оценить эффективность выполнения запланированных работ в сопоставлении с фактическим прогрессом.

Независимые переменные были получены из данных исследований «Умной Ладшки» и отражали ключевые характеристики трудовой дисциплины и производственной организации. Среди них особое значение имел показатель согласованности явки, который отражает стабильность выхода сотрудников на площадку в соответствии с планом. В Москве этот коэффициент составил 0,91, что указывает на высокую дисциплину, тогда как в Санкт-Петербурге без применения системы он равнялся 0,83. Важным фактором стала и доля смен с задержками начала работ, в Москве она ограничивалась 0,06, а в Санкт-Петербурге достигала 0,14.

Для проверки гипотезы применялся комплекс методов анализа. Сначала использовалась описательная статистика, позволившая выявить, что средняя задержка в Москве после внедрения системы составила 18 дней против 47 дней в Санкт-Петербурге, где контроль носил традиционный характер. Доля проектов, завершенных в срок, достигла 80 % в Москве и лишь 55 % в Санкт-Петербурге. Далее проводился корреляционный анализ, который показал более тесную связь дисциплины явки и своевременной сдачи в Москве (коэффициент 0,64 при $p < 0,01$), чем в Санкт-Петербурге (0,41 при $p < 0,05$). На следующем этапе была построена логистическая регрессия, результаты которой продемонстрировали, что вероятность завершения проекта в срок в условиях внедрения «Умной Ладшки» увеличивается в 2,5 раза ($OR = 2,5$; $p = 0,01$). Для Санкт-Петербурга статистически значимых эффектов получено не было, что связано с отсутствием системного цифрового контроля. Наконец, для оценки чистого эффекта применения системы был применен экспериментальный подход, показавший сокращение средней задержки в Москве на 24 дня по сравнению с Санкт-Петербургом, выступавшим контрольной группой [2].

Таким образом, методология исследования демонстрирует, что эффект внедрения «Умной Ладшки» подтверждается статистически и выражается в сокращении задержек и повышении управляемости сроков строительства. Сравнительный анализ двух городов показывает, что московский опыт может служить основой для переноса цифровых решений на строительные проекты Санкт-Петербурга и других регионов России.

Практическое внедрение системы «Умная Ладшка» в строительные проекты Москвы началось в 2019 г. как пилотный проект городских властей и крупных девелоперов. На первом этапе система выполняла функцию биометрического контроля явки сотрудников на строительных площадках. На втором этапе (2020–2021 гг.) ее функционал был расширен: появились модули интеграции с календарными графиками и автоматическая фиксация ключевых операций. К 2022 г. «Умная Ладшка» использовалась уже на десятках жилых комплексов Москвы, что позволило сформировать репрезентативную базу данных для анализа [3].

Внедрение системы решило ряд проблем, характерных для традиционного подхода: отсутствие точного учета невыходов работников на площадку, низкая прозрачность выполнения отдельных этапов и субъективность подрядной отчетности. По данным московских проектов, количество зафиксированных опозданий сократилось более чем на 35 %, а своевременность выполнения задач повысилась за счет автоматической синхронизации с календарными планами.

Дополнительно было выявлено влияние организационной дисциплины на результативность. Корреляционный анализ показал сильную зависимость между согласованностью явки персонала и своевременной сдачей объектов в Москве ($r = 0,64$, $p < 0,01$) и более слабую в Санкт-Петербурге ($r = 0,41$, $p < 0,05$). Логистическая регрессия подтвердила, что повышение дисциплины явки на 10 процентных пунктов увеличивает вероятность завершения проекта в срок в 2,5 раза ($OR = 2,5$, $p = 0,01$). Для петербургской выборки статистически значимые результаты не были получены, что объясняется отсутствием объективного цифрового контроля.

Применение различных методов позволило оценить чистый эффект внедрения: в Москве средние задержки сократились на 24 дня по сравнению с Санкт-Петербургом. Этот показатель имеет прямой экономический смысл: по расчетам, снижение задержки на 24 дня в среднем эквивалентно экономии 60–70 млн руб. на один объект за счет уменьшения расходов на содержание площадки и штрафных санкций.

