

ISSN 2227-2917 (print)
ISSN 2500-154X (online)

12+



IZVESTIYA VUZOV
Investitsii
Stroitelstvo
Nedvizhimost

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ
СТРОИТЕЛЬСТВО
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 13 № 4
2023

ISSN 2227-2917 (print)
2500-154X (online)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION



ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

IRKUTSK NATIONAL RESEARCH TECHNICAL UNIVERSITY

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ

PROCEEDINGS OF UNIVERSITIES
INVESTMENT. CONSTRUCTION. REAL ESTATE

Izvestiya vuzov
Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost

Том 13 № 4
Vol.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета

PUBLISHERS
of Irkutsk National Research Technical University
2023



В журнале опубликованы статьи ученых из России и зарубежья, посвященные научным результатам в области теоретических и прикладных проблем строительства, архитектуры, экономики и управления. Статьи объединены в три тематических блока: Экономика и управление; Технические науки. Строительство; Архитектура. Дизайн.

Издание предназначено для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, специалистов инвестиционно-строительной сферы, государственных и муниципальных органов власти.

Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Минобразования России

Журнал включен в следующие базы данных: EBSCO Publishing Databases, ВИНТИ РАН, система Российского индекса научного цитирования, представлен в электронной библиотеке «Cyberleninka», библиотеке Oxford, Directory of Open Access Journals (DOAJ) и описан в Ulrich's Periodicals Directory.

Журнал «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» реферируется и рецензируется.

Сведения о журнале можно найти на сайте в Интернете: <http://www.istu.edu>

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство ПИ № ФС77-62787 от 18 августа 2015 г.

Учредитель-издатель:

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет

Подписной индекс в ООО «Урал-Пресс» - 41511

Адрес ООО «Урал-Пресс»:

620026, Свердловская область, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, д. 130

Адрес учредителя, издателя и редакции:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

e-mail: izv_isn@istu.edu

При перепечатке и цитировании ссылка на журнал
«Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» обязательна

Авторы опубликованных статей несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, экономико-статистических данных и прочих сведений. Компьютерный макет сборника составлен из оригинальных авторских файлов.

ISSN 2227-2917 (print)
2500-154X (online)

In this journal we published the articles of Russian and foreign scientists, which are dedicated to scientific results in the sphere of theoretical and applied problems of development, architecture, economics and management. The articles are combined into three topical units: Economics and management; Technical sciences, Construction; Architecture, Design.

The publication is for staff scientists, teachers, post-graduate students and students of universities, specialists in investment and building sphere, government and municipal authorities.

The journal is included in the list of the leading scientific journals and publications, where the key scientific results of doctoral (candidate's) theses approved by the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Ministry of Education are to be published

The Journal is indexing in EBSCO Publishing Databases, VINITI Database (Referativnyi Zhurnal), Russian Science Citation Index, included in the digital scientific library Cyberleninka, University OXFORD, Directory of Open Access Journals (DOAJ) and is described in Ulrich's Periodicals Directory.

The journal "Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate" is abstracted and reviewed.

Information about the journal you can find on the site in the Internet: <http://www.istu.edu>

The journal is registered with the Federal Agency for Supervision of Communications, Information Technologies and Mass Media (Roskomnadzor).
Certificate of registration № ПИ № ФС77-62787 of 18 August, 2015.

Founder, publisher: FSBEIHE Irkutsk National Research Technical University

The subscription code in Ural-Press LLC: 41511
The postal address of Ural-Press LLC:
130 Mamin-Sibiryak St.,
Yekaterinburg, 620026, Russia

Address of the founder, publisher and editorial office:
83 Lermontov St., Irkutsk 664074
e-mail: izv_isn@istu.edu

Reference to the journal «Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate» is obligatory while reprinting and quotation

The authors of submitted materials are responsible for the selection and accuracy of facts, quotations, economic and statistical data and other information. Computer model of a journal is compiled of original authors' files

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Пешков В.В., доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экспертизы и управления недвижимостью Иркутского национального исследовательского технического университета, Советник РААСН, главный редактор (г. Иркутск, Российская Федерация)

Чупин В.Р., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства Иркутского национального исследовательского технического университета, Советник РААСН, заместитель главного редактора (г. Иркутск, Российская Федерация)

Батмунх Сэрээтэр, доктор технических наук, профессор, академик Монгольской Академии наук, директор Института теплотехники и промышленной экологии Академии наук Монголии, заведующий кафедрой тепловых электрических станций Монгольского государственного университета науки и технологии (г. Улан-Батор, Монголия)

Беккер А.Т., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, профессор Инженерной школы Дальневосточного федерального университета (г. Владивосток, Российская Федерация)

Большаков А.Г., доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой архитектурного проектирования Иркутского национального исследовательского технического университета, Советник РААСН (г. Иркутск, Российская Федерация)

Вальтер Фогт, доктор технических наук, специалист по планированию транспорта Университета г. Штутгарт (Федеративная Республика Германия)

Васильев Ю.Э., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства и эксплуатации дорог Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (г. Москва, Российская Федерация)

Гребенюк Г.И., доктор технических наук, профессор, советник РААСН, заведующий кафедрой строительной механики Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (г. Новосибирск, Российская Федерация)

Даваасурэн Авирмэд, доктор экономических наук, профессор, заведующий отделом регионоведения и многосторонних взаимодействий Института иностранных последований Академии Наук Монголии (г. Улан-Батор, Монголия)

Димитра Николау, доктор архитектуры, профессор отдела городского и регионального планирования Архитектурной школы Афинского национального технического университета (г. Афины, Греческая Республика)

Ерофеев В.Т., доктор технических наук, профессор, академик РААСН, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева (г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация)

Ефимов А.В., доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой дизайна архитектурной среды Московского архитектурного института, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель искусств (г. Москва, Российская Федерация)

Збигнев Войчицки, доктор технических наук, профессор кафедры гражданского строительства Вроцлавского технологического университета, (г. Вроцлав, Республика Польша)

Калюжнова Н.Я., доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической теории и управления Иркутского государственного университета (г. Иркутск, Российская Федерация)

Ковачев А.Д., доктор архитектуры, профессор, иностранный член РААСН, заведующий кафедрой архитектуры и урбанистики архитектурного факультета Варненского свободного университета им. Ч. Храбра, Варна (г. София, Республика Болгария)

Кузьмин М.И., доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН, лауреат Демидовской премии, Институт геохимии СО РАН, советник РАН (г. Иркутск, Российская Федерация)

Леонард Шенк, доктор архитектуры, профессор факультета архитектуры и дизайна Констанцского университета (г. Констанц, Федеративная Республика Германия)

Леонович С.Н., доктор технических наук, профессор, иностранный академик РААСН, профессор кафедры технологии строительного производства Белорусского национального технического университета, заместитель председателя научного совета РААСН «Механика разрушения материалов и конструкций» (г. Минск, Республика Беларусь)

Ляхович Л.С., доктор технических наук, профессор, академик РААСН, заведующий кафедрой строительной механики Томского архитектурно-строительного университета (г. Томск, Россия)

Матвеева М.В., доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экспертизы и управления недвижимостью Иркутского национального исследовательского технического университета, Советник РААСН (г. Иркутск, Российская Федерация)

Нгуен Туан Ань, доктор технических наук, научный сотрудник кафедры водоснабжения и водоотведения Университета природных ресурсов г. Хошимин (г. Хошимин, Республика Вьетнам)

Новицкий Н.Н., доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, зав. лаб. Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (г. Иркутск, Российская Федерация)

Сетогутти Тсуеши, доктор технических наук, профессор департамента архитектуры Университета Хоккайдо (Япония)

Сколубович Ю.Л., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, ректор Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (г. Новосибирск, Российская Федерация)

Стенников В.А., доктор технических наук, профессор, Академик РАН, директор Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, (г. Иркутск, Российская Федерация)

Урханова Л.А., доктор технических наук, профессор кафедры производства строительных материалов и изделий Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (г. Улан-Удэ, Российская Федерация)

Фань Фэн, профессор, советник ректора, Харбинский политехнический университет, заместитель исполнительного директора Ассоциации технических университетов России и Китая (г. Харбин, Китай)

Федюк Р.С., доктор технических наук, доцент Дальневосточного федерального университета, Советник РААСН (г. Владивосток, Российская Федерация)

Фолькер Циглер, доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой городского планирования и проектирования Страсбургской архитектурной школы (г. Страсбург, Французская Республика)

Холодова Л.П., доктор архитектуры, профессор, советник РААСН, член-корреспондент Академии художеств, заведующий кафедрой теории архитектуры и профессиональных коммуникаций Уральского государственного архитектурно-художественного университета, (г. Екатеринбург, Российская Федерация)

Энгель Барбара, доктор архитектуры, специалист по городскому планированию Дрезденского технического университета (г. Дрезден, Федеративная Республика Германия)

Яськова Н.Ю., доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой инвестиционно-строительного бизнеса РАНХИГС при президенте РФ. (г. Москва, Российская Федерация)

EDITORIAL BOARD

Peshkov V.V., Doctor of Economical Sciences, Professor, Head of the Department of Real Estate Expertise and Management of Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russian Federation)

Chupin V.R., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Urban Development and Municipal Economy of Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russian Federation)

Batmunkh Sereeter, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Academy of Sciences of Mongolia, Director of the Institute of Thermal Engineering and Industrial Ecology of Mongolian Academy of Sciences, Head of Department of Thermal Power Plants of the Mongolian State University of Science and Technology (Ulan Bator, Mongolia)

Bekker A.T., Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding member of RAACS, Professor of Engineering School of Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation)

Bolshakov A.G., Doctor of Architecture, Professor, Head of the Department of Architectural Design of Irkutsk National Research Technical University, Advisor to the RAASN (Irkutsk, Russian Federation)

Walter Fogt, Doctor of Technical Sciences, Specialist in transportation planning, Stuttgart University (Germany)

Vasiliev Yu.E., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Road Construction and Maintenance of Moscow State Automobile and Road Technical University (Moscow, Russian Federation)

Grebenyuk G.I., Doctor of Technical Sciences, professor, Advisor of RAACS, Head of the Department of Construction Mechanics of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Novosibirsk, Russian Federation)

Davaasuren Avirmed, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Regional Studies and Multilateral Interactions of the Institute of Foreign Studies of the Academy of Sciences of Mongolia (Ulan Bator, Mongolia)

Dimitra Nikolau, Doctor of Architecture, Professor, Department of Urban and Regional Planning of School of Architecture of Athenes National Technical University (Athenes, Greece)

Erofeev V.T., Doctor of Technical Sciences, professor, Academician of RAACS, Head of the Department of Building Materials and Technologies of National Research Mordovian State University named after N.P. Ogareva (Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation)

Yefimov A.V., Doctor of Architecture, Professor, Head of Department of architectural environment design of Moscow Architectural Institute, State Prize Winner of RF, Honored Art Worker (Moscow, Russian Federation)

Zbigniew Wojcicki, Doctor of Technical Sciences, Professor, Civil Engineering Department, Wroclaw University of Technology (Wroclaw, Poland)

Kalyuzhnova N.Ya., Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of Department of Economics and Management of Irkutsk State University (Irkutsk, Russian Federation)

Kovachev A.D., Doctor of Architecture, Professor, Foreign Member of RAACS, Head of Department of Architecture and Urbanistics, Architecture Faculty of Varna Free University of named after Ch. Hrabar, Varny (Sophia, Bulgaria)

Kuzmin M.I., Doctor of Geological and Mineral Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Winner of Demidov Award, Institute of Geochemistry of SB RAS, Advisor of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russian Federation)

Leonard Shenk, Doctor of Architecture, Professor of the Faculty of Architecture and Design of the KonstantsUniversity (Konstants, Germany)

Leonovitch S.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Foreign Academician of RAACS, Professor of the Department of Building technologies of Byelorussian National Technical University, Deputy Chairman of the Scientific Council of RAACS "Mechanics of materials and structures destruction" (Minsk, Byelorussia)

Lyakhovich L.S., Doctor of Technical Sciences, professor, Academician of RAACS, Head of the Department of Building Mechanics of Tomsk Architecture and Construction University (Tomsk, Russia)

Matveeva M.V., Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Real Estate Expertise and Management of Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russian Federation)

Nguyen Tuan An, Doctor of Technical Sciences, Scientific Researcher of Water Supply and Sanitation Department, University of Natural Resources (Ho Chi Minh, Vietnam)

Novitskii N.N., Doctor of Technical Sciences, professor, Chief Scientific Researcher of the Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russian Federation)

Setoguchi Tsuyoshi, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Architecture, Hokkaido University (Japan)

Skolubovitch Yu.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of RAACS, Rector of Novosibirsk State University of Architecture and Construction (Novosibirsk, Russian Federation)

Stennikov V.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, corresponding member of Russian Academy of Sciences, Director of Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chairman of Scientific-Expert of the Board for Energy Efficiency (Irkutsk, Russian Federation)

Urkanova L.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Materials and Units of East-Siberian State Technological University (Ulan Ude, Russian Federation)

Fan Feng, Full Professor, Assistant President, Harbin Institute of Technology, Deputy Executive Director of the Association of Sino-Russian Technical Universities, ASRTU (Harbin, China)

Fedyuk R.S., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Far Eastern Federal University, Adviser to the RAASN (Vladivostok, Russian Federation)

Folker Tsigler, Doctor of Architecture, Professor, Head of the Department of Town-Planning and Design of Strasbourg School of Architecture (Strasbourg, France)

Kholodova L.P., Doctor of Architecture, Professor, Advisor of RAACS, Corresponding Member of the Academy of Arts, Head of the Department of Theory of Architecture and Professional Communications, Urals State Architectural-Artistic University (Yekaterinburg, Russian Federation)

Engel Barbara, Doctor of Architecture, specialist in urban planning of Dresden Technical University (Dresden, Germany)

Yaskova N.Yu., Doctor of Economical Sciences, Professor, Professor of the Department of Economics and management in construction of Moscow State Construction University (Moscow, Russian Federation)

СОДЕРЖАНИЕ

Известия вузов
Инвестиции. Строительство. Недвижимость

Том 13 № 4 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Кабанов В.Н. Аль-Рубайе С. Д. Методика определения качества строительной организации	602
Черепанова М.С., Шуплецов А.Ф. Государственное управление объектами недвижимости промышленной и транспортной инфраструктуры в условиях нестабильной экономики	612

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО

Вабищевич К.Ю., Макаренко С.В., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Бесцементные бетоны на основе техногенных отходов Иркутской области	625
Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю., Дударев В.И., Майновская А.К. Прогнозирование параметров регенерации плавающей загрузки в аэротенке	635
Ластовка А.В., Деордиев С.В. Мурзинцев А.К. Моделирование напряженно-деформированного состояния усиленной композитной арматурой бетонной балки	645
Матвеева М.В., Пешков А.В., Воронин Е.В., Ларина О.П. Нематериальные ресурсы как основа интеллектуальной поддержки принятия эффективных решений на всех этапах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта	655
Савенков А.И., Бессонова А.О., Шустов П.А. Сравнение несущей способности и выгиба центрально сжатых стоек в пенобетонной обойме	666
Слободчикова Н.А. Прогнозирование изменения во времени некоторых переменных параметров состояния автомобильных дорог	677
Смирнова Е.Э. Обеспечение экологической безопасности техногенных объектов на основе «зеленых» стандартов	687
Цховребов Э.С., Калаева С.З., Петропавловская В.Б., Ниязгулов Ф.Х. Концептуальное моделирование системы прогнозирования вызванных опасными отходами чрезвычайных ситуаций	702
Шляхтина Т.Ф., Курицына А.М. Сравнительная предельная растяжимость бетона и фибробетона	716

АРХИТЕКТУРА. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ДИЗАЙН

Балабенко Е.В., Богак Л.Н., Оберемок Е.Н., Черныш М.А. Градостроительные аспекты выбора земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов	726
Бокова О.Р. Визуально-образный комфорт восприятия искусственной архитектурной среды (на примере г. Челябинска)	739

CONTENTS

Proceedings of Universities Investment. Construction. Real estate

Том 13 № 4 2023

CONTENTS

ECONOMICS AND MANAGEMENT

- Kabanov V.N., Al-Rubaye S.J.** Methodology for assessing the quality of a construction organisation 602
Cherepanova M.S., Shupletsov A.F. State management of real estate of industrial and transport
in an unstable economy 612

TECHNICAL SCIENCES. CONSTRUCTION

- Vabishevich K.Yu., Makarenko S.V., Khokhryakov O.V., Khozin V.G.** Cementless concretes,
based on anthropogenic wastes of the Irkutsk Oblast 625
Kulkov V.N., Solopanov E.Yu., Dudarev V.I., Mainovskaya A.K. Forecasting regeneration
parameters of free-floating biocarriers in an aeration tank 635
Lastovka A.V., Deordiev S.V., Murzintsev A.K. Stress-strain modelling for a composite reinforced
concrete beam 645
Matveeva M.V., Peshkov A.V., Voronin E.V., Larina O.P. Intangible resources as the basis
of intelligent support in effective decision-making at all life-cycle stages of an investment
and construction project 655
Savenkov A.I., Bessonova A.O., Shustov P.A. Comparison of bearing capacity and hogging
of axially loaded columns in a foam concrete casing 666
Slobodchikova N.A. Forecast of temporal variations in some road condition variables 677
Smirnova E.E. Ensuring the environmental safety of technogenic objects based on green standards 687
Tshovrebov E.S., Kalaeva S.Z., Petropavlovskaya V.B., Niyazgulov F.Kh. Conceptual modeling
of a forecasting system for hazardous waste emergencies 702
Shlyahtina T.F., Kuritsyna A.M. Comparative ultimate tensile strength of concrete and fibre concrete 716

ARCHITECTURE. URBAN CONSTRUCTION. DESIGN

- Balabenko E.V., Bogak L.N., Oberemok E.N., Chernysh M.A.** Urban aspects of selecting lands
for municipal solid waste disposal facilities 726
Bokova O.R. Visually-shaped comfort of perceiving the architectural environment in conditions
of artificial lighting (using the example of Chelyabinsk) 739



Методика определения качества строительной организации

В.Н. Кабанов¹, С.Д. Аль-Рубайе²✉

^{1,2}Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

²Университет Мисана, г. Мисан, Ирак

Аннотация. Оценка качества строительных организаций – научная задача, представляющая практический интерес для заказчиков объектов капитального строительства, саморегулируемых объединений строителей, а также для самих подрядчиков, заинтересованных в повышении качества управления предприятием. Цель исследования – разработать методику интегральной оценки качества строительной организации. Под качеством строительной организации в рамках настоящей работы понимается способность строительной организации выполнять условия договора подряда, производить строительную продукцию, соответствующую требованиям технических регламентов, и обеспечивать безопасные условия труда. Для определения количественного значения интегральной оценки качества строительной организации построена регрессионная модель, описывающая зависимость показателя качества строительной организации от воздействия наиболее значимых факторов, выделенных по итогам выполнения экспертной оценки. К числу факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на величину интегральной оценки качества строительной организации, авторы относят следующие: соответствие условиям договора подряда продолжительности и стоимости создания объекта капитального строительства; соответствие строительной продукции требованиям технических регламентов; долю рабочих, имеющих стаж работы в организации не менее трех лет, а также количество несчастных случаев, зафиксированных за исследуемое время. Предлагаемая для интегральной оценки регрессионная модель обеспечивает довольно высокий уровень достоверности расчетных значений. Результаты вычислений могут применяться при оценке строительных организаций внешними участниками инвестиционно-строительного процесса, а также руководством подрядной организаций в целях совершенствования системы управления.