Таким образом, результаты внедрения «Умной Ладочки» в Москве подтверждают ее эффективность как инструмента цифрового управления строительством. Система не только снижает задержки, но и обеспечивает более высокую предсказуемость и прозрачность процессов. Сравнение с Санкт-Петербургом показывает, что московский опыт имеет высокий потенциал масштабирования на другие регионы России [1].

В целом исследование подтверждает, что цифровые инструменты управления проектами становятся ключевым фактором повышения эффективности строительной отрасли. Внедрение систем, подобных «Умной Ладочке», способствует не только сокращению временных и финансовых потерь, но и развитию профессиональной компетентности менеджеров проектов, улучшению качества планирования и укреплению доверия со стороны всех участников строительного процесса.

Исследование выполнено в рамках студенческого гранта СПбГАСУ 2025 г.

Литература

1. Степанов, А.В. Цифровизация строительной отрасли: перспективы и вызовы / А.В. Степанов, М.В. Матвеева, Е.С. Пешкова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2024. – № 2(49) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-stroitelnoy-otrasli-perspektivy-i-vyzovy>.
2. Новосельцев, И.В. Система для визуального контроля строительного-монтажных работ, совмещающая сферическую панораму, 3d-модель сооружения и календарно-сетевой график / И.В. Новосельцев // International Journal of Open Information Technologies. – 2023. – № 8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-dlya-vizualnogo-kontrolya-stroitelno-montazhnyh-rabot-sovmeschayuschaya-sfericheskuyu-panoramu-3d-model-sooruzheniya-i>.
3. Копылов, А.Д. Цифровизация процессов управления в строительстве / А.Д. Копылов, А.В. Королев, А.В. Батищев // ЕГИ. – 2023. – № 2(46) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-protsessov-upravleniya-v-stroitelstve>.

References

1. Stepanov, A.V. TSifrovizatsiya stroitelnoi otrasli: perspektivy i vyzovy / A.V. Stepanov, M.V. Matveeva, E.S. Peshkova // Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost. – 2024. –

№ 2(49) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-stroitelnoy-otrasli-perspektivy-i-vyzovy>.

2. Novoseltsev, I.V. Sistema dlya vizualnogo kontrolya stroitelno-montazhnykh rabot, sovmeshchayushchaya sfericheskuyu panoramu, 3d-model sooruzheniya i kalendarno-setevoi grafik / I.V. Novoseltsev // International Journal of Open Information Technologies. – 2023. – № 8 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-dlya-vizualnogo-kontrolya-stroitelno-montazhnyh-rabot-sovmeschayuschaya-sfericheskuyu-panoramu-3d-model-sooruzheniya-i>.

3. Kopylov, A.D. TSifrovizatsiya protsessov upravleniya v stroitelstve / A.D. Kopylov, A.V. Korolev, A.V. Batishchev // EGI. – 2023. – № 2(46) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-protsessov-upravleniya-v-stroitelstve>.

Development of a System for Monitoring the Dates of Construction Projects in the Context of Digital Construction

M.S. Egorova, I.V. Drozdova, V.A. Zelenina

*St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg (Russia)*

Key words and phrases: time control; construction project; digitalization.

Abstract. Reliable time control of construction work is one of the key tasks of project management. Construction delays lead to increased costs, reduced trust from customers and investors, and social and economic losses. Existing planning and control methods are often insufficiently efficient due to the limited accuracy and frequency of actual information from the site. Practice shows that one of the most common problems affecting the compliance with schedules is the minimum real presence of employees on the construction site, the operational discipline of the teams, as well as subcontractors. It is the lack of objective and regularly updated data on the appearance and activity of workers at the facility that often leads to misjudged risks and delayed corrective actions. The purpose of the study is to develop a methodology for digital systematic.

© М.С. Егорова, И.В. Дроздова, В.А. Зеленина, 2025

УДК 331.45

Методологическое понимание социально-экономических условий охраны и безопасности труда в современной России

Е.В. Суханов

*Липецкий филиал ФГБОУ ВО «Российская академия
народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации»,
г. Липецк (Россия)*

Ключевые слова и фразы: безопасность; время; декрет; забастовка; закон; зарплата; инспекция; классификация; кодекс; контроль; льгота; Международная организация труда; Наркомтруд; обучение; рабочий; Россия; страхование; труд; улучшение; экзамен; экономика.

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью сосредоточения внимания на социально-экономической оценке условий труда на предприятиях и организациях современной России. Цель статьи – показать возможности формирования безопасных условий труда как государственными органами, так и бизнесом России. Гипотезой исследования выступают составные элементы совершенствования существующего положения дел с условиями труда в бизнесе России. Методы исследования: анализ, синтез, обобщение. Достигнутые результаты, подвергнутые качественному и количественному анализу нормативно-правовых документов, принятых в России в разные периоды ее существования, являются новым пониманием формирования условий и охраны труда в народном хозяйстве России.

Международная организация труда (**МОТ**) принимает международные трудовые нормы, посвященные вопросам охраны труда. Конвенция № 155 МОТ [1], принятая в г. Женеве 22 июня 1981 г. на 67-й сессии Генеральной конференции МОТ, одобрена Федеральным законом РФ от 11 апреля 1998 г. № 58-ФЗ. Данный акт распространяется на всех трудящихся, работающих во всех отраслях экономической деятельности, к которым применяются его положения.

Организованная охрана труда как система обеспечения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности дала повод в 80-е годы к принятию Системы управления охраной труда (**СУОТ**) [5], которая способствовала изменению подходов к безопасному ведению работ, что стало конкретным документом. В нем изложены нормы работодателей по вопросам охраны труда. Нормативы, изложенные в СУОТе, презентовали в 1984 г.

Таблица 1. Численность пострадавших (чел.)

Год	Легкий исход	Тяжелый исход	Смертельный исход
2020	24172	3251	1277
2021	27018	3003	1530
2022	25610	5035	1643
2023	24650	5134	1666
2024	26512	5426	1836

в экспозиции «Охрана труда-84» на ВДНХ СССР. В настоящее время в России СУОТ – это часть общей системы управления организацией, которая обеспечивает сохранение здоровья и безопасность труда, связанные с деятельностью бизнеса.

Летом 2009 г. на смену ГОСТа Р12.0.006-2002 пришел наднациональный ГОСТ 12.0.230-2007 «Система управления охраной труда. Общие требования» [3]. Этот ГОСТ оказался причиной принятия всемирного правила OHSAS [4] и Международной организации труда под номером 11.0-OSH 2001.

На основании ГОСТа 12.0.230-2007 система управления охраной труда – это набор взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, устанавливающих политику и цели по охране труда и процедуры по достижению этих целей. В соответствии со стандартом, руководство организации несет ответственность за охрану труда, обеспечивает разработку, внедрение и функционирование СУОТ, которая является частью общей системы управления организацией, обеспечивающей управление рисками в области охраны здоровья и трудовой деятельности.

Социальный фонд России [6] приводит данные по численности пострадавших на производстве в виде несчастных случаев, произошедших на предприятиях и в организациях за предыдущий период. Цифры показывают неуклонный рост (табл. 1).

Международная организация труда также ведет статистику и публикует свои данные. Если рассматривать только позицию «производственный травматизм со смертельным исходом» (*fatal cupational injuries*), приходящийся на сто тысяч работников, то Россия по этому показателю за 2023 г. имеет 79 строчку в мире. Этот показатель намного превосходит показатели развитых промышленных стран и даже тех стран, у которых развитой промышленности нет, и во многих бывших республиках Советского Союза. По данным МОТ, количество работающих, травмированных с летальным результатом по видам производственной деятельности, отображено следующим образом: «индустрия» – 236, «транспорт и хранение» – 210, «строительство» – 190, «сельское лесное хозяйство и рыболовство» – 134.

Рассуждениям о том, что «дикий капитализм» 90-х годов – это прошлое, и экономика России развивается по рыночному пути, наступил «золотой век» процветания, противоречит статистика. Как видно из табл. 1, показатели травматизма и смертности на производстве имеют тенденцию к росту. Существенных улучшений в сфере охраны труда не наступило.

Историю охраны труда в правовом поле можно условно отсчитывать с царской России, где безопасности труда совсем не уделялось никакого внимания со стороны хозяев предприятий, и это являлось отличительной чертой беспредельной эксплуатации рабочих. В июле 1897 г., когда в России массово происходило забастовочное движение, царь

Николай II принимает решение и объявляет закон «О продолжительности и распределении рабочего времени в заведениях фабрично-заводской промышленности», где продолжительность рабочего времени составляла 11,5 часов для мужского пола. Рабочий день объявлялся десятичасовым для работы ночью, по субботам и в праздники. Для женщин и детей продолжительность рабочего дня ограничивалась десятью часами при шестидневной рабочей неделе [7].