Ключевые слова: качество, показатели качества, интегральная оценка, строительные организации, нормативная документация, потребители

Для цитирования: Кабанов В.Н., Аль-Рубайе С.Д. Методика определения качества строительной организации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 602–611. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-602-611>. EDN: FFKREY.

Original article

Methodology for assessing the quality of a construction organisation

Vadim N. Kabanov¹, Saba D. Al-Rubaye²✉

^{1,2}National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²University of Misan, Misan, Iraq

Abstract. The quality assessment of construction organisations is a scientific task, representing a practical interest for customers of capital construction projects, self-regulating associations of builders, as well as for the contractors themselves, interested in improving the quality of enterprise management. The study aims to develop a methodology for the integral quality assessment of a construction organisation. The quality of a construction organisation within the framework of this study is understood as the ability of a construction organisation to comply with the terms of a contract, produce construction products that meet the requirements of technical regulations and provide safe working conditions. In

order to determine the quantitative value of the integral quality assessment of a construction organisation, a regression model was constructed describing the dependence of the construction organisation quality indicator on the effect of most significant factors, identified based on the results of expert assessments. Among the factors, having the most significant effect on the value of the integral quality assessment of a construction organisation, the authors identify the following: compliance with the terms of the contract for the duration and cost of creating a capital construction facility, compliance of construction products with the requirements of technical regulations, the share of workers with at least three years of experience in the organisation, as well as the number of accidents, recorded during the studied time. The regression model, proposed for the integral assessment, provides a fairly high level of reliability for the calculated values. The results of calculations can be used in the assessment of construction organisations by external participants in the investment and construction process, as well as by the management of contracting organisations in order to improve the management system.

Keywords: quality, quality indicators, integrated assessment, construction companies, normative documentation, consumers

For citation: Kabanov V.N., Al-Rubaye S.D. Methodology for assessing the quality of a construction organisation. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):602-611. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-602-611>. EDN: FFKREY.

ВВЕДЕНИЕ

Концепция оценки качества строительных предприятий очень важна. Система менеджмента качества может быть реализована на уровне компании или на уровне проекта. Исследование системы управления качеством строительства в компании можно считать комплексным в свете изученных различных аспектов научной проблемы.

В последнее время, например, в малайзийском строительном секторе, постоянно растет число подрядчиков, имеющих сертификат системы менеджмента качества ISO 9000. Тем не менее те, кто занимается строительством, сталкиваются со многими проблемами, связанными с оценкой качества организации [1].

Внедрение системы управления качеством в строительных организациях изначально было очень обнадеживающим, но если не использовать надлежащие подходы, оно в конечном итоге становится обременительным для всех вовлеченных сторон, что подтверждают уроки, извлеченные из опыта таких стран, как Великобритания, Сингапур и Гонконг [2–4]. Некоторые заказчики в строительной отрасли Великобритании потребовали от подрядчиков применять систему качества ISO в своем бизнесе, чтобы иметь право участвовать в торгах [2].

Одним из важнейших критериев успеха строительных проектов является качество [5]. Качество строительного проекта, как и успех проекта, можно определить как выполнение ожиданий участников проекта [6], т.е. удовлетворение потребителя. Качество, цена и вре-

мя были определены как наиболее важные элементы, влияющие на клиента. Однако для большинства проектов параметры стоимости и времени являются наиболее важными переменными. Некоторые авторы подчеркивают важность качества [7]. Удовлетворенность клиентов связана с качеством в строительном бизнесе, и внедрение системы управления качеством является важным элементом постоянного и надежного достижения цели удовлетворенности клиентов.

Система менеджмента качества (СМК) может быть установлена на уровне организации или проекта. Строительные проекты часто имеют задержки разработки и исполнения, перерасход средств и несоответствие качеству, что приводит к низкой производительности и неудовлетворенности сторон, а также к дорогостоящим расходам на эксплуатацию и техническое обслуживание из-за невысокого качества строительной продукции [1, 8, 9].

В опубликованных результатах исследований приводятся весомые аргументы в пользу того, что уровень качества строительной индустрии по-прежнему низок [10]. В ответ на эти проблемы было разработано несколько инициатив в области качества. К числу таких инициатив следует отнести «Систему менеджмента качества» (СМК), которая формируется в соответствии с ИСО 9001:2008, и «Полное управление качеством». СМК определяется как «все виды деятельности общей функции управления, которые обуславливают политику, цели и обязанности в области качества и реализуют их с помощью таких средств как планирование качества, контроль каче-

ства, обеспечение качества и улучшение качества в рамках системы качества»¹ [11].

Число подрядчиков, имеющих сертификат системы управления качеством ISO 9000, постоянно растет. Однако неэффективная практика управления качеством ISO на общественных работах, например, в Малайзии, объясняется низкой производительностью, перерасходом средств и времени и низким качеством готовой строительной продукции [12–16]. По мере увеличения сложности и размера строительных проектов клиенты требуют более высокого уровня качества своих проектов [17, 18]. Подрядчики также стремятся внедрить высокие стандарты качества в организациях для повышения конкурентоспособности, общей производительности и снижения относительных затрат по проекту [19, 20].

Внедрение СМК в строительстве является бесконечным процессом и нуждается в постоянном совершенствовании с модификациями [21]. Следовательно, целесообразно проверять устойчивость качества организации с точки зрения возможностей внедренной системы управления и оценки достоверности измерений качества строительных процессов на протяжении всего жизненного цикла объекта капитального строительства [22]. Высокий уровень производительности может быть достигнут только путем установления наиболее важных критериев [23–25], необходимых для определения строительной организации, способной выполнять работы в соответствии с контролем и стандартами для достижения устойчивого успеха.

Цель исследования – разработка методики интегральной оценки качества строительной организации.

Под качеством строительной организации, в рамках настоящей работы, понимается способность строительной организации выполнять условия договора подряда, производить строительную продукцию соответствующую требованиям технических регламентов и обеспечивать безопасные условия труда.

Для достижения цели в рамках настоящего исследования решены следующие научные задачи:

- обоснованы источники для получения достоверной исходной количественной информации, необходимой для вычисления значений частных интегральных показателей (факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на величину интегральной

оценки качества строительной организации);

- разработана система для вычисления количественных значений частных интегральных показателей;

- построена шкала для оценки величины расчетного значения интегрального показателя, описывающего качество строительной организации.

МЕТОДЫ

На первом этапе определялись условия, при которых может быть выполнена интегральная оценка качества строительной организации. Таким условием стало требование, предъявляемое к продолжительности работы строительной организации на рынке подряда. Авторы остановились на величине продолжительности 3 года. Такое решение продиктовано следующими соображениями:

- при средневзвешенной продолжительности возведения объекта капитального строительства 18 мес., за 3 года строительная организация может участвовать в возведении не менее 2-х объектов, что обеспечивает более объективную оценку, чем оценку, выполненную по информации, характеризующей работу на одном объекте;

- ограничение работы на рынке подряда 3-мя годами позволит привлечь к оценке качества больше строительных организаций, чем, например, при ограничении в 4–5 лет.

Для обеспечения достоверности исходной информации авторы исследования ориентировались на получение количественных значений из независимых источников. К числу таких источников относятся данные, получаемые от саморегулируемых организаций строителей, от органов государственного строительного надзора, от государственной инспекции труда, из открытых источников Пенсионного фонда. Вместе с тем не исключается применение информации, предоставляемой строительной организацией, например, для оценки ее качества в целях совершенствования системы управления.

Для вычисления интегральной оценки применяется регрессионная модель, построенная которой описано авторами ранее [26]:

$$Y = 0,26X_1 + 0,19(1 - X_2) + 0,26X_3 + 0,18(1 - X_4) + 0,11(1 - X_5), \quad (1)$$

где функция находится в пределах ($Y_{\max} = 1$) > $Y(n)$ > ($Y_{\min} = 0$); X_1 – доля проектов, для завершения которых не потребовалось дополнительное финансирование ($X_{1\max} = 1$) > $X_1(n)$ > ($X_{1\min} = 0$); X_2 – доля проектов, которые завершены без замечания со стороны

¹ ISO 9001:2015 Quality management systems Requirements // ISO.org. Режим доступа: <https://www.iso.org/ru/standard/62085.html> (дата обращения: 06.09.2023).

государственного строительного надзора ($X_{2\max} = 1$) > $X_2(n)$ > ($X_{2\min} = 0$); X_3 – доля рабочих, имеющих непрерывный стаж работы в подрядной организации не менее 3-х лет ($X_{3\max} = 1$) > $X_3(n)$ > ($X_{3\min} = 0$); X_4 – доля проектов, завершённых в срок или раньше срока, который указан в договоре подряда ($X_{4\max} = 1$) > $X_4(n)$ > ($X_{4\min} = 0$); X_5 – доля проектов, завершённых без актов, которые зафиксировали нарушение техники безопасности или санитарно-эпидемиологических норм ($X_{5\max} = 1$) > $X_5(n)$ > ($X_{5\min} = 0$).

Порядок построения регрессионной модели (уравнение 1), а также оценка статистической достоверности по ГОСТ 5725-1-2002², приводятся в [26]. Достоверность расчетного значения интегрального показателя определяется уровнем достоверности исходных количественных значений, полученных из независимых источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве исходных данных, которые необходимы для выполнения интегральной оценки качества строительной организации, применяются 5 частных интегральных показателей. Частный интегральный показатель представляет собой результат вычисления, выполненный на основании количественных значений, характеризующих величину наиболее значимых факторов, оказывающих влияние на качество строительной организации.

Частный интегральный показатель № 1 – X_1 описывает долю проектов, для завершения которых не потребовалось дополнительное финансирование. Интервал изменения частного интегрального показателя находится в пределах ($X_{1\max} = 1$) > $X_1(n)$ > ($X_{1\min} = 0$). Значение этого показателя определяется как отношение количества проектов, завершённых без дополнительного финансирования, к общему количеству проектов, завершённых за тот же период времени, и измеряется в относительных единицах (долях):

$$X_1 = \frac{N_c}{N}, \quad (2)$$

где X_1 – частный интегральный показатель, описывающий способность строительной организации выполнять договоры подряда по критерию стоимости; N_c – количество договоров, выполненных строительной организацией за отчетный период без увеличения первоначальной стоимости (т.е. отсутствует превышение фактической стоимости над величиной

стоимости, которая установлена проектом); N – общее количество договоров (проектов), реализованных строительной организацией за отчетный период.

Источники для получения количественных значений:

– N – количество договоров, выполненных строительной организацией, включая договоры, расторгнутые по какой-либо причине, но по которым имеется поступление денежных средств на счет подрядной организации. В общее количество выполненных договоров не включаются договоры, по которым выполняются работы в текущий момент времени, т.е. незавершенные договоры;

– N_c – количество договоров, выполненных строительной организацией за отчетный период без увеличения первоначальной стоимости.

Оценка достоверности информации, предоставленной строительной организацией. Количество договоров подряда, заключенных строительной организацией, проверяется по данным, которые могут быть предоставлены саморегулируемой организацией (СРО), в которой состоит подрядная организация. Обязательства по предоставлению информации о заключенных договорах подряда в СРО определены п.п. 2, 5, 6 ч. 2, ст. 55.13 Гражданского кодекса РФ. Количество договоров подряда, завершённых без увеличения стоимости, определенной проектом, подтверждается приложением копии формы КС-3 к документам, необходимым для оценки качества строительной организации.

Частный интегральный показатель № 2 – X_2 описывает долю проектов, которые завершены без замечаний со стороны государственного строительного надзора. Интервал изменения частного интегрального показателя находится в пределах ($X_{2\max} = 1$) > $X_2(n)$ > ($X_{2\min} = 0$). Значение этого показателя определяется как отношение количества проектов, завершённых без замечаний со стороны органов строительного государственного надзора, к общему количеству проектов, завершённых за тот же период времени, измеряется в относительных единицах (долях):

$$X_2 = \frac{N_G}{N} \quad (3)$$

где X_2 – частный интегральный показатель, описывающий способность строительной ор-

²ГОСТ 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений // Кодекс.ru. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200029975> (дата обращения: 01.09.2023).

ганизации выполнять договора подряда в строгом соответствии с требованиями технических регламентов (т.е. с высоким качеством готовой продукции); N_G – количество договоров, выполненных строительной организацией за отчетный период без замечаний со стороны органов государственного строительного надзора; N – общее количество договоров (проектов), реализованных строительной организацией за отчетный период.

Источники для получения количественных значений:

– N – количество договоров, выполненных строительной организацией;

– N_G – количество договоров, выполненных строительной организацией за отчетный период без замечаний со стороны государственного строительного надзора, предоставляется подрядной организацией или органом государственного строительного надзора.

Оценка достоверности информации, предоставленной строительной организацией. Количество договоров подряда, завершенных без замечаний со стороны органов государственного строительного надзора, подтверждается информацией, полученной из соответствующего государственного контролирующего органа. При этом договором, выполненным без замечаний со стороны органов государственного строительного надзора, считается договор, по которому замечания отсутствуют.

Частный интегральный показатель № 3 – X_3 описывает долю проектов, завершенных в срок или раньше срока. Интервал изменения частного интегрального показателя находится в пределах $(X_{3\max} = 1) > X_3(n) > (X_{3\min} = 0)$. Значение этого показателя определяется как отношение количества проектов, завершенных в срок или раньше срока, к общему количеству проектов, завершенных за тот же период времени, измеряется в относительных единицах (долях):

$$X_3 = \frac{N_T}{N}, \quad (4)$$

где X_3 – частный интегральный показатель, описывающий способность строительной организации выполнять договоры подряда по критерию продолжительность; N_T – количество договоров, выполненных строительной организацией за отчетный период в срок, установленный проектом или раньше этого срока; N – общее количество договоров (проектов), реализованных строительной организацией за отчетный период.

Источники для получения количественных

значений аналогичные источникам, описанным для уравнения (2). Оценка достоверности информации выполняется аналогично процедурам, описанным для уравнения (2).

Частный интегральный показатель № 4 – X_4 описывает долю рабочих, имеющих стаж работы в строительной организации не менее 3-х лет. Интервал изменения частного интегрального показателя находится в пределах $(X_{4\max} = 1) > X_4(n) > (X_{4\min} = 0)$. Значение этого показателя определяется как отношение количества рабочих-строителей, непрерывно работающих в строительной организации более 3-х лет к общему количеству рабочих, трудоустроенных в строительной организации, измеряется в относительных единицах (долях):

$$X_4 = \frac{R_3}{R}, \quad (5)$$

где X_4 – частный интегральный показатель, описывающий способность строительной организации создавать строительную продукцию высокого качества за счет привлечения квалифицированных трудовых ресурсов; R_3 – количество рабочих-строителей, непрерывно работающих в строительной организации не менее 3-х лет; R – общее количество рабочих-строителей, устроенных в строительной организации на постоянную работу.

Источники для получения количественных значений:

– R – количество рабочих-строителей, постоянно работающих в строительной организации, предоставляется строительной организацией по форме статистической отчетности № 57-Т, утв. Приказом Росстата № 457 от 30.07.2021 г;

– R_3 – количество рабочих-строителей, непрерывно работающих в строительной организации более 3-х лет, предоставляется строительной организацией.

Оценка достоверности информации, предоставленной строительной организацией. Информация о количестве рабочих-строителей, постоянно работающих в строительной организации, может быть предоставлена территориальным органом государственной статистики по индивидуальному запросу, а информацию о количестве рабочих-строителей, имеющих непрерывный стаж работы в строительной организации, можно получить по индивидуальному запросу в Социальный фонд России. Для получения информации необходимы сведения о фамилиях, именах, отчествах и СНИЛС работников, имеющих непрерывный стаж более 3-х лет.

Частный интегральный показатель № 5 – X_5 описывает долю проектов (договоров), которые завершены без актов, в которых зафиксировано нарушение техники безопасности и санитарно-эпидемиологических норм. Интервал изменения частного интегрального показателя находится в пределах ($X_{5\max} = 1$) > $X_5(n) > (X_{5\min} = 0)$. Значение этого показателя определяется как отношение количества проектов, завершенных без составления актов о нарушении техники безопасности и санитарно-эпидемиологических норм, к общему количеству проектов, завершенных за тот же период времени, измеряется в относительных единицах (долях):

$$X_5 = \frac{N_B}{N}, \quad (6)$$

где X_5 – частный интегральный показатель, описывающий способность строительной организации выполнять договора подряда в строгом соответствии с требованиями правил техники безопасности и производственной санитарии (санитарно-эпидемиологических норм); N_B – количество договоров, выполненных строительной организацией за отчетный период без замечаний по технике безопасности и производственной санитарии; N – общее количество договоров (проектов), реализованных строительной организацией за отчетный период.

Источники для получения количественных значений: N – количество договоров, выполненных строительной организацией; N_B – количество договоров, выполненных строительной организацией за отчетный период без замечаний по технике безопасности и производственной санитарии.

Оценка достоверности информации, предоставленной строительной организацией. Количество договоров подряда, заключенных строительной организацией, проверяется по данным, которые могут быть предоставлены саморегулируемой организацией (СРО), в которой состоит подрядная организация.

Количество договоров подряда, завершенных без замечаний по технике безопасности, подтверждается информацией, полученной из соответствующего государственного контролирующего органа (например, государственная инспекция труда). При этом договором, выполненным без нарушений техники безопасности и производственной санитарии, считается договор, по которому письменные замечания отсутствуют.

Вычисление количественного значения,

которое характеризует качество строительной организации, выполняется по формуле (1). Результат вычисления может оцениваться по шкале, построенной по правилу Парето:

– $Y > 0,8$ – очень хорошая подрядная организация, высока вероятность исполнения договора подряда при обеспечении требуемых показателей качества строительной продукции. При выполнении строительно-монтажных работ будут обеспечены безопасные условия труда. Контроль может быть сведен к минимуму;

– $0,8 > Y > 0,64$ – существует незначительный риск невыполнения договора подряда, а также соблюдения требований, предъявляющихся к качеству строительной продукции, необходим периодический контроль над соблюдением правил техники безопасности и норм производственной санитарии;

– $0,64 > Y > 0,512$ – существует умеренный риск невыполнения договора подряда, а также соблюдения требований, предъявляющихся к качеству строительной продукции, необходим постоянный контроль над соблюдением правил техники безопасности и норм производственной санитарии;

– $0,512 > Y > 0,4096$ – существенный риск невыполнения договора подряда, а также нарушение требований, предъявляющихся к качеству строительной продукции, необходим постоянный и усиленный контроль над соблюдением правил техники безопасности и норм производственной санитарии.

ВЫВОДЫ

Вычисление значения интегральной оценки качества строительной организации обеспечивает потребности:

– саморегулируемых организаций при оценке рисков, связанных с поддержкой строительных организаций, которые участвуют в различных конкурсах на выполнение строительно-монтажных работ;

– строительной организации, которая по величине частных интегральных показателей (факторов $X_1 - X_5$) способна определить участки, которые требуют дополнительного внимания со стороны системы управления строительной организацией;

– заказчиков (либо их представителей), которые нуждаются в привлечении надежной строительной организации.