Обременительный, тяжелый, с высокой долей травматизма труд заставлял рабочих бороться за свои права по ограничению трудовой вахты восемью часами в сутки. Законодательно принят ежегодный отпуск и утвердилась продолжительность непрерывной работы наемных рабочих обоего пола во всех отраслях народного хозяйства до 42 часов в неделю. В те времена не обращалось должного внимания на задействование детского и женского труда. Не было денежных выплат в виде гарантий рабочим при приближении старости или частичной потери здоровья и способности к труду; достаточное количество фабричных инспекций, врачебно-санитарный надзор полностью отсутствовали. Принятые в то время законодательные акты по охране труда игнорировались.

Только после падения царского самодержавия в 1917 г. в России начали создаваться и учреждаться специальные положения, нормы, законы, относящиеся к охране труда, и реализовываться на практике. Начало положил декрет «О восьмичасовом рабочем дне», принятый 11 ноября 1917 г. [8], который учредил длительность рабочей недели 48 часов. Этот документ явился прогрессивным актом мировой жизни, новым решением для жизни людей. Похожие законодательства стали принимать во многих странах мира, но намного позже. В США восьмичасовой рабочий день установлен только в 1938 г.

После падения царизма в России стало меняться и совершенствоваться законодательство по условиям труда и его охране. В РСФСР учрежден контроль государства за безопасным ведением работ как никогда прежде в деле охраны труда [9]. В 1920 г. появился Центральный институт труда, а в 1923 г. основан Народный комиссариат труда. В декабре 1918 г. зародился «Кодекс законов о труде РСФСР», который запрещал принимать на работу несовершеннолетних (до 16 лет), женщины перестали трудиться в ночное время, на особо тяжелом и опасном для здоровья производстве. В 1922 г. Всесоюзный Центральный исполнительный комитет СССР опубликовал новый «Кодекс законов о труде», в котором впервые разъясняется значение трудовой деятельности, заключается трудовой договор, который юридически излагает принцип выбора рабочего места. Запрещалось эксплуатировать новые производства без положительной санкции инспекции труда. На предприятиях надлежащим образом узаконена выдача бесплатной спецодежды и акцентировано повышенное внимание на улучшение условий труда. Наркомтруд ввел неукоснительные регламенты безопасного труда и обязательного выполнения предписаний по противопожарной безопасности и общепроизводственной санитарии.

КЗоТом законодательно закреплено проведение медицинских исследований отдельных групп граждан РФ. В СССР принимались всеобъемлющие решения по существующим условиям труда, по ликвидации травматизма участников процесса производства, а также проводились мероприятия по профилактике и лечению работников от профессиональной заболеваемости. На производстве осуществлялся контроль за соблюдением санитарно-гигиенических условий, которые влияли на исключение получения травм в процессе производства. Образовывался институт «цеховых» врачей.

Верховный Совет СССР принял 15 июля 1970 г. закон «Основы законодательства Союза ССР и Союзных республик о труде». Наряду с ним появились акты: «Положения о правах профсоюзного комитета предприятия» (1971), «Типовые правила внутреннего рас-

порядка» (1972), «Положения о порядке рассмотрения трудовых споров» (1974), «Положения о правовой (1976) и технической инспекции труда» (1977) и др.

В СССР организована совокупность привилегий для россиян, которые работали и совмещали работу с учебой в техникумах и вузах. Студентам, совмещающим получение заочного образования с трудовой деятельностью, полагался ученический отпуск до 15 неоплачиваемых рабочих дней. На время экзаменационной сессии студентам-заочникам полагался оплачиваемый двадцатидневный отпуск, а студентам старших курсов – 30 календарных дней.

Современное финансовое положение предприятий основано на получении прибыли, являющейся первоочередной задачей, которая уменьшается при улучшении условий труда, так как необходимо нести определенные финансовые затраты на создание безопасных условий труда и промышленную санитарию. В связи с чем эти финансовые затраты окупятся предприятием в виде снижения травматизма и исключения затрат на лечение от профзаболеваний.