Применение одного интегрального показателя качества строительной организаций позволяет отказаться от трудоемкого решения задач по поиску экстремумов по нескольким критериям. Предлагаемая для интегральной

оценки регрессионная модель обеспечивает довольно высокий уровень достоверности расчетных значений.

Результаты вычислений могут применяться при оценке строительных организаций

внешними участниками инвестиционно-строительного процесса, а также руководством подрядной организаций в целях совершенствования системы управления предприятием.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mane P.P., Patil J.R. Quality management system at construction project: A questionnaire survey // International journal of engineering research and applications. 2015. Vol. 5. Iss. 3. P. 126–130.
2. Brooks T., Gunning J.G., Spillane J.P., Cole J. Regulatory decoupling and the effectiveness of the ISO 9001 quality management system in the construction sector in the UK—a case study analysis // Construction management and economics. 2021. Vol. 39. Iss. 12. P. 988–1005. <https://doi.org/10.1080/01446193.2021.1983186>.
3. Patel C.S., Pitroda J.R. Quality management system in construction: a review // Reliability: theory & applications. 2021. Vol. 16 (SI 1 (60)). P. 121–131.
4. Kharub M. Critical factors of effective implementation of IT-enabled ISO-9000 QMS // International journal of quality & reliability management. 2019. Vol. 36. Iss. 1. P. 1600–1619. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2018-0253>.
5. Румянцева А.А., Синенко С.А., Румянцев С.И. Факторы влияния на качество строительства в работах научных деятелей // Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12. № 3. P. 12. EDN: ORMDJT.
6. Лapidус А.А., Чапидзе О.Д. Факторы и источники риска в жилищном строительстве // Строительное производство. 2020. № 3. С. 2–9. https://doi.org/10.54950/26585340_2020_3_2. EDN: OTRL CJ.
7. Dulaimi M.F., Tanamas C. The principles and applications of lean construction in Singapore // 9th International Group for Lean Construction. 2001. P. 1–14.
8. Butler J.R. Construction quality stinks // Engineering News-Record. 2002. Vol. 248. Iss. 10. P. 99.
9. Михайлова Е.В. Оценка эффективности управления экономикой региона // Бизнес. Образование. Право. 2017. № 1. С. 101–106. EDN: YGRQKV.
10. Senaratne S., Sexton M.G. Role of Knowledge in Managing Construction Project Change // Engineering, Construction and Architectural Management. 2009. Vol. 16. Iss. 2. P. 186–200. <https://doi.org/10.1108/09699980910938055>.
11. Sullivan K.T. Quality management programs in the construction industry: best value compared with other methodologies // Journal of Management in Engineering. 2011. Vol. 27. Iss. 4. P. 210–219. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000054](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000054).
12. Molina L.T., Velasco E., Retama A., Zavala M. Experience from integrated air quality management in the Mexico City Metropolitan Area and Singapore // Atmosphere. 2019. Vol. 10. Iss. 9. P. 512. <https://doi.org/10.3390/atmos10090512>.
13. Sabki O.W.M., Nawi M.M., Mohamed O., Azzli F. Construction business process reengineering (CBPR): a case study of construction organizations in Malaysia // Jurnal Teknik Sipil ITB. 2005. Vol. 12. Iss. 3. P. 211–228. <https://doi.org/10.5614/jts.2005.12.3.8>.
14. Xu Z., Zayed T., Niu Y. Comparative analysis of modular construction practices in mainland China, Hong Kong and Singapore // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 245. P. 118861. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118861>.
15. Pan W., Chen L., Zhan W. Implications of construction vocational education and training for regional competitiveness: Case study of Singapore and Hong Kong // Journal of Management in Engineering. 2020. Vol. 36. Iss. 2. P. 05019010. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000750](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000750).
16. Ab Wahid R., Corner J., Tan P. L. ISO 9000 maintenance in service organisations: tales from two companies // International Journal of Quality & Reliability Management. 2011. Vol. 28. Iss. 7. P. 735–757. <https://doi.org/10.1108/02656711111150823>.
17. Pambreni Y., Khatibi A., Azam S., Tham J. The influence of total quality management toward organization performance // Management Science Letters. 2019. Vol. 9. Iss. 9. P. 1397–1406. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2019.5.011>.
18. Кабанов В.Н., Михайлова Е.В. Критерии для формирования зон опережающего развития сельских территорий (на примере Волгоградской области) // Научный журнал Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации. 2016. № 4 (24). С. 232–249. EDN: WZWFKF.
19. Love P.E., Smith J., Ackermann F., Irani Z. Making sense of rework and its unintended consequence

- in projects: The emergence of uncomfortable knowledge // *International journal of project management*. 2019. Vol. 37. Iss. 3. P. 501–516. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.02.004>.
20. Benavides-Velasco C.A., Quintana-García C., Marchante-Lara M. Total quality management, corporate social responsibility and performance in the hotel industry // *International Journal of Hospitality Management*. 2014. Vol. 41. P. 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2014.05.003>.
21. Pheng L.S., Teo J.A. Implementing total quality management in construction firms // *Journal of management in Engineering*. 2004. Vol. 20. Iss. 1. P. 8–15. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2004\)20:1\(8\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2004)20:1(8)).
22. Ghaffarian Hoseini A., Zhang T., Nwadigo O., GhaffarianHoseini A., Naismith N., Tookey J. Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency // *Renewable and sustainable energy reviews*. 2017. Vol. 72. P. 935–949. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.061>.
23. Казарян Р.Р. Методология выбора рационального при многих критериях управленческого решения в строительстве // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. № 5. С. 24–25. EDN: ZUTPKQ.
24. Жеглова Ю.Г., Титаренко Б.П. Методика оценки проектных решений ограждений котлованов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020. Т. 47. № 1. С. 86–92. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2020-47-1-86-92>. EDN: PJPHBE.
25. Кабанов В.Н., Михайлова Е.В. Агломерация сельских поселений как стратегия социально-экономического развития территорий // Региональная экономика: теория и практика. 2018. Т. 16. № 11 (458). С. 2092–2107. <https://doi.org/10.24891/re.16.11.2092>. EDN: YNKOZV.
26. Кабанов В.Н., Аль-Рубайе С.Д. Интегральная оценка качества строительной организации // Строительное производство. 2022. № 1. С. 37–43. https://doi.org/10.54950/26585340_2022_1_37. EDN: IVKWWM.

REFERENCES

1. Mane P.P., Patil J.R. Quality management system at construction project: A questionnaire survey. *International journal of engineering research and applications*. 2015;5(3):126-130.
2. Brooks T., Gunning J.G., Spillane J.P., Cole J. Regulatory decoupling and the effectiveness of the ISO 9001 quality management system in the construction sector in the UK—a case study analysis. *Construction management and economics*. 2021;39(12):988-1005. <https://doi.org/10.1080/01446193.2021.1983186>.
3. Patel C.S., Pitroda J.R. Quality management system in construction: a review. *Reliability: theory & applications*. 2021;16(SI 1 (60)):121-131.
4. Kharub M. Critical factors of effective implementation of IT-enabled ISO-9000 QMS. *International journal of quality & reliability management*. 2019;36(1):1600-1619. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2018-0253>.
5. Rummyantseva A.A., Sinenko S.A., Rummyantsev S.I. Factors of influence on the quality of construction in the works of scientists. *Vestnik evrazijskoj nauki = The Eurasian Scientific Journal*. 2020;12(3):12. (In Russ.). EDN: ORMDJT.
6. Lapidus A.A., Chapidze O.D. Factors and risks in residential construction. *Stroitel'noe proizvodstvo. = Construction production*. 2020;3:2-9. (In Russ.). https://doi.org/10.54950/26585340_2020_3_2. EDN: OTRL CJ.
7. Dulaimi M.F., Tanamas C. The principles and applications of lean construction in Singapore. *9th International group for lean construction*. 2001;1-14.
8. Butler J.R. Construction quality stinks. *Engineering News-Record*. 2002;248(10):99.
9. Mikhailova E.V. Evaluation of the effectiveness of economic management in the region. *Biznes. Obrazovanie. Pravo = Business. Education. Right*. 2017;1:101-106. (In Russ.). EDN: YGRQKV.
10. Senaratne S., Sexton M. G. Role of Knowledge in Managing Construction Project Change. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2009;16(2):186-200. <https://doi.org/10.1108/09699980910938055>.
11. Sullivan K.T. Quality management programs in the construction industry: best value compared with other methodologies. *Journal of Management in Engineering*. 2011;27(4):210-219. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000054](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000054).
12. Molina L.T., Velasco E., Retama A., Zavala M. Experience from integrated air quality management in the Mexico City Metropolitan Area and Singapore. *Atmosphere*. 2019;10(9):512. <https://doi.org/10.3390/atmos10090512>.

13. Sabki O.W.M., Nawi M.M., Mohamed O., Azzli F. Construction business process reengineering (CBPR): a case study of construction organizations in Malaysia. *Jurnal Teknik Sipil*. 2005. Vol. 12. Iss. 3. P. 211–228. <https://doi.org/10.5614/jts.2005.12.3.8>.
14. Xu Z., Zayed T., Niu Y. Comparative analysis of modular construction practices in mainland China, Hong Kong and Singapore. *Journal of Cleaner Production*. 2020;245:118861. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118861>.
15. Pan W., Chen L., Zhan W. Implications of construction vocational education and training for regional competitiveness: Case study of Singapore and Hong Kong. *Journal of Management in Engineering*. 2020;36(2):05019010. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000750](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000750).
16. Ab Wahid R., Corner J., Tan P. L. ISO 9000 maintenance in service organisations: tales from two companies. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 2011;28(7):735-757. <https://doi.org/10.1108/02656711111150823>.
17. Pambreni Y., Khatibi A., Azam S., Tham J. The influence of total quality management toward organization performance. *Management Science Letters*. 2019;9(9):1397-1406. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2019.5.011>.
18. Kabanov V.N., Mikhailova E.V. Criteria for the formation of rural area priority development zones (on the example of Volgograd region). *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta problem melioratsii = Scientific journal of Russian scientific research institute of land improvement problems*. 2016;4 (24):232-249. (In Russ.). EDN: WZWFKF.
19. Love P.E., Smith J., Ackermann F., Irani Z. Making sense of rework and its unintended consequence in projects: The emergence of uncomfortable knowledge // *International journal of project management*. 2019;37(3):501-516. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.02.004>.
20. Benavides-Velasco C.A., Quintana-García C., Marchante-Lara M. Total quality management, corporate social responsibility and performance in the hotel industry. *International journal of hospitality management*. 2014;41:77-87. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2014.05.003>.
21. Pheng L.S., Teo J.A. Implementing total quality management in construction firms. *Journal of management in Engineering*. 2004;20(1):8-15. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2004\)20:1\(8\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2004)20:1(8)).
22. GhaffarianHoseini A., Zhang T., Nwadigo O., GhaffarianHoseini A., Naismith N., Tookey J., et al. Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2017;72:935-949. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.061>.
23. Kazaryan R.R. Methodology of the rational selection at many criteria of the management decision in construction. *BST: byulleten' stroitel'noj tekhniki*. 2019;5:24-25. EDN: ZUTPKQ.
24. Zheglova Ju.G., Titarenko B.P. Method for evaluating excavation shoring design concepts. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2020;47(1):86-92. (In Russ.). <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2020-47-1-86-92>. EDN: PJPHBE.
25. Kabanov V.N., Mikhailova E.V. Agglomeration of rural settlements as a strategy for socio-economic development of territories. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika = Regional economics: theory and practice*. 2018;16(11):2092-2107. (In Russ.). <https://doi.org/10.24891/re.16.11.2092>. EDN: YNKOZV.
26. Kabanov V.N., Al-Rubaye S.Ja. Integral assessment of the quality of a construction organization. *Stroitel'noe proizvodstvo = Construction production*. 2022;1:37-43. https://doi.org/10.54950/26585340_2022_1_37. EDN: IVKWWM.

Информация об авторах

Кабанов Вадим Николаевич,
д.э.н., профессор,
профессор кафедры технологии
строительного производства,
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26,
Россия,
e-mail: kabanovvn@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2191-0671>
Author ID: 148343

Information about the authors

Vadim N. Kabanov,
Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Professor of the Department of Construction
Production Technology,
Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University),
26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow 129337,
Russia,
e-mail: kabanovvn@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2191-0671>
Author ID: 148343

Саба Д. Аль-Рубайе,
аспирант,
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26,
Россия,
доцент департамента гражданского
строительства,
Университет Мисана,
62001, г. Мисан, Ирак,
e-mail: Saba.jasim87@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-5595-3680>
Author ID: 1221605

Saba D. Al-Rubaye,
Postgraduate Student,
Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University),
26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow 129337,
Russia,
Associate Professor of the Department of Civil
Engineering,
University of Misan,
Misan 62001, Iraq,
e-mail: Saba.jasim87@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-5595-3680>
Author ID: 1221605

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта ин-
тересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный
вариант рукописи.

The final manuscript has been read and ap-
proved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 04.09.2023
Одобрена после рецензирования 29.09.2023
Принята к публикации 30.09.2023

Information about the article

The article was submitted 04.09.2023
Approved after reviewing 29.09.2023
Accepted for publication 30.09.2023



Государственное управление объектами недвижимости промышленной и транспортной инфраструктуры в условиях нестабильной экономики

М.С. Черепанова^{1✉}, А.Ф. Шуплецов²

^{1,2}Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Актуальность темы исследования обусловлена декларируемыми принципами экономического суверенитета в рамках стратегии экономического развития Российской Федерации и запуском новых механизмов государственного управления. Целью исследования является анализ деятельности государства в кризисных условиях настоящего времени, направленной на управление недвижимостью промышленных объединений и транспортной инфраструктуры. В контексте исследования объекты недвижимости этих сфер сведены в единую категорию как субъекты в системе государственного управления, находясь в тесной связи и создавая основу для экономической безопасности страны. По мнению авторов, недвижимость следует рассматривать как контролируемый и управляемый ресурс, поскольку в переводе ее в денежный эквивалент, он достигает колоссальных сумм. В качестве примера государственного управления этим ресурсом рассмотрена деятельность федеральных служб, а также процессы, происходящие в автомобильной, авиастроительной отраслях и транспортной инфраструктуре. Для исследования сделан обзор активов «ушедших» автомобильных заводов иностранных производителей, в частности, производственных зданий в крупных российских городах. Рассмотрены меры государственной поддержки инфраструктуры автомобильной и авиастроительной отраслей согласно стратегиям Министерства промышленности и торговли. Авиастроительная отрасль изучена в контексте появления государственных заказов и деятельности публичного акционерного общества «Объединенная авиастроительная корпорация». Транспортная отрасль рассмотрена как отрасль, поддерживаемая государством путем финансирования новых объектов инфраструктуры и реконструкцией имеющихся.

Ключевые слова: государственное управление недвижимостью, промышленная недвижимость, промышленная инфраструктура, транспортная инфраструктура, кризисы в экономике

Для цитирования: Черепанова М.С., Шуплецов А.Ф. Государственное управление объектами недвижимости промышленной и транспортной инфраструктуры в условиях нестабильной экономики // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 612–624. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-612-624>. EDN: VPYFYI.

Original article

State management of real estate of industrial and transport in an unstable economy

Maria S. Cherepanova^{1✉}, Aleksandr F. Shupletsov²

^{1,2}Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Abstract. The research topic is relevant due to the demonstrated principles of economic sovereignty within the economic development strategy of the Russian Federation and the implementation of new mechanisms of public administration. The study analyses government action under current recessionary conditions focused on the management of the real estate of industrial associations and transport infrastructure. In the article, real estate assets within these sectors are collectively categorised as subjects in the public administration system, being closely connected and forming the basis for the economic security of the country. According to the authors, real estate should be considered a controlled and manageable resource, given its substantial monetary value. As an example of state management of

this resource, the article examines the operations of federal services, along with the processes occurring in the automotive, aircraft manufacturing and transport infrastructure sectors. The article examines the assets of foreign automobile plants that departed due to sanctions, focusing on industrial facilities in major Russian cities. The measures of state support for the infrastructure of the automotive and aircraft industries in accordance with the strategies outlined by the Ministry of Industry and Trade are explored. The aircraft industry is studied in the context of the emergence of government orders and the operations of the public joint-stock company United Aircraft Corporation. The transport industry is considered as an industry supported by the state through financing new infrastructure facilities and reconstruction of existing ones.

Keywords: public administration real estate, industrial real estate, industrial infrastructure, transport infrastructure, economic crises

For citation: Cherepanova M.S., Shupletsov A.F. State management of real estate of industrial and transport in an unstable economy. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):612-624. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-612-624>. EDN: VPHYFI.

ВВЕДЕНИЕ

Управление недвижимостью подчинено общим законам управленческой деятельности, включая функции прогнозирования, планирования, учета и др. Следуя данной логике, отметим, что в многообразии ресурсов нашей страны такой ресурс, как фонд промышленной недвижимости и транспортной инфраструктуры, находится под особым прицелом государственного внимания и особого контроля, являясь объектом управления.

Исторический мировой опыт показал, что рынку недвижимости, а особенно промышленной, в кризисные времена необходима «рука» поддержки государства, согласно кейнсианской теории развития экономики¹. В наше время настал подходящий момент для изучения опыта развития экономики СССР военного времени, проведение ретроспективного анализа сферы управления государственным имуществом и роли государства в нем [1–3].

Объектом исследования являются объекты недвижимости отраслей промышленности и транспортной инфраструктуры. Предметом исследования является деятельность государства, направленная на управление данными объектами недвижимости.

Цель исследования – обзор существующей концепции государственного управления объектами недвижимости промышленной и транспортной инфраструктуры в условиях кризисной экономики.

МЕТОДЫ

В России как в промышленно развитой стране, доля рынка промышленной недвижимости в общем объеме достигает высоких значений, информация о ней структурирована² и классифицирована³. Так, в ходе исследования были использованы данные Федеральной службы государственной статистики.

Государственная деятельность, направленная на управление объектами недвижимости транспортной и промышленной инфраструктуры, рассмотрена в контексте существующих Программ и Стратегий, разработанных и реализуемых Минпромторгом; в дополнение к этому проанализирована деятельность ряда Министерств, публичного акционерного общества «Объединенная авиастроительная корпорация» (ПАО «ОАК») и открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»).

В соответствии с темой исследования и для точности определений, наглядности сроков, приведен ряд Федеральных законов,

¹Экономика для менеджеров: учебник. В 2-х кн. Книга II / Под ред. А.А. Пороховского, И.М. Тенякова. М.: Книга-Мемуар, 2020. 518 с.

²Об утверждении классификатора объектов капитального строительства по их назначению и функционально-технологическим особенностям (для целей архитектурно-строительного проектирования и ведения единого государственного реестра заключений экспертизы проектной документации объектов капитального строительства): приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 02 ноября 2022 № 928/пр // Официальный интернет-портал правовой информации. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202302200011> (дата обращения: 22.09.2023).

³Создание автоматизированной системы ведения государственного земельного кадастра и государственного учета объектов недвижимости (2002-2008 годы): федер. целевая программа (в ред. Постановления Правительства РФ от 10.03.2009 N 219) // Kodeks.ru. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902147869?marker> (дата обращения: 22.09.2023).

распоряжений и указов Президента, использована информация с официальных интернет-сайтов органов власти. В ходе исследования объектов недвижимости в условиях нестабильной экономики авиапрома представлен исторический срез развития промышленной инфраструктуры Иркутского авиастроительного завода; объектов автопрома – обзор «ушедших» в 2022 г. автомобилестроительных заводов; объектов транспортной инфраструктуры – строительство, эксплуатация и реконструкция Крымского моста и вокзального комплекса Иркутск-Пассажирский.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для наглядности данных, отражающих динамику строительства объектов промышленной и транспортной инфраструктуры, представлены значения объемов строительства нежилых зданий с сайта Федеральной службы государственной статистики в 2020–2022 гг.

Данный период, по мнению авторов, считается периодом нестабильности в экономике. Итак, общий строительный объем нежилых зданий в 2022 г. достиг 227,6 млн м³, из

них промышленных – 47,9 млн м³ (помимо сельскохозяйственных, коммерческих, административных, учебных, систем здравоохранения и других (далее – помимо остальных)); общая площадь зданий нежилого назначения к 2022 г. достигла показателя 33,5 млн м², из них промышленных – 5,1 млн м² (помимо остальных); количество введенных зданий нежилого назначения к 2022 г. достигло 21,1 тыс. зданий, из них почти 3 000 зданий промышленного назначения (помимо остальных). Так, к примеру, в 2020–2022 гг. количество введенных в строй промышленных зданий в РФ увеличивалось. Это может свидетельствовать о том, что промышленные объекты расширяют свое производство путем наращивания цехов с получением государственных заказов и при поддержке государства, а также силами частных корпораций.

Данные о «новом фонде», т.е. о количестве введенных (либо прошедших капитальный ремонт и реконструкцию) нежилых зданий разного вида назначения в 2020–2022 гг. включительно отражены в табл. 1, общий строительный объем нежилых зданий – в табл. 2, общая площадь зданий – в табл. 3.

Таблица 1. Количество введенных нежилых зданий в Российской Федерации по типам в 2020–2022 гг.

Table 1. Number of commissioned non-residential buildings in the Russian Federation by type in the period from 2020 to 2022

Субъект	Наименование объекта	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Российская Федерация	Административные здания	1 078	1 067	1 016
	Здравоохранение	758	698	774
	Коммерческие здания	5 462	5 933	6 431
	Промышленные здания	2 776	2 780	2 978
	Сельскохозяйственные здания	3 395	3 525	3 388
	Учебные здания	980	821	848
	Другие здания	4 267	4 843	5 617
	Итого нежилых зданий	18 716	19 667	21 052

Таблица 2. Общий строительный объем введенных нежилых зданий по типам в Российской Федерации в 2020–2022 гг.

Table 2. Total construction volume of commissioned non-residential buildings by type in the Russian Federation in the period from 2020 to 2022

Показатель	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Общий строительный объем нежилых зданий, м ³	222,0	242,9	227,6
из них:			
промышленные	49,9	50,9	47,9
сельскохозяйственные	45,5	42,2	35,6
коммерческие	49,1	72,5	61,8
административные	9,5	6,9	8,6
учебные	21,7	20,5	24,0
системы здравоохранения	4,2	4,0	5,6
другие	42,1	45,9	44,1

Таблица 3. Общая площадь введенных нежилых зданий по типам в Российской Федерации в 2020–2022 гг.

Table 3. Total area of commissioned non-residential buildings by type in the Russian Federation from 2020 to 2022

Показатель	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Общая площадь зданий – всего, млн м ²	33,4	34,0	33,5
из них:			
промышленные	5,2	4,6	5,1
сельскохозяйственные	7,5	7,1	5,1
коммерческие	7,3	8,9	8,7
административные	2,0	1,5	1,7
учебные	4,9	4,6	5,2
системы здравоохранения	0,9	0,9	1,2
другие	5,6	6,5	6,4

Примечание: Источник таблиц 1–3 – данные с сайта Федеральной службы государственной статистики. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>.

При анализе данные по объемам строительства за три предыдущих года, авторами отмечена оперативность работы органов государственной статистики, предоставляющих в открытом доступе данные об объектах недвижимости. Это свидетельствует о выполнении управленческого функционала государственными службами в части учета и анализа, а также подготавливающих почву для планирования и финансирования новых объектов промышленной инфраструктуры. В качестве такой меры как финансирование хотелось бы отметить промышленную ипотеку.

Данная программа реализуется Минпромторгом России в рамках постановления Правительства РФ от 6 сентября 2022 г. № 1570, с внесенными изменениями уже в текущем 2023 г., размещенного на официальном федеральном портале⁴.

Так, в соответствии с программой, кредитным организациям предоставляются субсидии на компенсацию недополученных доходов по кредитам, выданным промышленным предприятиям на приобретение, строительство, реконструкцию и модернизацию производственных площадей. Срок выдачи кредитов предприятиям составляет 7 лет, ставка – 5 % годовых для промышленных предприятий и 3% годовых для технологических компаний (получателей мер государственной поддержки инновационной деятельности)⁵.

По Распоряжению № 716-р Правительство

уже выделило свыше 1 млрд руб. на поддержку программы; параметры для выдачи промышленной ипотеки уже в 2023 г. меняются по следующим направлениям:

- размер льготных займов предлагают увеличить с 500 млн до 1,5 млрд руб. (для проектов технологического суверенитета и производства приоритетной продукции)

- срок кредитования увеличится до десяти лет

- условие о залоге приобретаемого и строящегося объекта будет включено в кредитный договор

- заемщик должен использовать не менее 50% площади объекта недвижимости для осуществления промышленного производства

- изменится порядок перечисления субсидий банкам.

Всего в проекте бюджета на 2024 г. на субсидирование ставок в рамках промышленной ипотеки предусмотрено 1,3 млрд руб., а лимит на 2023 г. уже фактически выбран – на 18 октября было заключено 481 кредитное соглашение на общую сумму 44,4 млрд руб. В дополнение к обзору мер государственной поддержки промышленного строительства и территориального развития промышленности страны стоит отметить создание индустриальных (промышленных) парков и промышленных технопарков. Данное направление обозначено рамками Федерального закона № 488-ФЗ «О промышленной политике в Рос-

⁴Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета российским кредитным организациям на возмещение недополученных ими доходов по кредитам, выданным российским организациям и (или) индивидуальным предпринимателям на приобретение, строительство, модернизацию реконструкцию объектов недвижимого имущества в целях осуществления деятельности в сфере промышленности: постановление Правительства Российской Федерации от 6 сентября 2022 г. № 1570 // Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/yqrk9eOWFb9hispmqBS2QjV3sf875JA.pdf> (дата обращения: 25.09.2023).

⁵Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.03.2023 № 716-р // Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202304030042> (дата обращения: 25.09.2023).

сийской Федерации»⁶. На сайте Минпромторга России размещена информация о том, что на начало 2023 г. в РФ действует и создается промышленная инфраструктура:

- 304 индустриальных (промышленных) парка;
- 99 промышленных технопарков.

Из общего числа 46% индустриальных парков и промышленных технопарков относятся к типу «гринфилд», 54% – к типу «браунфилд». Сосредоточение инфраструктуры (более 70% объектов) находится в пределах трех федеральных округов: в Центральном, Северо-Западном и Приволжском. Факторы, способствующие данной локализации и способствующие, в целом, развитию промышленного производства:

- высокая плотность населения;
- развитая энергетическая и транспортно-логистическая инфраструктура;
- сосредоточение объектов промышленности и необходимого квалифицированного персонала;
- наличие свободных площадей с готовой инфраструктурой для запуска проектов;
- возможность локализации проектов в существующие технологические цепочки⁷.

В дополнение к сказанному авторами отмечено, что недавно, 16 октября 2023 г., появилась информация о том, что согласно Распоряжению от 10 октября 2023 г. № 2764-р правительство профинансирует развитие инфраструктуры технопарков в сфере электронной промышленности⁸. По результатам конкурсного отбора федеральное финансирование получают следующие регионы:

- Башкирия (504 млн руб.);
- Владимирская область (900 млн руб.);
- Нижегородская область (632,7 млн руб.);
- Татарстан (241,8 млн руб.).

В настоящее время в лидерах по данному направлению инфраструктуры числятся четыре региона, где в 2023 г. уже создается 123 индустриальных (промышленных) парков

и промышленных технопарков (30% всех российских площадок), это:

- Московская область;
- Республика Татарстан;
- Ленинградская область;
- Калужская область.

Хотелось бы отметить, что точный суммарный фонд действующих площадей промышленных площадок РФ в полной мере можно изучить только с использованием кадастровых карт, посвятив этому отдельное исследование. Данный вопрос в экономическом поле по какой-то причине недостаточно освещен, более он рассматривается в научных юридических исследованиях с точки зрения управления государственным имуществом [4–6]. Что касается объектов транспортной отрасли, к которой относятся дорожное хозяйство, транспорт (автомобильный, морской, речной, воздушный) и объекты единой системы организации воздушного движения, то в этом вопросе есть действующий Федеральный закон от 09.02.2007 N 16-ФЗ «О транспортной безопасности»⁹. Согласно статье 1 данного закона, под объектами транспортной инфраструктуры понимается технологический комплекс, включающий в себя объекты недвижимости (табл. 4). Также существует утвержденный порядок ведения реестра объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств. Он утвержден Приказом № 377 «Об утверждении Порядка ведения реестра объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств».

Реестр состоит из трех разделов:

- в раздел 1 вносятся сведения о категоризованных объектах транспортной инфраструктуры;
- в раздел 2 вносятся сведения о не подлежащих категоризации объектах транспортной инфраструктуры;
- в раздел 3 вносятся сведения о транспортных средствах¹⁰.

⁶О промышленной политике в Российской Федерации: федер. закон от 31.12.2014 г. № 488-ФЗ. Принят Государственной Думой 16 декабря 2014 года, одобрен Советом Федерации 25 декабря 2014 года // Kremlin.ru. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/39299> (дата обращения: 22.09.2023).

⁷Об индустриальных (промышленных) парках и промышленных технопарках // Минпромторг России. Режим доступа: http://minpromtorg.gov.ru/activities/regions/regions_new-infra-ind_parks (дата обращения: 22.09.2023).

⁸Распоряжение Правительства РФ от 10 октября 2023 года №2764-р // Правительство России. Режим доступа: <http://government.ru/docs/49803/> (дата обращения: 22.09.2023).

⁹Федеральный закон от 09.02.2007 N 16-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «О транспортной безопасности». Принят Государственной Думой 19 января 2007 года, одобрен Советом Федерации 2 февраля 2007 года // Pravo.gov.ru. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102111823> (дата обращения: 22.09.2023).

¹⁰Об утверждении Порядка ведения реестра объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств: приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 15.09.2020 № 377 // Pravo.gov.ru. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011090051?index=1> (дата обращения: 22.09.2023); Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12.10.2023 № 2813-р // Pravo.gov.ru. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202310130040> (дата обращения: 22.09.2023).

Таблица 4. Объекты транспортной инфраструктуры
Table 4. Transport infrastructure objects

Объекты транспортной инфраструктуры	Железнодорожные, автомобильные вокзалы и станции (точнее, по 442-ФЗ, железнодорожные вокзалы и станции, автовокзалы и автостанции)
	Метрополитены (точнее, по 442-ФЗ, объекты инфраструктуры внеуличного транспорта, определяемые Правительством РФ)
	Тоннели, эстакады, мосты
	Морские терминалы, акватории морских портов
	Порты, которые расположены на внутренних водных путях и в которых осуществляются посадка (высадка) пассажиров и (или) перевалка грузов повышенной опасности, судоходные гидротехнические сооружения
	Расположенные во внутренних морских водах, в территориальном море, исключительной экономической зоне и на континентальном шельфе РФ искусственные острова, установки, сооружения, в том числе гибко или стационарно закрепленные в соответствии с проектной документацией на их создание по месту расположения плавучие (подвижные) буровые установки (платформы), морские плавучие (передвижные) платформы, за исключением подводных сооружений (включая скважины)
	Аэродромы, аэропорты
	Определяемые Правительством РФ участки автомобильных дорог, железнодорожных и внутренних водных путей, вертодромы, посадочные площадки, а также обеспечивающие функционирование транспортного комплекса здания, сооружения и помещения для обслуживания пассажиров и транспортных средств, погрузки, разгрузки и хранения опасных грузов, на перевозку которых требуется специальное разрешение, и (или) грузов повышенной опасности
	Здания, строения, сооружения, обеспечивающие управление транспортным комплексом, его функционирование, используемые федеральными органами исполнительной власти в области транспорта, их территориальными органами и подведомственными организациями; объекты систем связи, навигации и управления движением транспортных средств воздушного, железнодорожного, морского и внутреннего водного транспорта

Подводя итог описанной выше деятельности государства в лице соответствующих министерств, отметим, что в цифровом поле, на сайтах, содержится информация в полном объеме по объектам инфраструктуры, тем самым осуществляется управленческая функция учета и контроля. Так, с учтенными объектами Росавтодора можно ознакомиться в Интернете.

Транспортная инфраструктура, конечно, поддерживается государством, что особенно важно в настоящее время нестабильной экономики и в формате такой большой территории (с севера на юг она превышает 4000 км, с запада на восток — приближается к 10 000 км).

Состояние автомобильных дорог, железнодорожного сообщения при поддержке государства находится на должном уровне, что создает благополучные условия для неразрывности процессов производства из-за сохранения логистических цепочек внутри страны и в направлениях с дружественными странами. Так, к примеру, из актуального: по Распоряжению № 2813-р, размещенному на официальном сайте в 2023 г., на обеспечение

ускоренного финансирования строительства автодорог и объектов дорожной инфраструктуры будет выделено 57 млрд руб.¹¹. Средства будут разделены на три транша. Первый в размере более 2,7 млрд руб. предназначен для предоставления межбюджетных трансфертов Башкирии, Мордовии и Орловской области. Работы ведутся в рамках реализации национального проекта «Безопасные качественные дороги».

Переходя к анализу государственного имущественного фонда, входящего в ведомственную структуру (Министерство финансов РФ, Министерство экономического развития РФ, Министерство обороны, МВД, Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, Федеральная служба судебных приставов, Федеральная таможенная и налоговая службы, Федеральное казначейство и другие), следует отметить, что данный ресурс находится в ведении Федерального агентства по управлению государственным имуществом.

На сайте агентства отражено количество объектов, виды реализуемых объектов, а так-

¹¹Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12.10.2023 № 2813-р // Государственная система правовой информации. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202310130040> (дата обращения: 22.09.2023).

же поступления в федеральный бюджет от реализации государственного имущества. Деятельность Федерального агентства, имеющего даже «Маркетплейс» на своем сайте, представляет собой роль генератора и координатора информации.

Иными словами, деятельность агентства заключается не только в сборе информации, но и предоставляет возможность простому обывателю разобраться в вопросах: что, где и по какой цене купить. Агентство подчиняется Министерству финансов РФ [7].

Приведем в качестве наглядности имеющиеся на сайте Росимущества статистические данные (на 14.09.2023 г.): количество объектов недвижимости РФ в – 513 595, из них земельных участков – 425 012, здания – 62 130, помещения – 26 453. Поступило в федеральный бюджет за 2022 г. суммарно 16 879,8 млн руб., из них – за аренду земельных участков 12 414,8 млн руб., от продажи земельных участков – 970,2 млн руб., за аренду зданий – 3 949,8 млн руб.

Количество договоров аренды (в шт.) на 01.09.2023 г. составило 59 176, из них на земельные участки – 56 806, на здания – 1 648, на помещения – 722. Приватизировано объектов за 2022 г. суммарно 426, из них зданий – 235, помещений – 164, пакеты акций – 27. Вовлечено в хозяйственный оборот за 2022 г. – 5 848 объектов, из них арендовано – 4 478 земельных участков, продано – 878 земельных участков, арендовано зданий/помещений – 492¹².

Все вышеперечисленные показатели с сайта Росимущества – это показатели по тем объектам, которые формально относятся к «неликвидам», подлежащим продаже или сдаются в аренду.

Данные об имуществе постоянно обновляются, также на сайте Росимущества имеется «интернет-приемная», что облегчает процесс взаимодействия продавца в лице государства с покупателем в лице гражданина РФ, либо юридического лица.

Итак, промежуточным выводом по описанному блоку исследования является то, что имущество для современных промышленных объединений и в том объеме, который сгенерировала данный ресурс наша страна – это важнейший ресурсный компонент производственной деятельности, а объекты транспортной инфраструктуры и их качественное состояние – важнейшее условия для обеспечения бесперебойной производственной деятельности. Те условия и события, в которых оказалась экономика нашей страны в последние

3 г., отразили важность государственного регулирования данных сфер. Сейчас уже ясно, что сохраненные в должном виде объекты промышленной недвижимости и транспорта, стали «парашютом» для экономики РФ в условиях санкционного давления, ковидных ограничений и смещения приоритетов с «запада на восток».

На этом фоне особо выделяются принятые решения об обязательном дисконтировании при продаже иностранных активов ушедших корпораций; особо заметными в этом списке стали предприятия автопрома.

«К концу 2022 г. Министерством Финансов РФ были озвучены 4 критерия, которыми следует руководствоваться зарубежным компаниям при продаже своих активов в РФ.

Таким образом, судьба локальных подразделений ушедших компаний стала очевидна спустя некоторое время, когда в новостных лентах стали появляться заявления от должностных лиц о переходе автомобилестроительных заводов в собственность государства в лице ФГУП «НАМИ», подконтрольного Минпромторгу.» [8] Такие автомобилестроительные бренды, как Ниссан, Рено, Тойота, Фольсваген, Мерседес, Хендай, Мазда, Форд (ушедший ранее 2022 года), Вольво, производитель автокомпонентов Faugescia в течение всего года с небольшим стали переходить в руки новых собственников.

Для VI Международной научно-практической конференции «Управление инновационными и инвестиционными процессами и изменениями в современных условиях», проводимой Санкт-Петербургским государственным экономическим университетом, и на основе предшествующих исследований, авторами был сделан обзор промышленных площадок автопрома «ушедших» заводов иностранных производителей и приблизительный подсчет высвободившихся заводских площадей, а также их суммарная кадастровая стоимость как инструмент мониторинга рыночной [8, 9].

По данным обзора площади промышленных площадок заводов (здания в совокупности с землей) составили приблизительно свыше 4,5 млн м² общей кадастровой стоимостью порядка 26 млрд руб., оказавшись «де-юре» российской собственностью.

В обзор авторов попали объекты недвижимости, имеющие юридический адрес, совпадающий с адресом завода в Интернете и с информацией выписки из ЕГРЮЛ.

Так, далее, в табл. 5 представлен как пример обзор недвижимости завода автоконцерна «Тойота» в г. Санкт-Петербурге.

Таблица 5. Объекты недвижимости автозавода «Тойота» (ООО «Шушары-Авто»)
Table 5. Real estate objects of the Toyota automobile plant (Shushary-Avto LLC)

Параметр	г. Санкт-Петербург, ул. Софийская, 115А	
Кадастровый номер	Земля: 78:42:0015115:3573	Здание: 78:42:0015115:3230
Кадастровая стоимость, тыс. руб.	696 804	1 871 261
Категория земель, вид использования / назначение здания	Земли поселений (для размещения промышленных объектов)	Нежилое здание
Площадь, м ²	608 090	139 174,8
Этажность, дата ввода в эксплуатацию	–	Общая – 2–3 Подземная – 1 2007 г.