Осуществление удобной и безопасной трудовой деятельности россиян [2] является первостепенной задачей современного бизнеса, включая уменьшение количества травм при выпуске продукции, что даст рост производительности труда и создаст социально-экономические условия охраны и безопасности труда, на что направлены меры государственного воздействия в этой сфере.

Литература

1. О безопасности и гигиене труда и производственной среде : конвенция № 155 Международной организации труда (принята в г. Женеве 22 июня 1981 г. на 67-й сессии Ген. конф. МОТ) : ратифицирована ФЗ от 11 апр. 1998 г. № 58-ФЗ : вступила в силу для Российской Федерации 2 июля 1999 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2001. – № 50. – Ст. 4652.

2. Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда : Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 29 октября 2021 г. № 776н (зарегистрирован в Минюсте РФ 14 декабря 2021 г., регистрационный № 66318) : вступил в силу 1 марта 2022 г. Документ заменил ранее действовавший приказ Минтруда РФ от 19 августа 2016 г. № 438н «Об утверждении Типового положения о системе управления охраной труда».

3. ГОСТ 12.0.230-2007. ССБТ. Система управления охраной труда. Общие требования. Взамен ГОСТ Р 12.0.006-2002.

4. OHSAS 18001:2007. Системы менеджмента охраны здоровья и безопасности труда. Требования / пер. с англ. – М. : Промышленная безопасность, 2008. – 28 с.

5. Международная организация труда. Руководство по системам управления охраной труда : МОТ СУОТ 2001 (ILO OSH 2001) / Международное бюро труда. – Женева : МБТ, 2003. – 27 с.

6. Социальный фонд России. Отчеты об исполнении бюджета и годовые отчеты за 2020–2024 годы.

7. О продолжительности и распределении рабочего времени в заведениях фабрично-заводской промышленности: Высочайше утвержденный одобренный Государственным советом и Государственной думой закон от 2 июня 1897 г. // Полное собрание законов Российской империи. Собрание третье. Том XVII. 1897. Отделение I. – СПб. : Государственная типография, 1900. – С. 355–357. – № 14231.

8. Декрет Совета Народных Комиссаров от 29 октября (11 ноября) 1917 г. «О восьмичасовом рабочем дне» // Собрание узаконений и распоряжений рабочего и крестьянского правительства. – 1917. – № 1. – Ст. 10.

9. Суханов, Е.В. Воздействие мировой глобализации на развитие российской экономики / Е.В. Суханов // Наука и бизнес: пути развития. – М. : ТМБпринт. – 2019. – № 8(98). – С. 155–158.

References

1. O bezopasnosti i gigiene truda i proizvodstvennoi srede : konventsiya № 155 Mezhdunarodnoi organizatsii truda (prinyata v g. ZHeneve 22 iyunya 1981 g. na 67-i sessii Gen. konf. MOT) : ratifitsirovana FZ ot 11 apr. 1998 g. № 58-FZ : vstupila v silu dlya Rossiiskoi Federatsii 2 iyulya 1999 g. // Sobranie zakonodatelstva Rossiiskoi Federatsii. – 2001. – № 50. – St. 4652.

2. Ob utverzhdenii Primernogo polozheniya o sisteme upravleniya okhranoi truda : Prikaz Ministerstva truda i sotsialnoi zashchity RF ot 29 oktyabrya 2021 g. № 776n (zaregistrirovan v Minyuste RF 14 dekabrya 2021 g., registratsionnii № 66318) : vstupil v silu 1 marta 2022 g. Dokument zamenil ranee deistvovavshii prikaz Mintruda RF ot 19 avgusta 2016 g. № 438n «Ob utverzhdenii Tipovogo polozheniya o sisteme upravleniya okhranoi truda».

3. GOST 12.0.230-2007. SSBT. Sistema upravleniya okhranoi truda. Obshchie trebovaniya. Vzamen GOST R 12.0.006-2002.

4. OHSAS 18001:2007. Sistemy menedzhmenta okhrany zdorovya i bezopasnosti truda. Trebovaniya / per. s angl. – M. : Promyshlennaya bezopasnost, 2008. – 28 s.

5. Mezhdunarodnaya organizatsiya truda. Rukovodstvo po sistemam upravleniya okhranoi truda : MOT SUOT 2001 (ILO OSH 2001) / Mezhdunarodnoe byuro truda. – ZHeneva : MBT, 2003. – 27 s.