Примечание: Составлено по материалам статьи [8].

Проводя аналогию с управленческими функциями планирования и организации в контексте данного исследования государственного управления объектами недвижимости, отметим следующую деятельность федеральных служб, направленную на сферу автопрома:

1. Минпромторг подготовил проект стратегии развития автомобильной промышленности России на период до 2035 г. (Стратегия)¹³, соответствующий документ опубликован на сайте Федерального портала проектов нормативных правовых актов. Стратегия представляет ключевые показатели, сценарии развития автомобильного рынка, цели, задачи, а также анализ сложившейся ситуации 2022 г. Целевое видение отрасли в краткосрочной (2022–2025 гг.) и среднесрочной (2026–2030 годы) перспективе в соответствии со Стратегией связано с государственной поддержкой.

2. Существует Федеральный закон «О стратегическом планировании в Российской Федерации» от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ, в соответствии с которым разработана Стратегия и синхронизирована с рядом программных документов и нацпроектов РФ¹⁴.

3. Издан Указ Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации»¹⁵ и другие подобные ему по контексту.

Проведенная работа министерств свидетельствует об участии «государственной ру-

ки» в управлении отраслью. На этом фоне хотелось бы сделать предположения о запуске новых площадок заводов, так как на территории «ушедших» заводов уже вовсю идет налаживание производства силами отечественных производителей и партнеров – производителей автомобилей из дружественных стран. Информация об этом часто публикуется в СМИ¹⁶.

В качестве следующего сценария в вопросах управления недвижимостью промышленной инфраструктуры авиапрома авторами предложена к рассмотрению деятельность федеральных служб (так, на сайте Федеральной службы государственной статистики можно увидеть, что в 2022 г. было введено в действие 182 тыс. м² взлетно-посадочных полос с твердым покрытием и т.п.), научных центров и объединений, публикации статей сотрудников Центра стратегических разработок. Также авторами отмечена важность проведения ретроспективного анализа работы отрасли в целом [10–16]. Данный вопрос, по мнению авторов, мало освещен, и информация об объектах недвижимости промышленной инфраструктуры отрасли иногда появляется в заявлениях официальных лиц либо в неофициальных источниках. Так, после приезда официальных лиц, к примеру, в Иркутский регион, местные СМИ освещали в начале 2023 г. новость о том, что под серийное производство самолетов MC-21 планируется строительство

¹³Об утверждении Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации до 2035 года: распоряжение правительства РФ // Режим доступа: <https://regulation.gov.ru/Regulation/Npa/PublicView?npaID=130659> (дата обращения: 25.09.2023).

¹⁴Федеральный закон № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» принят Государственной Думой 20 июня 2014, одобрен Советом Федерации 25.06.2014 г. // Режим доступа: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201406300016.pdf> (дата обращения: 25.09.2023).

¹⁵О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 // Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107030001> (дата обращения: 25.09.2023).

¹⁶Сайт газеты ВЕДОМОСТИ // Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/business/news/2023/10/19/1001440-zavod-moskvich-vipustil-okolo-27-000>;

Сайт газеты Коммерсантъ // Kommersant.ru. Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/6364704> (дата обращения: 25.09.2023).

новых цехов на территории Иркутского авиастроительного завода, а СМИ иностранных источников публиковали даже снимки карты, сделанные в разное время из космоса, на которых виден объект строительства в непосредственной близости от взлетно-посадочной полосы. В целом событие, связанное с реконструкцией цехов Иркутского авиазавода и увеличение заводских производственных мощностей в некоторой мере можно сравнить, к примеру, с событиями 1957–58 гг., когда на заводе было запущено серийное производство самолета АН-12Т, когда крупногабаритные агрегаты новой машины не вписывались в существующие агрегатные цехи и по решению Министерства авиационной промышленности было принято решение о финансировании и строительстве нового корпуса (блока агрегатно-сборочных цехов) [12, с. 11; с. 69]. Для проведения качественного анализа и в условиях настоящего времени будет полезен ретроспективный анализ развития Иркутского авиазавода времен Великой Отечественной войны, когда было принято решение о слиянии трех заводов для объединения мощностей – ИАЗа, Авторемонтного (ГАРЗа № 104) и Улан-Удэнского 99 и переброска мощностей Московского авиазавода № 39 им. В.Р. Менжинского в г. Иркутск. Завод в те времена собирал и отправлял на фронт большое количество машин [17]. Помимо исследования промышленной инфраструктуры авиазаводов, авторами рассмотрены объекты недвижимости, входящие в структуру аэропортов, а также непрофильные объекты социальной инфраструктуры [18]. Данные представляют собой интерес с точки зрения деятельности Корпорации. Так, информация о непрофильных объектах размещена на официальном сайте Корпорации¹⁷. Отметим, что в 2022 и 2023 гг. в рамках проведения международных научно-практических конференций по названию «Развитие малого предпринимательства в Байкальском регионе», авторами была изучена процедура реализации активов Международного аэропорта Магнитогорска. Материалы доклада описывают процедуру продажи аэропорта, и «начальная цена была заявлена в размере 113 890 000 (сто тринадцать миллионов восемьсот девяносто тыс.)

руб. Хотелось бы отметить особенность данных торгов – это то, что цена реализации превысила начальную почти в 9 раз и составила 999 890 000 (девятьсот девяносто девять миллионов восемьсот девяносто тыс.) руб. Победителем торгов признан участник, предложивший максимальную цену приобретения, – Акционерное общество «РЕТРАНС» (номер извещения на сайте torgi.gov.ru: 120521/0530477/03)» [7, с. 174]. Плюс к этому, по данным с сайта Корпорации, был проведен качественный и количественный анализ объектов непрофильной недвижимости, принадлежащей ПАО «Яковлев» («Иркут») [19]. По сказанному выше можно резюмировать тот факт, что открытость информации «по касательной» дает представление о качественной работе авиаотрасли, что формирует ее положительный имидж.

В дополнение отметим, что на сегодняшний момент существует Государственная программа «Развитие авиационной промышленности» (ГП-17)¹⁸, утвержденная Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 303¹⁹. Срок реализации программы – 2013–2025 гг. В данной программе имеются сведения о финансовом обеспечении отрасли за счет средств федерального бюджета, паспорт программы имеется в открытом доступе в Интернете. Ответственным исполнителем назначен Минпромторг России. Исходя из плана госпрограммы, цель которой – создание конкурентоспособной отечественной авиационной промышленности, в п.17.4 предусмотрен ряд мероприятий, в том числе «бюджетные ассигнования федерального бюджета на реализацию 6 подпрограмм «Самолетостроение», «Вертолетостроение», «Авиационное двигателестроение», «Авиационные агрегаты и приборы», «Авиационная наука и технологии», «Комплексное развитие отрасли». Предполагая развитие вышеперечисленных отраслей методами наращивания производства, для чего, безусловно, нужны отвечающие новым требованиям, производственные площади, предположим то, что имеющиеся производственные цеха заводов авиапрома проходят сейчас реконструкцию, возможно, где-то запущено и новое строительство.

¹⁷Реализация непрофильных активов // Объединенная авиастроительная корпорация. Режим доступа: https://www.uacrussia.ru/ru/corporation/non-core_assets_implementation/ (дата обращения: 23.09.2023).

¹⁸Развитие авиационной промышленности: гос. программа. Утв. Постановлением Правительства от 15 апреля 2014 года № 303 // Режим доступа: <http://government.ru/rugovclassifier/849/events/> (дата обращения: 23.09.2023).

¹⁹Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013–2025 гг.»: постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 303 // Государственная система правовой информации. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201404240025?index=79&rangeSize=20> (дата обращения: 23.09.2023).

Справедливо отметить, что промышленность не сможет работать на полную мощь при отсутствии развитой транспортной инфраструктуры. Это исторический факт. В последние годы транспортная отрасль, оказавшись под влиянием ряда событий, находится под полным контролем государства и в рамках Транспортной стратегии РФ²⁰, являясь стратегически важной [20]. Особо заметными событиями последних лет явились следующие:

- изменение маршрутов грузо- и пассажироперевозок из-за ковидных ограничений,
- смещение фокуса внимания «с запада на восток» (развитие железнодорожной инфраструктуры «Восточного полигона», строительство дорожной инфраструктуры на Дальнем Востоке) [21–23; 24, с. 8].
- обеспечение безопасности Крымского моста, который на фоне неблагоприятных событий стал являться одним из «фигурантов» различных столкновений, требуя охранных мер, постоянного внимания государства, оперативности работы в плане нормативно-правовой базы [25].

Так, строительство Крымского (Керченского) моста обошлось казне в 227,9 млрд руб. Ежегодное обслуживание переправы и ремонтные работы из-за событий июля 2023 г. тоже выходят казне в немалые суммы. Финансирование модернизации Восточного полигона проходит в несколько этапов, суммы финансирования достигают триллионов рублей. В части работы с непрофильными активами компания РЖД занимает активную позицию [26, 27] в части того, что в открытом доступе имеется Программа отчуждения непрофильных активов, разработанная на основании Распоряжения Правительства Российской Федерации от 10.05.2017 № 894-р²¹, размещенная на странице компании в Интернете. Сайт содержит информацию о наличии активов – объектов недвижимости для продажи

и аренды, правилах участия в электронных торгах, контактные данные сотрудников, курирующих те или иные объекты. Заметим, что профильные активы компании периодически проходят реконструкцию, тем самым «увеличивая» не только материальную, но и моральную ценность, даже с точки зрения культурного наследия страны. Для примера можно привести недавно реконструированный вокзальный комплекс Иркутск-Пассажирский Восточно-Сибирской железной дороги [28, 29].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ деятельности государства в части управления объектами недвижимости промышленной и транспортной инфраструктуры обозначил роль государственных служб на всех уровнях в системе управления. Также в исследовании авторы раскрыли управленческие функции государства, направленные на сферу недвижимости, включая функции прогнозирования, планирования, организации, регулирования, координации, учета, анализа, контроля и мотивации. В исследовании отмечен факт того, что в настоящее время государственное управление объектами недвижимости проходит в цифровом поле, приобретая более понятный, наглядный характер для рядового гражданина РФ, не оставаясь в зоне «закулис», как это было в 1990-е гг. или под грифом секретности, как было во времена Великой Отечественной войны. В данном случае речь идет о работе сайтов государственных корпораций в Интернете, а также на федеральных электронных цифровых (торговых) площадках. Представленные выше аргументы позволяют сделать вывод о том, что задача повышения эффективности системы управления недвижимостью промышленных корпораций и транспортной инфраструктуры в условиях нестабильной экономики является актуальной, требует дальнейшего развития и обсуждения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Christensen T., Lægreid P. New Public Management. The Transformation of Ideas and Practice. Ashgate: Aldershot, 2002. 353 p.
2. Мунчаев Ш.М., Журавлева Г.П. Начало Великой Отечественной войны и перестройка народного хозяйства страны на военный лад. М.-Тамбов, 2022. С. 228–244.
3. Быстрова И.В. Перестройка промышленности в СССР в 1941–1945 гг.: опыт военной мобилизации // Новые исторические перспективы: от Балтики до Тихого океана. 2018. № 1 (10). С. 78–95. EDN: XQGXNZ.
4. Якимова Е.М., Михалева А.А. Особенности управления государственной собственностью в субъек-

²⁰Транспортная стратегия // Министерство транспорта РФ. Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/ministry/targets/187/191/documents> (дата обращения: 22.09.2023).

²¹Непрофильные активы // ОАО «РЖД». Режим доступа: <https://property.rzd.ru/ru/7365/page/103290?id=11452> (дата обращения: 22.09.2023).

- тах Российской Федерации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 2. С. 284–295. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-284-295>.
5. Труханов А.Э. Анализ современного состояния государственного кадастрового учета объектов недвижимости // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2013. № 3. С. 124–129. EDN: OSHOGV.
6. Дулуева Р.М., Казибек Г.С. Совершенствование методики оценки и организации управления промышленной недвижимостью // Транспортное дело России. 2010. № 6. С. 63–67. EDN: QOXVUF.
7. Черепанова М.С., Шуплецов А.Ф. О проблеме реализации свободных активов промышленных организаций // Развитие малого предпринимательства в Байкальском регионе: материалы 5-й Международной научно-практической конференции (г. Иркутск, 22 ноября 2022 г.). Иркутск, 2023. С. 171–177.
8. Черепанова М.С., Шуплецов А.Ф. Обзор промышленных площадок автопрома в условиях кризиса 2022 года // Управление инновационными и инвестиционными процессами и изменениями в современных условиях: материалы VI Международной научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 26–27 октября 2023 г.). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2023. С. 156–164.
9. Ласкин М. Б., Гадасина Л. В., Зайцева Е. А. (2021) Кадастровая стоимость как инструмент мониторинга рыночной стоимости недвижимости // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. Т. 37. Вып. 1. С. 84–108. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2021.104>.
10. Корень А.В. Стратегические аспекты развития авиационной промышленности // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 3 (70). С. 3–6. EDN: YUCUIZ.
11. Аксенов С.Н. Иркутский авиационный завод. История становления 1932–1956: хроникально-документальная история ИАЗ. Иркутск: Типография «Иркут», 2009. 736 с.
12. Аксенов С.Н. Иркутский авиационный завод. Страницы истории. 1957–2012 гг.: хроникально-документальное издание. Иркутск: Типография «Иркут», 2013. 772 с.
13. Федосов Е. А. Авиационная промышленность // Глобальная энергия. 2011. № 2 (123). С. 21–34.
14. Мухин М.Ю. Советская авиапромышленность в годы Великой Отечественной войны. М.: ИД «Вече», 2011. 195 с.
15. Мухин М.Ю. Эвакуация авиапромышленности в 1941 г. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: История России. 2012. № 3. С. 86–98.
16. Шумилов В.Н. Ретроспективный анализ стратегии размещения отечественного авиастроения в начальный период второй мировой войны // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. № 6 (1). С. 174–185.
17. Черепанова М.С. Ретроспективный анализ стратегии формирования промышленной инфраструктуры Иркутска-II в годы ВОВ // Baikal Research Journal. 2023. Т.14. № 3.
18. Сольская И.Ю., Вантеев И.С. Оценка финансовой устойчивости аэропортов как объектов транспортной инфраструктуры в условиях государственного регулирования // Baikal Research Journal. 2023. Т. 14. № 3. С. 835–844. [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2023.14\(3\).835-844](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2023.14(3).835-844). EDN: AUSVEU.
19. Черепанова М.С. Обзор непрофильных активов ПАО «Яковлев» // Развитие малого предпринимательства в Байкальском регионе: материалы 6-й Международной научно-практической конференции (г. Иркутск, 22 ноября 2023 г.). 2023. С. 171–177. EDN: WUTXZL.
20. Ускова Т.В. Транспортная инфраструктура как фактор развития территорий и связанности экономического пространства // Проблемы развития территории. 2021. Т. 25. № 3. С. 7–22. <https://doi.org/10.15838/ptd.2021.3.113.1>.
21. Выдашенко Л.А., Выдашенко П. А., Гарифуллина Ю. М. Исследование перспектив развития восточного полигона на Транссибирской магистрали // Бюллетень науки и практики. 2023. № 4. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/89/45>.
22. Коришева О.В. Обоснование развития железнодорожной инфраструктуры как локомотива трансформации Российской экономики и обеспечения экономической безопасности страны // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. 2020. № 6. С. 163–175. <https://doi.org/10.24411/2071-6435-2020-10060>.
23. Прокофьева Т.А. Транспортная стратегия России и логистический подход к ее реализации // В центре экономики. 2020. №4. С. 18–27.
24. Мелконян А.В.. Основные принципы внешней политики России при Владимире Путине // Закон и власть. 2023. № 2. С. 7–11.
25. Сейтмететов Т.С. Правовые основы обеспечения транспортной безопасности и охраны крымского моста // Правопорядок: история, теория, практика. 2021. № 4 (31). С. 160–166.
26. Мачерет Д.А., Валеев Н.А. Финансово-экономические результаты работы российских железных дорог в условиях реформирования. Финансы: теория и практика // Finance: Theory and Practice. 2019;23(3):49-63. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2019-23-3-49-63>.
27. Каргина Н.Г. Развитие корпоративного формообразования в современной России (на примере железнодорожного транспорта) // Terra Economicus. 2006. № 3. С. 169–171.
28. Шуплецов А.Ф., Черепанова М.С. Вокзальный комплекс «Иркутск-пассажирский» в контексте классификации активов ОАО «РЖД» // Иркутский историко-экономический ежегодник: 2023: сборник статей. 2023. С. 316–325. <https://doi.org/10.17150/978-5-7253-3124-0.40>. EDN: CLNAXW.

29. Димов А.В., Оленцевич В.А. Совершенствование качества обслуживания пассажиров и посетителей вокзального комплекса станции Иркутск-Пассажирский с применением методов имитационного моделирования // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование, 2023. № 2 (78). С. 72–81.

REFERENCES

1. Christensen T., Lægrend P. New Public Management. The Transformation of Ideas and Practice. Ashgate: Aldershot; 2002. 353 p.
2. Munchaev Sh.M., Zhuravleva G.P. The beginning of the Great Patriotic War and the restructuring of the national economy of the country in a military manner. M.-Tambov; 2022. p. 228-244. (In Russ.).
3. Bystrova I.V. Industrial restructuring in the USSR in 1941-1945: the experience of military mobilization. *Novye istoricheskie perspektivy: ot Baltiki do Tikhogo okeana*. 2018;1(10):78-95. (In Russ.). EDN: XQGXNZ.
4. Yakimova E.M., Mikhaleva A.A. Features of a state property management in the subjects of the Russian Federation. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(2):284-295. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-284-295>. EDN: JQFYWY.
5. Trukhanov A.E. Analysis of current state cadastral registration of real estate. *Interekspo Geo-Sibir'*. 2013;3:124-129. (In Russ.). EDN: OSHOGV.
6. Dulueva R.M., Kazibekov G.S. Improvement of the methods of the estimation and organizations of industrial premises management. *Transportnoe delo Rossii = Transport business of Russia*. 2010;6:63-67. (In Russ.). EDN: QOXVUF.
7. Cherepanova M.S., Shupletsov A.F. On the problem of the sale of free assets of industrial organizations. In: *Razvitie malogo predprinimatel'stva v Baikal'skom regione: materialy 5-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Small business development in the Baikal region: materials of the 5th International Scientific and Practical Conference*. 22 November 2022, Irkutsk. Irkutsk, 2023. p. 171–177. (In Russ.).
8. Cherepanova M.S., Shupletsov A.F. Review of industrial sites of the automotive industry in the context of the crisis of 2022 In: *Upravlenie innovatsionnymi i investitsionnymi protsessami i izmeneniyami v sovremennykh usloviyakh: materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Management of innovation and investment processes and changes in modern conditions: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference*. 26-27 October 2023, Saint Petersburg. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Economics; 2023. p. 156-164. (In Russ.).
9. Laskin M.B., Gadasina L.V., Zaitseva E.A. The cadastral value as a tool for monitoring the real estate market value. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika = St Petersburg University Journal of Economic Studies*. 2021;37(1):84-108. (In Russ.). <https://doi.org/10.21638/spbu05.2021.104>.
10. Koren' A.V. Strategic aspects of the development of the aviation industry. *Transport Rossiiskoi Federatsii*. 2017;3:3-6. (In Russ.). EDN: YUCUIZ.
11. Aksenov S.N. Irkutsk Aviation Plant. The history of formation 1932-1956: a chronicle-documentary history of the IAZ. Irkutsk: Tipografiya "Irkut", 2009. 736 p. (In Russ.).
12. Aksenov S.N. Irkutsk Aviation Plant. Pages of history. 1957-2012: Chronicle and documentary edition. Irkutsk: Tipografiya «Irkut», 2013. 772 p. (In Russ.).
13. Fedosov E.A. Aviation industry. *Global'naya energiya*. 2011;2:21-34. (In Russ.).
14. Mukhin M.Yu. The Soviet aviation industry during the Great Patriotic War. Moscow: PH "Veche", 2011. 195 p. (In Russ.).
15. Mukhin M.Yu. Evacuation of the aviation industry in 1941. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Istoriya Rossii*. 2012;3:86-98. (In Russ.).
16. Shumilov V.N. A retrospective analysis of the strategy for the deployment of the domestic aircraft industry in the early period of the Second World War. *Interekspo Geo-Sibir'*. 2016;6:174-185. (In Russ.).
17. Cherepanova M.S. A retrospective analysis of the strategy for the formation of the industrial infrastructure of Irkutsk-II during the Second World War. *Baikal Research Journal*. 2023;14:3. (In Russ.).
18. Sol'skaya I.Yu., Vanteev I.S. Assessment of the financial stability of airports as transport infrastructure facilities under state regulation. *Baikal Research Journal*. 2023;14(3):835-844. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2023.14\(3\).835-844](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2023.14(3).835-844). EDN: AUSVEU.
19. Cherepanova M.S. Review of non-core assets of PJSC Yakovlev In: *Razvitie malogo predprinimatel'stva v Baikal'skom regione: materialy 6-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Development of small entrepreneurship in the Baikal region: materials of the 6th International Scientific and Practical Conference*. 22 November 2023, Irkutsk. Irkutsk, 2023. p. 171-177. (In Russ.). EDN: WUTXZL.
20. Uskova T.V. Transport infrastructure as a factor of territorial development and connectivity of economic space. *Problemy razvitiya territorii*. 2021;25(3):7-22. (In Russ.). <https://doi.org/10.15838/ptd.2021.3.113.1>.
21. Vydashenko L.A., Vydashenko P. A., Garifullina Yu. M. A study of the prospects for the development of the eastern landfill on the Trans-Siberian railway. *Byulleten' nauki i praktiki*. 2023;4. (In Russ.).