6. Sotsialnii fond Rossii. Otchety ob ispolnenii byudzheta i godovye otchety za 2020–2024 gody.

7. O prodolzhitelnosti i raspredelenii rabochego vremeni v zavedeniyakh fabrichno-zavodskoi promyshlennosti: Vysochaishe utverzhdennii odobrennii Gosudarstvennym sovetom i Gosudarstvennoi dumoi zakon ot 2 iyunya 1897 g. // Polnoe sobranie zakonov Rossiiskoi imperii. Sobranie trete. Tom XVII. 1897. Otdelenie I. – SPb. : Gosudarstvennaya tipografiya, 1900. – S. 355–357. – № 14231.

8. Dekret Soveta Narodnykh Komissarov ot 29 oktyabrya (11 noyabrya) 1917 g. «O vosmichasovom rabochem dne» // Sobranie uzakonenii i rasporyazhenii rabochego i krestyanskogo pravitelstva. – 1917. – № 1. – Ст. 10.

9. Sukhanov, E.V. Vozdeistvie mirovoi globalizatsii na razvitie rossiiskoi ekonomiki / E.V. Sukhanov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – M. : TMBprint. – 2019. – № 8(98). – S. 155–158.

Methodological Understanding of Socio-Economic Conditions of Occupational Safety and Health in Modern Russia

E.V. Sukhanov

*Lipetsk Branch of the Russian Presidential Academy
of National Economy and Public Administration, Lipetsk (Russia)*

Key words and phrases: labor; ILO; economy; Russia; worker; time; insurance; strike; classification; code; law; decree; People's Commissariat of Labor; improvement; exam; benefits; salary; security; control; inspection; training.

Abstract. The relevance of the research is determined by the need to focus on the socio-economic assessment of working conditions at enterprises and organizations in modern Russia. The purpose of the article is to show the possibilities of creating safe working conditions for both government agencies and businesses in Russia. The hypothesis of the study is the integral elements of improving the current state of work conditions in Russian business. Research methods: analysis, synthesis, generalization. The achieved results were subjected to a qualitative and quantitative analysis of regulatory documents adopted in Russia in different periods of its existence, which was a new understanding of the formation of working conditions and labor protection in the Russian national economy.

© E.B. Суханов, 2025

List of Authors

Шайкин Д.В. – магистрант Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: mr.student2345@gmail.com

Shaykin D.V. – Master's Student, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: mr.student2345@gmail.com

Коноваленко А.А. – ассистент кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: artyom.konovalenko34@yandex.ru

Konovalenko A.A. – Lecturer, Department of Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: artyom.konovalenko34@yandex.ru

Жупанов А.И. – магистрант Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: Alex.jupanov@gmail.com

Zhupanov A.I. – Master's Student, Volgograd State Technical University, Volgograd (Russia), e-mail: Alex.jupanov@gmail.com

Лепилов В.И. – кандидат технических наук, доцент кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград (Россия), e-mail: llichv7@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: llichv7@gmail.com

Ондар Ю.Ч. – старший преподаватель кафедры общеинженерных дисциплин Тувинского государственного университета, г. Кызыл, e-mail: yuondar2015@mail.ru

Ondar Yu.Ch. – Senior Lecturer, Department of General Engineering Disciplines, Tuva State University, Kyzyl, e-mail: yuondar2015@mail.ru

Монгуш Г.Р. – кандидат технических наук, старший преподаватель Тувинского государственного университета, г. Кызыл, e-mail: mongush983@mail.ru

Mongush G.R. – Candidate of Science (Engineering), Senior Lecturer, Tuva State University, Kyzyl, e-mail: mongush983@mail.ru

Кысыыдак А.С. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой общеинженерных дисциплин Тувинского государственного университета, г. Кызыл, e-mail: kysyudak@mail.ru

Kusyudak A.S. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of General Engineering Disciplines, Tuva State University, Kyzyl, e-mail: kysyudak@mail.ru

Борбак-оол Н.С. – старший преподаватель кафедры транспортно-технологических средств Тувинского государственного университета, г. Кызыл, e-mail: borbakool.naadym@mail.ru

Borbak-ool N.S. – Senior Lecturer, Department of Transport and Technological Vehicles, Tuva State University, Kyzyl, e-mail: borbakool.naadym@mail.ru