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/89/45>.

22. Korisheva O.V. Substantiation of the development of railway infrastructure as the locomotive of the transformation of the Russian economy and ensuring the economic security of the country. *ETAP: ekonomicheskaya teoriya, analiz, praktika*. 2020;6:163-175. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2071-6435-2020-10060>.
23. Prokofeva T.A. Transport strategy of Russia and logistic approach to its implementation. *V tsentre ekonomiki*. 2020;4:18-27. (In Russ.).
24. Melkonyan A.V. The basic principles of Russia's foreign policy under Vladimir Putin. *Zakon i vlast'*. 2023;2:7-11. (In Russ.).
25. Seitmetmetova T.S. The legal basis for ensuring transport security and protection of the Crimean bridge. *Pravoporyadok: istoriya, teoriya, praktika*. 2021;4:160-166. (In Russ.).
26. Macheret D.A., Valeev N.A. Financial and economic results of the work of Russian railways in the context of reform. *Finansy: teoriya i praktika = Finance: Theory and Practice*. 2019;23(3):49-63. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2019-23-3-49-63>. (In Russ.).
27. Kargina N.G. The development of corporate shaping in modern Russia (on the example of railway transport). *Terra Economicus*. 2006;3:169-171. (In Russ.).
28. Shupletsov A.F., Cherepanova M.S. The Irkutsk-Passenger railway station complex in the context of the classification of assets of JSC Russian Railways. *Irkutskii istoriko-ekonomicheskii ezhegodnik: 2023: sbornik statei*. 2023. p. 316–325. (In Russ.). <https://doi.org/10.17150/978-5-7253-3124-0.40>. EDN: CLNAXW.
29. Dimov A.V., Olentsevich V.A. Improving the quality of passenger service and visits to the Irkutsk-Passenger station complex using simulation methods. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie*. 2023;2:72-81. (In Russ.).

Информация об авторах

Черепанова Мария Сергеевна,
аспирант,
Байкальский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, Россия,
e-mail: cheremaha@yandex.ru, 010623@bgu.ru
<https://orcid.org/0009-0005-6184-4308>
Author ID: 1220860

Шуплецов Александр Федорович,
д.э.н., профессор,
заведующий кафедрой экономики
предприятия и предпринимательской
деятельности,
Байкальский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, Россия,
e-mail: ssa@isea.ru, shupletsovaf@bgu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9595-9163>
Author ID: 505713

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 28.08.2023.
Одобрена после рецензирования 14.09.2023.
Принята к публикации 18.09.2023.

Information about the authors

Maria S. Cherepanova,
Postgraduate Student,
Baikal State University,
11 Lenin St., Irkutsk 664003, Russia,
e-mail: cheremaha@yandex.ru, 010623@bgu.ru
<https://orcid.org/0009-0005-6184-4308>
Author ID: 1220860

Aleksandr F. Shupletsov,
Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Head of Chair of Enterprise Economy
and Entrepreneurship Activity,
Baikal State University,
11 Lenin St., 664003 Irkutsk,
Russia,
e-mail: ssa@isea.ru, shupletsovaf@bgu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9595-9163>
Author ID: 505713

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 28.08.2023
Approved after reviewing 14.09.2023.
Accepted for publication 18.09.2023.



Бесцементные бетоны на основе техногенных отходов Иркутской области

К.Ю. Вабищевич^{1✉}, С.В. Макаренко²,
О.В. Хохряков³, В.Г. Хозин⁴^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия^{3,4}Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Россия

Аннотации. На основе принятой мировой тенденции перехода от линейной экономики к экономике замкнутого цикла разработаны нормативные документы как на федеральном, так и на региональном уровне: «Стратегия развития строительных материалов РФ и Иркутской области», Постановление Правительства РФ от 02.08.2023 г. № 2094. Создан межрегиональный научно-образовательный центр «Байкал». Всё это преследует основную цель, направленную на получение технологий, позволяющих разработать эффективные строительные материалы на базе техногенных отходов и наладить производство. Предполагается получение эффективных строительных материалов на основе накопленных многотоннажных отходов на территории опережающего развития г. Усолье-Сибирское, таких как золошлаковые смеси теплоэлектроцентрали (90 млн т) и известкостержащие отходы, образовавшиеся при получении ацетилена на ПАО «Химпром» (более 9-ти млн т). Рассматривается принципиально новый подход получения искусственно синтезируемых новообразований бесцементного бетона на основе техногенных отходов, отвечающего требованиям нормативных стандартов в части морозостойкости и водостойкости, позволяющих применять его в ограждающих конструкциях. При рационально подобранном соотношении между известкостержащим отходом и золошлаковой смеси при условии соблюдения предварительно установленных принципов технологической подготовки, в части их механической активации, технологии смешивания, условий и продолжительности синтеза, возможно получение высококачественного безцементного бетона, отвечающего основным требованиям нормативной документации, предъявляемым к показателям качества.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, карбидный ил, известково-зольное вяжущее

Для цитирования: Вабищевич К.Ю., Макаренко С.В., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Бесцементные бетоны на основе техногенных отходов Иркутской области // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 625–634. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-625-634>. EDN: JLCCLU.

Original article

Cementless concretes, based on anthropogenic wastes of the Irkutsk Oblast

Kristina Yu. Vabishevich^{1✉}, Sergey V. Makarenko²,
Oleg V. Khokhryakov³, Vadim G. Khozin⁴^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia^{3,4}Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russia

Abstract. The accepted global trend of transition from a linear economy to a closed-loop one stimulated the development of regulatory documents, such as “Strategy for the development of building materials in the Russian Federation and Irkutsk Oblast”, Decree of the Government of the Russian Federation dated 08/02/2023 No. 2094, both at federal and regional levels. Further, the Baikal interregional scientific and educational centre was established. All this aims at obtaining technologies for developing effective building materials, based on technogenic wastes, and establishing the production. It is planned to obtain effective building materials, based on the accumulated high-tonnage

waste of the Ussolye-Sibirskoye priority development area, such as ash and slag mixtures of the combined heat and power plant (90 million tons) and lime-containing waste, generated during the production of acetylene at the Khimprom PJSC (more than nine million tons). The paper represents a fundamentally new approach to obtaining artificially synthesised newgrowths of cementless concrete, based on technogenic wastes, which meets the requirements of regulatory standards in terms of frost and water resistance and allows using this concrete in enclosing structures. At a rationally selected ratio between lime-containing wastes and an ash-slag mixture, subject to the pre-established principles of technological preparation in terms of their mechanical activation, mixing technology, conditions and synthesis duration, it is possible to obtain high-quality cementless concrete that meets the basic requirements of regulatory documents for quality indicators.

Keyword: ash and slag waste, carbide sludge, lime-ash binder

For citation: Vabishevich K.Yu., Makarenko S.V., Khokhryakov O.V., Khozin V.G. Cementless concretes, based on anthropogenic wastes of the Irkutsk Oblast. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4): 625-634. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-625-634>. EDN: JLCCLU.

ВВЕДЕНИЕ

Иркутская область представляет собой регион с развитой топливно-энергетической отраслью промышленности [1–7]. По сведениям Министерства природных ресурсов и экологии Иркутской области, 45% российских угольных ТЭС находятся в Сибирском Федеральном округе (СФО) [8]. В процессе функционирования организаций электроэнергетики на территории регионов Сибири имеется более 500 млн т золошлаковых отходов (ЗШО), а среднегодовое приращение их тоннажа составляет около 13 млн т [9]. Из 13 золоотвалов Иркутской области уровень наполненности как минимум 5-ти приближается к критичной. Несомненно, что простое складирование золы и шлака малоэффективно как с экологической, так и с экономической точки зрения [10]. При этом повторное применение золошлаковых отходов находится на очень незначительном уровне. Обратимся к общемировой практике.

Европейские страны изучают данный вопрос. К примеру, в Дании и Нидерландах достигнуто почти 100%-е применение и вторичное использование ЗШО, еще в ряде стран этот параметр варьируется в пределах 70–95%. В России пока используется не более 10–12% угольных отходов – это не более 4 млн т золошлаков в год [11].

Не менее значительным является использование карбидного ила (карбидной извести) в г. Усолье-Сибирское. Шламохранилище предприятия «Усольехимпром», находящееся на территории г. Усолье-Сибирское, было определено для хранения шлама и жидких отходов производства карбида кальция, извести, эпихлоргидрина, трихлорэтилена [12]. Территория шламохранилища составляет примерно 130 га. С 2010 г. эксплуатирование

остановлено по причине несоответствия техническим требованиям [13]. В соответствии с отчетом ООО «Усольехимпром», тоннаж накопившегося шлама составляет 9 млн т [14].

Оптимальным подходом является применение отходов как сырья для производства бесцементных изделий, что позволит решить и экологические задачи, связанные со спецификой региона [15].

По данным ООО «ГС-Эксперт», в России по состоянию на 1 квартал 2015 г. исчислялось 93 силикатных предприятия [16]. Большая часть предприятий силикатного кирпича не только существенно увеличила ассортимент изделий из плотной силикатной массы, но и диверсифицировала производство за счет изготовления изделий из автоклавного бетона [17].

Использование автоклавного силикатного бетона и изделий на его основе, например, силикатного полнотелого кирпича в жилом строительстве, имеет длительную историю [18]. Активно использовать силикатный кирпич в домостроительстве стали в первой половине 1950-х гг. Жилые сооружения, построенные в это время, возводились в основном с использованием силикатного кирпича с размером наружной стены 640 мм [19].

На сегодняшний день изделия из силикатного бетона прочно занимают свое место среди материалов строительного рынка; в процессе каркасного домостроения на смену силикатному кирпичу приходят более высокоэффективные газосиликатные блоки, применяемые в ограждающих конструкциях [20].

Следовательно, задачи улучшения эффективности и оптимизации структуры силикатного бетона являются на сегодняшний день актуальными [21].

МЕТОДЫ

Для определения свойств и состава исходного сырья были проведены следующие инструментальные анализы: степень измельчения оценивалась методом лазерной дифракции на лазерном анализаторе *Microtrac S3500* [22].

Суть метода – определение размеров частиц. Метод основывается на регистрации света от исследуемых частиц, образующего дифракционную картинку от угла рассеяния света [23]. Рентгенофазовый анализ карбидного ила и золошлаковой смеси получен с использованием дифрактометра *D8 ADVANCE Bruker* [24]. Дифрактограммы снимались при пошаговом режиме в диапазоне дифракционных углов 2θ от 3 до 70 градусов с использованием $\text{CuK}\alpha$ -источника излучения [25]. Эксперименты выполнены при комнатной температуре в геометрии Брэгг-Брентано с плоским образцом.

Экспериментальные условия следующие: 40 kV, 40 mA, время экспозиции – 2 с, размер шага – $0,02^\circ 2\theta$ [26]. Обработка полученных данных выполнена с использованием пакета программных средств *DIFFRACplus*. Образцы идентифицированы с помощью структурной Базы данных порошковой дифрактометрии PDF-2 (ICDD, 2007) по наилучшему совпадению штрих-диаграмм эталонов с эксперимен-

тальной дифрактограммой, и индцированы с применением программного обеспечения *EVA (Bruker)* [27]. Предел обнаружения фаз и погрешность составляет 1–5%.

Удельную поверхность карбидного ила и золошлаковой смеси оценивали при помощи ПСХ-12 [28]. Также по стандартной методике оценивались физико-механические характеристики плотности и прочности на сжатие полученного известково-золяного камня по ГОСТ 379-2015¹.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гранулометрический состав зол различен [29]. Размер зерен находится в пределах 1–200 мкм [30]. Содержание фракций более 85 мкм не превышает 20%, размером 30–40 мкм – около 50%. Более крупные фракции золы образуются при повышенном содержании в минеральной части топлива оксидов плавней CaO и Fe_2O_3 .

Удельная эффективная активность природных радионуклидов по ГОСТ 30108-94², 350 Бк/кг.

Анализируя результаты лазерной дифракции золы ТЭЦ-10 (табл. 1 и 2), можно сделать следующее заключение: зерна минимального размера 0,9 мкм – около 10% от общего количества; наибольшее количество составляют зерна с размером порядка 15,9 мкм – около 90% (табл. 3).

Таблица 1. Зерновой состав ЗШО ТЭЦ-10 согласно паспорту**Table 1.** Grain composition of AShO TPP-10 according to the passport

Размер ячейки сита, мм	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	П
Частные остатки, % по массе	0,0	0,0	0,0	0,1	0,75	5,06	94,08
Полные остатки, % по массе	0,0	0,0	0,0	0,1	0,86	5,92	100,00

Таблица 2. Технические характеристики ЗШО ТЭЦ-10 согласно паспорту**Table 2.** Technical characteristics of AShO TPP-10 according to the passport

Показатель	Результат испытаний
Влажность, %	18,95
Насыпная плотность золошлаковой смеси (в естественном состоянии), кг/м ³	925
Полный остаток на сите № 008, %	31,4
Удельная поверхность, м ² /кг	206,2
Потеря массы при прокаливании, %	0,57
Равномерность изменения объема	обеспечивается
Степень пучинистости, %	0,01
Коэффициент фильтрации, м/сут	0,14
Истинная плотность, г/см ³	1,97
Средняя плотность, г/см ³	1,37
Пористость, %	43,16
Коэффициент водонасыщения	0,57
Стойкость против силикатного и железистого распада	обеспечивается
Засоряющие включения	не содержит

¹ГОСТ 379-2015 Кирпич, камни, блоки и плиты силикатные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2015. 36 с.

²ГОСТ 30108-94 Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. М.: Стандартинформ, 2007. 10 с.

Таблица 3. Размер частиц и их минимальное процентное содержание в ЗШО ТЭЦ-10
Table 3. Particle size and their minimum percentage content in the ASH of TPP-10

Размер частиц, мкм	Q3(x), %
0,9	10
1,4	20
2,1	30
3	40
4,3	50
6,4	60
9	70
11,9	80
15,8	90

Таблица 4. Размер частиц и их минимальное процентное содержание в карбидном иле
Table 4. Particle size and minimum percentage content in carbide sludge

Размер частиц, мкм	Q3(x), %
0,7	10
1,4	20
2,2	30
3,6	40
6,2	50
12	60
18,7	70
25,7	80
35,6	90

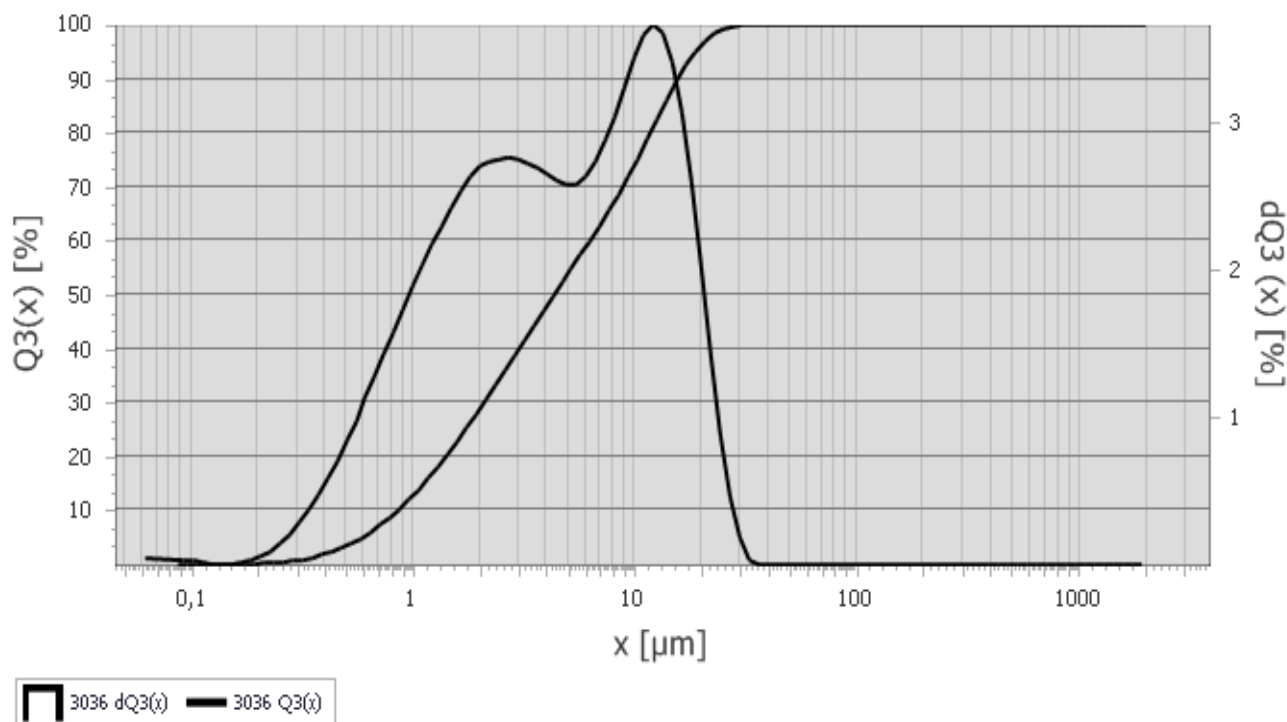


Рис. 1. Логарифмическая и интегральные кривые распределения частиц золы ТЭЦ-10 по размерам
Fig. 1. Logarithmic and integral criteria for the size distribution of ash particles at TPP-10

Анализируя результаты лазерной дифракции карбидного ила, можно сделать следующее заключение: зерен минимального размера 0,7 мкм – около 10% от общего количества. Наибольшее количество составляют зерна с размером порядка 35,6 мкм – около 90% (табл. 4). Результаты химического состава исследуемой ЗШС представлены в табл. 5. Результаты химического состава исследуемого карбидного ила представлены в табл. 6. Для установления ключевых факторов было проведено 5 экспериментов.

Постоянными факторами являлись: давление прессования 25 МПа и максимальное давление автоклавной обработки 12 Атм.

Переменными факторами являлись:

- изотермическая выдержка (8 и 12 ч);
- соотношение карбидный ил : ЗШО – 10:90 и 20:80;
- удельная поверхность компонентов вяжущего – 2000 и 6000;
- влажность смеси – 10% и 20%;

Результаты экспериментов приведены в табл. 7.

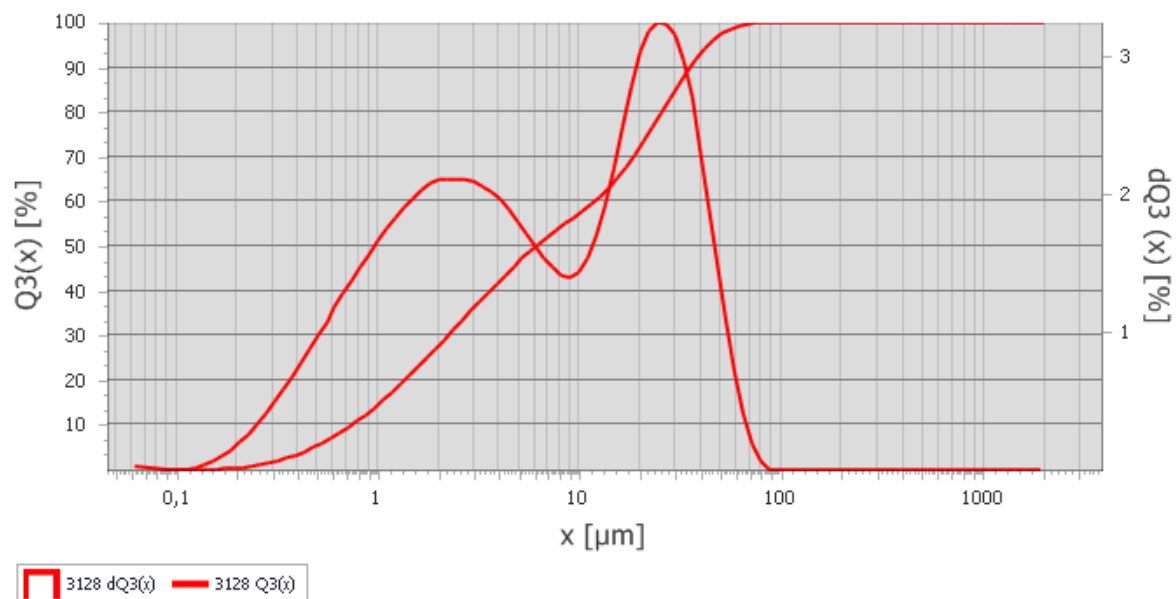


Рис. 2. Логарифмическая и интегральные кривые распределения частиц карбидного ила по размерам

Fig. 2. Logarithmic and integral curves of carbide sludge particle size distribution

Таблица 5. Химический состав золошлаковой смеси ТЭЦ-11

Table 5. Chemical composition of the ash and slag mixture at TPP-11

Показатель	Значение, %
SiO ₂	50,4
Al ₂ O ₃	28,8
Fe ₂ O ₃ общ.	11,5
MgO	1,3
CaO	4,8
п.п.п.	2
сумма	98,8
SO ₃	2

Таблица 6. Химический состав карбидного ила

Table 6. Chemical composition of carbide sludge

Содержание, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca(OH) ₂	MgOH	K ₂ O	MnO	SO ₃	п.п.п.
Максимальное	1,84	0,74	0,43	69,7	0,75	0,067	0,079	0,22	26,17
Минимальное	1,82	0,70	0,40	69,4	0,72	0,059	0,073	0,19	26,64
Среднее из 3 проб	1,83	0,72	0,41	69,5	0,74	0,063	0,074	0,21	26,42

Таблица 7. Результаты экспериментов

Table 7. Experimental results

№ эксперимента	Средняя прочность, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Марка по прочности силикатного кирпича
1	10,5	1600	M100
2	13,5	1600	M125
3	15,6	1600	M150
4	15,2	1600	M150
5	13,2	1700	M125

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получены образцы бесцементного бетона, которые по предварительным данным могут являться основой для проведения даль-

нейших исследований в выбранной области с целью повышения полученных показателей.

2. Доказана возможность синтеза искусственного камня на основе техногенных отхо-

дов промышленности, используемых в работе, установлены ключевые факторы влияния

3. Установлены показатели прочности, соотносимые с требуемыми показателями проч-

ности, указанными в ГОСТ 379-2015¹ на силикатный кирпич таких марок как М150, М125, М100, М75.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Семенов А.А. Рынок силикатных стеновых материалов и вопросы сырьевого обеспечения отрасли // Строительные материалы. 2015. № 12. С. 40–43. EDN: VHZZXF.
2. Кузнецова Г. В. Запаривание силикатного кирпича в автоклаве // Строительные материалы. 2015. № 10. С. 10–14. EDN: UXCFDL.
3. Рязанов А.Н., Винниченко В. И., Недосеко И. В., Рязанова В. А., Рязанов А. А. Структура и свойства известково-золяного цемента и его модификация // Строительные материалы. 2018. № 1–2. С. 18–22. EDN: YRQXTA.
4. Котляр В.Д., Козлов А.В., Животков О.И., Козлов Г.А. Силикатный кирпич на основе золяных микросфер и извести // Строительные материалы. 2018. № 9. С. 17–21. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-17-21>. EDN: XZJALZ.
5. Семёнов А.А. Силикатный кирпич и газосиликат. Некоторые тенденции рынка в 2018–2019 гг. // Строительные материалы. 2019. № 8. С. 3–5. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-3-5>. EDN: TFUZFG.
6. Нелюбова В.В., Строкова В.В. Технология силикатных прессованных материалов. Обзор новаций для развития производства // Строительные материалы. 2019. № 8. С. 6–13. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-6-13>. EDN: QRDGQK.
7. Столбоушкин А.Ю. Получение силикатных материалов с добавкой тонкомолотого мартеновского шлака // Строительные материалы. 2019. № 8. С. 26–32. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-26-32>. EDN: HXCRQH.
8. Кузнецова Г.В. Дробление извести в производстве известково-кремнеземистого вяжущего на действующих заводах силикатного кирпича // Строительные материалы. 2019. № 8. С. 14–17. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-14-17>. EDN: GLSRDW.
9. Русина В.В., Шестакова Ю.А. Бесклинкерные вяжущие вещества на основе торфяной золы // Строительные материалы. 2019. № 10. С. 70–74. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-70-74>. EDN: LGLIFV.
10. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н. Добавка для автоклавного газобетона на быстрогасящейся извести // Строительные материалы. 2020. № 9. С. 4–8. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-784-9-4-8>. EDN: XUPJGY.
11. Нелюбова В.В., Строкова В.В., Попов А.Л. Силикатный кирпич с использованием минеральных модификаторов различного состава // Строительные материалы. 2021; № 1–2. С. 115–120. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-115-120>. EDN: OIKEMK.
12. Безродных А.А., Строкова В.В., Маркова И.Ю., Потапов Д.Ю. Битумные эмульсии дорожно-строительного назначения, модифицированные золами-уноса // Строительные материалы. 2021. № 11. С. 59–66. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-59-66>. EDN: UEIQIT.
13. Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф. Перспективы применения переработанных топливных золошлаковых отходов гидроудаления в сухих строительных смесях. Часть 1 // Строительные материалы. 2023. № 4. С. 73–79. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-73-79>. EDN: NIIVPI.
14. Кожухова Н. И., Данакин Д. Н., Жерновский И. В. Особенности получения геополимерного газобетона на основе золы-уноса Новотроицкой ТЭЦ // Строительные материалы. 2017. № 1–2. С. 113–117. EDN: XXHXF.
15. Вишневский А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Российский рынок автоклавного газобетона. Итоги 2016 года // Строительные материалы. 2017. № 3. С. 49–51. EDN: YHZYJF.
16. Нестеров А.В., Датукашвили Д.О. Производство кальцевой извести в России // Строительные материалы. 2017. № 3. С. 52–60. EDN: YHZYJP.
17. Ngo Van Toan. Research on the production of high-strength concrete using fine sand and mineral additives mixed with activated blast-furnace slag and rice husk ash // Journal Building Materials – Environment. 2012. Iss. 4. P. 36–45.
18. Tang Lam Van, Bulgakov B., Aleksandrova O., Anh N.P. Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior // 21st International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering Construction –

- The Formation of Living Environment (FORM) (25-27 April 2018). Moscow: Moscow state university of civil engineering, 2018. Vol. 365. P. 032007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3>.
19. Aranda M.A.G., De la Torre A.G. Sulfoaluminate cement // *Eco-efficient concrete*. 2013. P. 488–522. <https://doi.org/10.1533/9780857098993.4.488>.
20. Martin L.H., Winnefeld F., Tschopp E., Müller C.J., Lothenbach B. Influence of fly ash on the hydration of calcium sulfoaluminate cement // *Cement and Concrete Research*. 2017. Vol. 95. P. 152–163. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.030>.
21. Tang Van Lam, Bulgakov B., Bazhenova S., Aleksandrova O., Anh Ngoc Pham, Tho Dinh Vu, et al. Effect of rice husk ash and fly ash on the workability of concrete mixture in the high-rise construction // *E3S Web of Conferences*. January. 2018. Vol. 33. Iss. 28. P. 02029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302029>.
22. Xue Z., Gong Y., Guo Q., Wang F., Guangsu Yu. Visualization study on breakup modes of coal water slurry in an impinging entrained-flow gasifier // *Fuel*. 2019. Vol. 244. Iss. 3. P. 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.186>.
23. Ju Hyoung Park, Young Joo Lee, Min Ho Jin, Se Joon Park, Dong Wook Lee, Jong Soo Bae, et. al. Enhancement of slurryability and heating value of coal water slurry (CWS) by torrefaction treatment of low rank coal (LRC) // *Fuel*. 2017. Vol. 203. P. 607–617. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.03.016>.
24. Dmitrienko M.A., Nyashina G. S., Strizhak P. A. Environmental indicators of the combustion of prospective coal water slurry containing petrochemicals // *Journal of Hazardous Materials*. 2017. Vol. 338. P. 148–159. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.05.031>. EDN: XNGLFA.
25. Glushkov D.O., Lyrshchikov S.Y., Shevyrev S.A., Strizhak P.A. Burning properties of slurry based on coal and oil processing waste // *Energy Fuels*. 2016. Vol. 30. Iss. 4. P. 3441–3450. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b02881>.
26. Chukaeva M., Zaytseva T., Matveeva V., Sverchkov I. Purification of Oil-Contaminated Wastewater with a Modified Natural Adsorbent // *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22. Iss. 2. P. 46–51. <https://doi.org/10.12912/27197050/133331>.
27. Matveeva V.A., Isakov A.E., Sverchkov I.P. The reduction of negative impact on environment in the area of coal processing enterprises // *Innovation-based development of the mineral resources sector: challenges and prospects* // 11th Conference of the Russian-German raw materials (Potsdam, 07–08 November 2018). Potsdam, 2019. Vol. 1. P. 431–436. EDN: VTETYT.
28. Kim B., Prezzi M., Salgado R. Geotechnical Properties of Fly and Bottom Ash Mixtures for Use in Highway Embankments // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2005. Vol. 131. P. 914–924. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2005\)131:7\(914\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:7(914)).
29. Ogunro V.O., Inyang H.I., Hooper F., et al. Gradation Control of Bottom Ash Aggregate in Superpave Bituminous Mixes // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2004. Vol. 16. P. 604–613. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2004\)16:6\(604\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:6(604)).
30. Marinin M.A., Dolzhikov V.V., Isheyskiy V.A. Improving the efficiency of drilling and blasting operations for high water cut conditions // *Journal of Mining Science*. 2019. 55(5). P. 783–788. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.836.124>.

REFERENCES

1. Semenov A. A. Silicate wall materials market and problems of providing industry with raw materials. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2015;12:40–43. (In Russ.). EDN: VHZXXF.
2. Kuznetsova G. V. Steam curing of silicate brick in autoclave. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2015;10:10–14. (In Russ.). EDN: UXCFDL.
3. Riazanov A. N., Vinnichenko V. I., Nedoseco I. V., Riazanova V. A., Riazanov A. A. Structure and properties of lime-ash cement and its modification. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2018;1–2:18–22. (In Russ.). EDN: YRQXTA.
4. Kotlyar V. D., Kozlov A. V., Zhivotkov O. I., Kozlov G. A. Calcium-silicate brick on the basis of microspheres and lime. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2018;9:17–21. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-17-21>. EDN: XZJALZ.
5. Semenov A. A. Silicate brick and gas silicate. Some trends at the market in 2018–2019. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2019;8:3–5. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-3-5>. EDN: TFUZFG.
6. Nelyubova V. V., Stokova V. V. Technology of silicate pressed materials. review of innovations for the development of production. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2019;8:6–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-6-13>. EDN: QRDGQK.
7. Stolboushkin A. Yu. Production of silicate materials with addition of fine-ground open-hearth furnace slag.

- Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2019;8:26-32. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-26-32>. EDN: HXCRQH.
8. Kuznetsova G. V. Crushing of lime in the production of lime - silica binder at operating plants of silicate bricks. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2019;8:14-17. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-14-17>. EDN: GLSRDW.
9. Rusina V. V., Shestakova Yu. A. Clinkerless binders based on peat ash. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2019;10:70-74. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-70-74>. EDN: LGLIFV.
10. Kuznetsova G. V., Morozova N. N. Additive for autoclave aerated concrete on quick-slaking lime. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2020;9:4-8. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-784-9-4-8>. EDN: XUPJGY.
11. Nelubova V. V., Stroikova V. V., Popov A. L. Silicate brick using mineral modifiers of various composition. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2021;1-2:115-120. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-115-120>. EDN: OIKEMK.
12. Bezrodnykh A. A., Stroikova V. V., Markova I. Yu., Potapov D. Yu. Bitumen emulsions for road construction purposes, modified by fly ash. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2021;11:59–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-59-66>. EDN: UEIQIT.
13. Petropavlovskaya V. B., Zavadko M. Y., Novichenkova T. B., Petropavlovskii K. S., Buryanov A. F. Prospects for the bottom ash from hydraulic removal use if in dry building mixtures. Part 1. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2023;4:73-79. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-73-79>. EDN: NIIVPI.
14. Kozhukhova N. I., Danakin D. N., Zhernovsky I. V. Features of producing geopolymeric gas concrete on the basis of fly ash OF Novotroitskaya TPS. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2017;1-2:113-117. (In Russ.). EDN: XXIXXF.
15. Vishnevsky A. A., Grinfeld G. I., Smirnova A. S. Russian market of autoclave gas concrete. Results of 2016. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2017;3:49-51. (In Russ.). EDN: YHZYJF.
16. Nesterov A. N., Datukashvili D. O. Production of high-calcium lime in Russia. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2017;3:52-59. (In Russ.). EDN: YHZYJP.
17. Ngo Van Toan. Research on the production of high-strength concrete using fine sand and mineral additives mixed with activated blast-furnace slag and rice husk ash. *Journal Building Materials – Environment*. 2012;4:36-45.
18. Lam Van Tang, Bulgakov B., Aleksandrova O., Anh N.P. Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior. In: *21st International scientific conference on advanced in civil engineering construction – The formation of living environment (FORM)*. 25-27 April 2018, Moscow. Moscow: Moscow state university of civil engineering; 2018. Vol. 365. p. 032007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3>.
19. Aranda M.A.G., De la Torre A.G. Sulfoaluminate cement. Eco-efficient concrete. 2013. P. 488–522. <https://doi.org/10.1533/9780857098993.4.488>.
20. Martin L.H., Winnefeld F., Tschopp E., Müller C.J., Lothenbach B. Influence of fly ash on the hydration of calcium sulfoaluminate cement. *Cement and Concrete Research*. 2017;95:152-163. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.030>.
21. Tang Van Lam, Bulgakov B., Bazhenova S., Aleksandrova O., Anh Ngoc Pham, Tho Dinh Vu, et al. Effect of rice husk ash and fly ash on the workability of concrete mixture in the high-rise construction. In: *E3S Web of Conferences*. January 2018. 2018;33(28):02029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302029>.
22. Xue Z., Gong Y., Guo Q., Wang F., Guangsu Yu. Visualization study on breakup modes of coal water slurry in an impinging entrained-flow gasifier. *Fuel*. 2019;244(3):40-47. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.186>.
23. Park J.-H., Lee Y.-J., Jin M.-H. et. al. Enhancement of slurryability and heating value of coal water slurry (CWS) by torrefaction treatment of low rank coal (LRC). *Fuel*. 2017;203:607-617. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.03.016>.
24. Dmitrienko M. A., Nyashina G. S., Strizhak P. A. Environmental indicators of the combustion of prospective coal water slurry containing petrochemicals. *Journal of Hazardous Materials*. 2017;338:148-159. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.05.031>. EDN: XNGLFA.
25. Glushkov D.O., Lyrshchikov S.Y., Shevyrev S.A., Strizhak P.A. Burning properties of slurry based on coal and oil processing waste. *Energy Fuels*. 2016;30(4):3441-3450. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b02881>.
26. Chukaeva M., Zaytseva T., Matveeva V., Sverchkov I. Purification of Oil-Contaminated Wastewater with a Modified Natural Adsorbent. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021;22(2):46-51.

<https://doi.org/10.12912/27197050/133331>.

27. Matveeva V.A., Isakov A.E., Sverchkov I.P. The reduction of negative impact on environment in the area of coal processing enterprises. In: *Innovation-based development of the mineral resources sector: challenges and prospects: 11th Conference of the Russian-German raw materials*. 07-08 November 2018, Potsdam. Potsdam; 2019. Vol. 1. p. 431–436. EDN: VTETYT.

28. Kim B., Prezzi M., Salgado R. Geotechnical Properties of Fly and Bottom Ash Mixtures for Use in Highway Embankments. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2005;131:914-924. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2005\)131:7\(914\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:7(914)).

29. Ogunro V.O., Inyang H.I., Hooper F. et al. Gradation Control of Bottom Ash Aggregate in Super-pave Bituminous Mixes. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2004;16:604-613. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2004\)16:6\(604\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:6(604)).

30. Marinin M.A., Dolzhikov V.V., Isheyskiy V.A. Improving the efficiency of drilling and blasting operations for high water cut conditions. *Journal of Mining Science*. 2019;55(5):783-788. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.836.124>.