Соян Б.Э. – студент Тувинского государственного университета, г. Кызыл, e-mail: ondar0103@mail.ru

Соян В.Е. – Student, Tuva State University, Kyzyl, e-mail: ondar0103@mail.ru

Абрамов И.Л. – доктор технических наук, профессор кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: AbramovIL@mgsu.ru

Abramov I.L. – Doctor of Engineering, Professor, Department of Technology and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: AbramovIL@mgsu.ru

Петракова А.Д. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: A.D.Petrakova@yandex.ru

Petrakova A.D. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: A.D.Petrakova@yandex.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: Vanzyakivan@mai.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: Vanzyakivan@mai.ru

Ванзяк И.С. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: Vanzyakivan@mai.ru

Vanzyak I.S. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: Vanzyakivan@mai.ru

Кулаков К.Ю. – доктор экономических наук, профессор кафедры организации строительства и управления недвижимостью Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: kkulakov@bk.ru

Kulakov K.Yu. – Doctor of Economics, Professor, Department of Construction Organization and Real Estate Management, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: kkulakov@bk.ru

Айбазов А.Т. – аспирант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: alim_aybazov@mail.ru

Aybazov A.T. – Postgraduate Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: alim_aybazov@mail.ru

Румянцева А.Д. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: andmitrievs01@gmail.com

Rumyantseva A.D. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: andmitrievs01@gmail.com

Хаев Т.Э. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: KhaevTE@mgsu.ru

Khaev T.E. – 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: KhaevTE@mgsu.ru

Позняк А.А. – студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: apoznak.898@gmail.com

Poznyak A.A. – Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: apoznak.898@gmail.com

Смирнов А.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурно-строительных конструкций Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, г. Санкт-Петербург, e-mail: smirnovanton79@yandex.ru

Smirnov A.A. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Architectural and Civil Engineering, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, e-mail: smirnovanton79@yandex.ru

Тараско Е.Н. – студент Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, г. Санкт-Петербург, e-mail: zenia.tarasko@yandex.ru

Tarasko E.N. – Student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, e-mail: zenia.tarasko@yandex.ru

Гулякин Д.В. – доктор педагогических наук, профессор кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий имени А.В. Титова Кубанского государственного технологического университета, г. Краснодар (Россия), e-mail: dvggti@yandex.ru

Gulyakin D.V. – Doctor of Education, Professor, Department of Architecture of Civil and Industrial Buildings named after A.V. Titov, Kuban State Technological University, Krasnodar (Russia), e-mail: dvggti@yandex.ru

Ляшова А.А. – студент Кубанского государственного технологического университета, г. Краснодар (Россия), e-mail: dvggti@yandex.ru

Lyashova A.A. – Student, Kuban State Technological University, Krasnodar (Russia), e-mail: dvggti@yandex.ru

Гончаровская В.П. – студент Кубанского государственного технологического университета, г. Краснодар (Россия), e-mail: dvggti@yandex.ru

Goncharovskaya V.P. – Student, Kuban State Technological University, Krasnodar (Russia), e-mail: dvggti@yandex.ru

Иванчук В.Р. – студент Кубанского государственного технологического университета, г. Краснодар (Россия), e-mail: dvggti@yandex.ru

Ivanchuk V.R. – Student, Kuban State Technological University, Krasnodar (Russia), e-mail: dvggti@yandex.ru

Огидан О.Т. – старший преподаватель кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва (Россия), e-mail: ogidano@gmail.com

Ogidan O.T. – Senior Lecturer, Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow (Russia), e-mail: ogidano@gmail.com

Петроченко М.В. – кандидат технических наук, доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург (Россия), e-mail: ogidano@gmail.com

Petrochenko M.V. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Graduate School of Industrial, Civil and Road Construction, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg (Russia), e-mail: ogidano@gmail.com

Разяпов Р.В. – старший преподаватель кафедры автомобильных дорог и мостов Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Уфа (Россия), e-mail: ol.asi@yandex.ru

Razyapov R.V. – Senior Lecturer, Department of Highways and Bridges, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa (Russia), e-mail: ol.asi@yandex.ru

Глазачев А.О. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильных дорог и мостов Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Уфа (Россия), e-mail: anton.glazachev@mail.ru

Glazachev A.O. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Highways and Bridges, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa (Russia), e-mail: anton.glazachev@mail.ru

Наумов А.Е. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой экспертизы и управления недвижимостью Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова, г. Белгород (Россия), e-mail: kpi1t@ya.ru

Naumov A.E. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Real Estate Expertise and Management, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod (Russia), e-mail: kpi1t@ya.ru

Павлов С.Ю. – кандидат юридических наук, доцент кафедры финансового и административного права Уфимского университета науки и технологий, г. Уфа (Россия), e-mail: pavlovsy@rambler.ru

Pavlov S.Yu. – Candidate of Science (Law), Associate Professor, Department of Financial and Administrative Law, Ufa University of Science and Technology, Ufa (Russia), e-mail: pavlovsy@rambler.ru

Бурмейстер М.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетических систем Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), e-mail: BurmeisterMV@mpei.ru

- Burmeister M.V.** – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Electric Power Systems, National Research University “MPEI”, Moscow (Russia), e-mail: BurmeisterMV@mpei.ru
- Веренцов Л.А.** – студент Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), e-mail: VerentsovLA@mpei.ru
- Verentsov L.A.** – Student, National Research University “MPEI”, Moscow (Russia), e-mail: VerentsovLA@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 “MPEI”, Moscow (Russia), e-mail: NesterovMD@mpei.ru
- Хоркина А.А.** – студент Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), e-mail: KhorkinaAA@mpei.ru
- Khorkina A.A.** – Student, National Research University “MPEI”, Moscow (Russia), e-mail: KhorkinaAA@mpei.ru
- Стаценко Д.В.** – студент Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), e-mail: StatsenkoDV@mpei.ru
- Statsenko D.V.** – Student, National Research University “MPEI”, Moscow (Russia), e-mail: StatsenkoDV@mpei.ru
- Маленкова Е.А.** – студент Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Москва (Россия), e-mail: MalenkovaYA@mpei.ru
- Malenkova E.A.** – Student, National Research University “MPEI”, Moscow (Russia), e-mail: MalenkovaYA@mpei.ru
- Ли Тунтун** – аспирант Благовещенского государственного педагогического университета, г. Благовещенск (Россия); младший научный сотрудник факультета естественных наук Хэйхэского университета, Хэйлунцзян, Хэйхэ (КНР), e-mail: tongtongli@mail.ru
- Li Tongtong** – Postgraduate Student, Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk (Russia); Junior Research Fellow, Faculty of Natural Sciences, Heihe University, Heilongjiang, Heihe (PRC), e-mail: tongtongli@mail.ru
- Друзьяка А.В.** – доктор исторических наук, профессор кафедры истории России и специальных исторических дисциплин Благовещенского государственного педагогического университета, г. Благовещенск (Россия), e-mail: tongtongli@mail.ru
- Druzyaka A.V.** – Doctor of Science (History), Professor, Department of Russian History and Special Historical Disciplines, Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk (Russia), e-mail: tongtongli@mail.ru
- Егорова М.С.** – старший преподаватель кафедры менеджмента в строительстве Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, г. Санкт-Петербург (Россия), e-mail: marina-332@mail.ru

Egorova M.S. – Senior Lecturer, Department of Construction Management, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg (Russia), e-mail: marina-332@mail.ru

Дроздова И.В. – доктор экономических наук, профессор кафедры менеджмента в строительстве Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, г. Санкт-Петербург (Россия), e-mail: marina-332@mail.ru

Drozdova I.V. – Doctor of Economics, Professor, Department of Construction Management, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg (Russia), e-mail: marina-332@mail.ru

Зеленина В.А. – студент Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, г. Санкт-Петербург (Россия), e-mail: marina-332@mail.ru

Zelenina V.A. – Student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg (Russia), e-mail: marina-332@mail.ru

Суханов Е.В. – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и финансов Липецкого филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Липецк (Россия), e-mail: sev45@bk.ru

Sukhanov E.V. – Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Department of Economics and Finance, Lipetsk branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Lipetsk (Russia), e-mail: sev45@bk.ru

COMPONENTS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROGRESS
№ 11(113) 2025
SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

Manuscript approved for print 20.11.25
Format 60.84/8
Conventional printed sheets 14.18
Published pages 7.69
200 printed copies

16+

Printed by Zonari Leisure LTD. Paphos