Информация об авторах**Вабищевич Кристина Юрьевна,**

соискатель,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kristina-lebedev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9956-4214>
Author ID: 932484

Макаренко Сергей Викторович,

к.т.н., доцент,
доцент кафедры
строительного производства
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: makarenko_83_07@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9735-2795>
Author ID: 1133127

Хохряков Олег Викторович,

к.т.н., доцент кафедры
технологии строительных материалов,
изделий и конструкций,
Казанский государственный архитектурно-
строительный университет,
420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, Россия,
e-mail: olvik@list.ru
Author ID: 615854

Хозин Вадим Григорьевич,

д.т.н., профессор кафедры
технологии строительных материалов,
изделий и конструкций,
Казанский государственный архитектурно-
строительный университет,
420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1,
Россия
e-mail: khozin.vadim@yandex.ru
Author ID: 43534

Information about the authors**Kristina Yu. Vabishevich,**

Applicant,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail kristina-lebedev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9956-4214>
Author ID: 932484

Sergey V. Makarenko,

Cand. Sci (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: makarenko_83_07@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9735-2795>
Author ID: 1133127

Oleg V. Khokhryakov,

Cand. Sci (Eng.), Associate Professor
of the Department of Technology
of Building Materials, Products and Structures,
Kazan State University of Architecture
and Civil Engineering
1 Green St., Kazan 420043, Russia,
e-mail: olvik@list.ru
Author ID: 615854

Vadim G. Khozin,

Doctor Sci (Eng.), Professor Department
of Technology of Building Materials,
Products and Structures,
Kazan State University of Architecture and Civil
Engineering, Kazan e-
420043, the Republic of Tatarstan, the city of
Kazan, Green Street, 1,
e-mail: khozin.vadim@yandex.ru
Author ID: 43534

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 01.09.2023.
Одобрена после рецензирования 18.09.2023.
Принята к публикации 20.09.2023.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 01.09.2023.
Approved after reviewing 18.09.2023.
Accepted for publication 20.09.2023.

Прогнозирование параметров регенерации
плавающей загрузки в аэротенкеВ.Н. Кульков^{1✉}, Е.Ю. Солопанов²,
В.И. Дударев³, А.К. Майновская⁴^{1,2,3,4}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Получена математическая модель, описывающая эффективность воздушной регенерации иммобилизованного ила на плавающей биологической загрузке «ПЗ Bio-850». Для этого была разработана физическая модель аэротенка-биореактора, которая послужила основой для данного исследования. Технология с использованием биоагентов позволяет уменьшить концентрацию в воде загрязняющих веществ, представляющих угрозу для человека и окружающей среды при их сбросе в поверхностные или грунтовые воды без надлежащей очистки. Это повышает эффективность работы аэротенков, ускоряет окисление загрязнений и обеспечивает высокое качество очистки воды. Загрузка также увеличивает производительность станции биологической очистки, делает биологические сооружения более устойчивыми к резким сбросам загрязнений и способствует процессу нитрификации. Проведение аналогичных исследований на промышленном аэрируемом сооружении является технически трудным. Модельный биотенк и экспериментальная установка позволяли варьировать в широком диапазоне интенсивность воздушной средне-пузырчатой регенерации плавающей загрузки, время регенерации, удельную массу загрузки, осуществлять контроль над концентрацией свободно плавающего ила. Найдена эффективность регенерации синтетической плавающей загрузки «ПЗ Bio-850» от следующих технических параметров: времени регенерации плавающей загрузки, массы загрузки и интенсивности мелкопузырчатой аэрации водно-иловой смеси. Построена математическая модель эффективности воздушной регенерации, отражающая влияние всех вышеперечисленных параметров. Составленная прогностическая матрица значений эффективности послужила основой для создания геометрической модели поверхности эффективности. Эта модель обеспечивает возможность оптимального подбора технологических параметров при проведении воздушной регенерации иммобилизованного ила для биологической очистки сточных вод в аэротенке-биореакторе с достаточно высокой эффективностью регенерации.

Ключевые слова: иммобилизованный ил, плавающая синтетическая загрузка, воздушная регенерация загрузки, эффективность регенерации, математическая модель

Для цитирования: Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю., Дударев В.И., Майновская А.К. Прогнозирование параметров регенерации плавающей загрузки в аэротенке // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 635–644. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-635-644>. EDN: LTVXBN.

Original article

Forecasting regeneration parameters of free-floating biocarriers in an aeration tank

Victor N. Kulkov^{1✉}, Evgenii Yu. Solopanov²,
Vladimir I. Dudarev, Arina K. Mainovskaya⁴^{1,2,3,4}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. A mathematical model was developed to describe the efficiency of air regeneration used for immobilised biofilm on free-floating biocarriers “FB Bio-850”. For this purpose, a physical model of an aeration tank bioreactor was developed, forming the basis for this study. The use of biocarriers

contributes to decreasing the concentration of water pollutants that pose a threat to humans and the environment when released into the surface or groundwater without adequate treatment. This increases the efficiency of the aeration tanks, accelerates the oxidation of pollutants and ensures high-quality water purification. In addition, biocarriers increase the performance of the biological treatment plant, promote the resilience of biological structures to abrupt discharges of pollutants and facilitate the nitrification process. Carrying out such studies on an industrial aerated facility poses significant technical challenges. The model aerated tank and the experimental setup provided the flexibility to vary the intensity of the air medium-bubble regeneration for free-floating biocarriers, regeneration time, and the specific gravity of the biocarriers across a broad range, along with controlling the concentration of free-floating sludge. The correlation between the efficiency of regeneration of the plastic carriers "FB Bio-850" and the following technical parameters was established, including the regeneration time of the biocarriers, the loading mass and the intensity of the fine bubble aeration of the water-sludge mixture. A mathematical model of the efficiency of air regeneration was developed, reflecting the influence of all the above parameters. The obtained predictive matrix for efficiency values was used to develop a geometric model of the efficiency surface. This model provides an optimal selection of technological parameters for air regeneration of immobilised biofilm in a biological wastewater treatment aeration tank bioreactor, ensuring a sufficiently high regeneration efficiency.

Keywords: immobilized sludge, floating synthetic loading, air regeneration of the loading, efficiency of regeneration, mathematical model

For citation: Kulkov V.N., Solopanov E.Yu., Dudarev V.I., Mainovskaya A.K. Forecasting regeneration parameters of free-floating biocarriers in an aeration tank. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):635-644. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-635-644>. EDN: LTVXBN.

ВВЕДЕНИЕ

Биореактор, с использованием двух биоценозов активного ила, свободно плавающего и иммобилизованного, обеспечивает высокую очистки сточных вод. Устойчивая работа биотенков, входящих в состав канализационных очистных сооружений биологической очистки, обеспечивается однородно расположенной в объеме биореактора плавающей загрузкой с иммобилизованным илом [1–4].

Биомасса сорбированного биоценоза на инертной загрузке обеспечивает защищенность денитрифицирующих микроорганизмов от высоких концентраций вредных веществ в поступающих стоках. Прикрепленный к инертной загрузке ил увеличивает суммарную дозу активного ила в биотенке, что значительно увеличивает окислительную мощность аэрируемого сооружения [5–8].

Инертную синтетическую загрузку «ПЗ Bio-850», которую использовали в качестве носителя иммобилизованной биомассы, необходимо периодически обновлять, так как при движении в гидродинамических потоках в объеме биореактора осуществляется частичное самопроизвольное отделение сорбированного ила. Скорость гидродинамических потоков в биотенке изменяется от 0,05 м/с до 0,07 м/с, что недостаточно для полной регенерации прикрепленного ила. Обновление иммобилизованного ила будет производиться

средне-пузырчатой воздушной регенерацией [9–12].

Математическая многофакторная модель воздушной регенерации иммобилизованного ила позволит подобрать технические параметры для биологической очистки сточных вод в биореакторе [13].

МЕТОДЫ

Для проведения исследований по применению воздушной регенерации иммобилизованного ила была разработана экспериментальная установка с моделью биореактора [14]. Эта модель представляет собой вертикальный поперечный разрез промышленного агрегата. Модельный биотенк изготовлен из силикатного полированного стекла с размерами 0,06×0,77×0,88 (м). Мелкопузырчатый аэратор АКВА-ЛАЙН находился в левом нижнем углу биотенка и обеспечивал аэрацию водно-иловой смеси [15].

Для проведения исследований по применению воздушной регенерации иммобилизованного ила была разработана специальная лабораторная установка с модельным биореактором [14]. Этот биореактор представляет собой вертикальный поперечный разрез промышленного агрегата. Модельный биотенк изготовлен из силикатного полированного стекла и имеет размеры 0,06×0,77×0,88 (м).

Для обеспечения аэрации водно-иловой смеси в левом нижнем углу биотенка разме-

щен мелкопузырчатый аэратор «Аква-Лайн» [15].

Водно-иловая смесь биореактора содержала активный ил с концентрацией $\sim 0,3 \text{ г/дм}^3$. Ил адсорбировался на плавающей загрузке, которая перемещалась по биотенку гидродинамическими потоками.

Водно-иловую смесь аэрировали с удельной интенсивностью $\sim 7,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Для определения изменения концентрации свободно плавающего ила в биореакторе пользовались полученной зависимостью концентрации свободно плавающего ила от интенсивности светового потока, проходящего через водно-иловую смесь (калибровочный график). Интенсивность светового потока измерялась люксметром в квазистационарном состоянии седиментации ила на плавающей загрузке.



Рис. 1. Плавающая загрузка типа «ПЗ Bio-850»
Fig. 1. Floating loading type "PZ Bio-850"

При достижении квазистационарного процесса, т.е. равенства скоростей адсорбции и десорбции ила на загрузке ($C_{\text{ила}} \approx 0,2 \text{ г/дм}^3 = \text{Const}$) в биореакторе, проводили воздушную регенерацию плавающей загрузки с удельной интенсивностью $9,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Эффективность регенерации иммобилизованного ила рассчитывали по остаточной концентрации ила на плавающей загрузке. Для нахождения математической модели многофакторной зависимости эффективности воздушной регенерации плавающей загрузки, применяли метод геометрических преобразований [13]. Данный метод заключается в моделировании гиперповерхности, имеющей каркас из кусков кривых линий, которые проходят через общую точку.

Рассмотрим математическую модель, описывающую эффективность процесса воздушной регенерации плавающей загрузки. В данной модели у нас имеются один зависимый и

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кинетику адсорбции активного ила на плавающей загрузке типа «ПЗ Bio-850» (рис. 1), плотностью $0,93\text{--}0,97 \text{ г/дм}^3$, изучали в физической модели биореактора объемом 80 дм^3 . Для этого помещали в модель 10 кг загрузки «ПЗ Bio-850», что соответствовало 125 кг/м^3 удельной массы ее. Загрузка находится в динамике под воздействием гидродинамических потоков, что способствует постоянному частичному обновлению биопленки. Это определяет очистку сточных вод от соединений азота, так как обновленный слой биопленки активнее воздействуют на эти загрязнения. Конструкция загрузки предусматривает закрытые зоны, в которых формируется адсорбированный биоценоз, способствующий быстрому росту биопленки на открытых поверхностях.

три независимых параметра. Исследуемая модель выражается следующим образом:

$$\mathcal{E} = f(t, m, J_g), \quad (1)$$

где $\mathcal{E}$ – эффективность восстановления иммобилизованного ила, %; t – время воздушной регенерации, с; m – удельная масса плавающей загрузки, кг/м^3 ; J_g – удельная интенсивность воздушной регенерации, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Модель разрабатывали по результатам обработки экспериментальных данных, представленных в табл. 1.

Были получены парные функциональные зависимости эффективности регенерации плавающей загрузки от данных параметров (рис. 2–4):

$$\mathcal{E}_t = \varphi(t); \quad \mathcal{E}_m = \varphi(m); \quad \mathcal{E}_{J_g} = \varphi(J_g). \quad (2)$$

Таблица 1. Параметры воздушной регенерации и их эффективность

Table 1. Regeneration parameters and their efficiency

t , с	$\mathcal{E}_t$, %	m , кг/м ³	$\mathcal{E}_m$, %	J_g , м ³ /(м ² ·ч)	$\mathcal{E}_{J_g}$, %
30	75	37.5	82	5.2	70
60	86	62.5	87	7.5	88
120	94	125.0	92	9.5	96
180	95	187.5	97	12.0	98

Эффективность воздушной регенерации плавающей загрузки $\mathcal{E}_t$ от времени её регенерации t изучали в интервале от 0,5 до 3 минут (рис. 2). Воздушная регенерация проводилась интенсивностью $J_g = 9,5$ м³/(м²·ч). Удельная масса синтетической загрузки m , находящейся в биореакторе, составляла 125 кг/м³. Рост эффективности регенерации иммобилизованного ила наблюдается приблизительно до 2,5 мин. Эффективность воздушной регенерации плавающей загрузки $\mathcal{E}_t$ от изменения ее удельной массы m изучали в интервале от 37,5 кг/м³ до 187,5 кг/м³ (рис. 3). Эффективность регенерации изменяется с 82% и достигает 97% при массе плавающей загрузки равной ~188 кг/м³.

На рис. 4. представлена эффективность воздушной регенерации плавающей загрузки $\mathcal{E}_{J_g}$ в зависимости от интенсивности её регенерации J_g .

Для нахождения оптимальной величины интенсивности воздушной регенерации плавающей загрузки с иммобилизованным илом в биореакторе использовался воздушный средне-пузырчатый регенератор [14], с помощью которого можно было варьировать удельную интенсивность воздушной регенерации в пределах 5,2 м³/(м²·ч) – 12,4 м³/(м²·ч). Время регенерации плавающей загрузки t составляло 120 сек., а удельная ее масса m – 125 кг/м³.

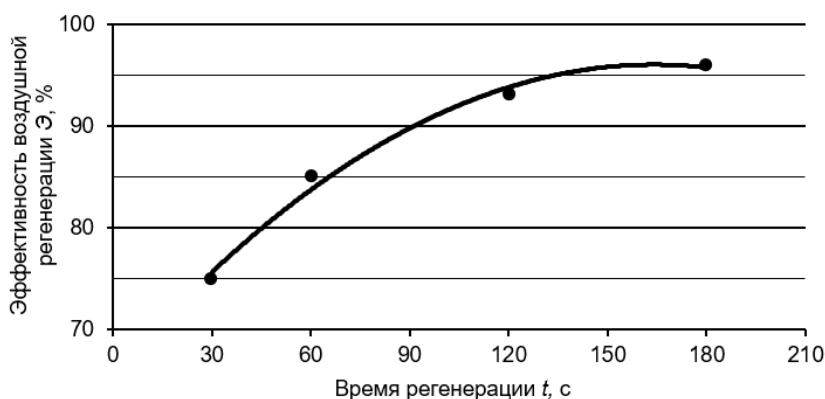


Рис. 2. Зависимость эффективности $\mathcal{E}$ от времени регенерации t
Fig. 2. Dependence of the efficiency $\mathcal{E}$ on regeneration time t

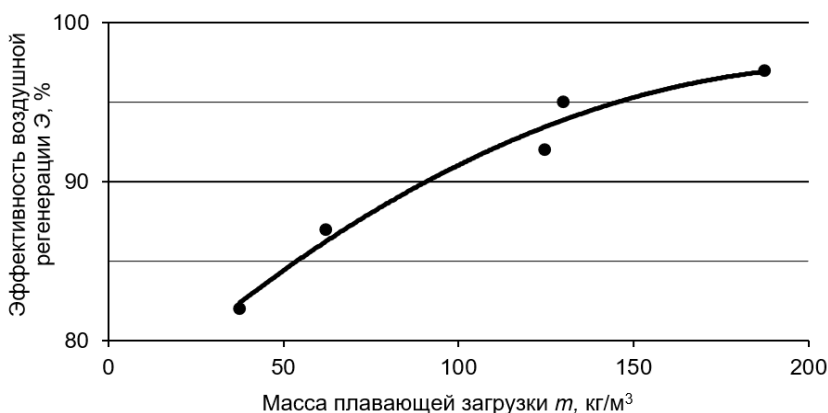


Рис. 3. Зависимость эффективности воздушной регенерации плавающей загрузки от массы загрузки
Fig. 3. The efficiency of airy regeneration of the loading on its mass

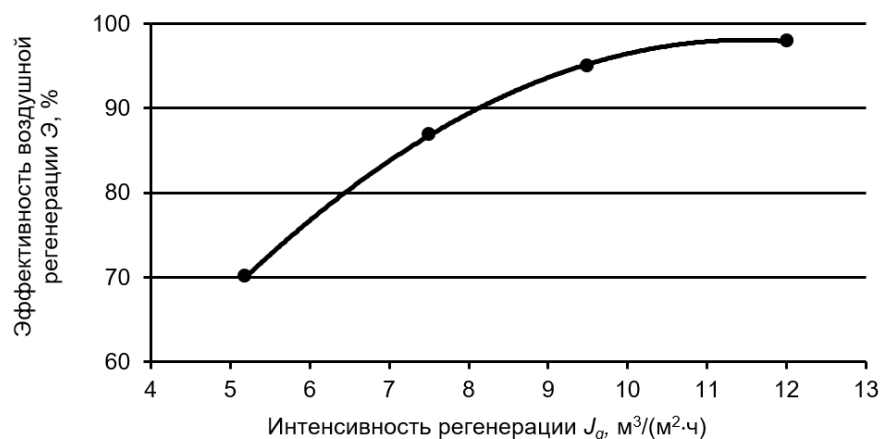


Рис. 4. Зависимость эффективности воздушной регенерации загрузки от интенсивности регенерации.

Fig. 4. Efficiency of airy regeneration of the loading on the intensity of its regeneration

Из приведенных на рис. 2–4 зависимостей видно, что все экспериментальные данные очень хорошо аппроксимируются квадратичными уравнениями

$$\mathcal{E} = a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_i^2, \quad (3)$$

где a_i – коэффициенты уравнений, найденные в результате математической обработки массива экспериментальных данных, $i = 1, 2, 3$; x_i – три независимых параметра, соответственно, t , m или J_g .

Полученные уравнения (3) были исследованы на оптимальные значения входных и выходного параметров. Для этого производные каждого уравнения $d\mathcal{E}/dx_i$ приравнивали нулю:

$$d\mathcal{E}/dx = 2a_2 \cdot x + a_1 = 0, \quad (4)$$

и определили максимум рассматриваемых уравнений:

$$x_i^{\text{опт}} = -a_1 / (2 \cdot a_2), \quad (5)$$

где $x_i^{\text{опт}}$ – точка экстремума i -го параметра.

Для нахождения оптимальной эффективности для параметра соответствующей зависимости, подставим $x_i^{\text{опт}}$ в уравнение (3)

Эффективность воздушной регенерации плавающей загрузки $\mathcal{E}_t$ от времени её регенерации t , приведенная на рис. 2, можно представить следующим равенством

$$\mathcal{E}_t = -0.0011 \cdot t^2 + 0.372 \cdot t + 65.53; \quad R^2 = 0.989, \quad (6)$$

где R^2 – коэффициент детерминации, характеризующий тесноту связи между эффективностью воздушной регенерацией и параметром t . Очевидно, что чем ближе к единице R^2 , тем качественней построенная модель ложится на имеющиеся данные и ближе к этой модели лежат истинные точки наблюдения. Используя уравнения (4) и (5), рассчитали опти-

мальное значение времени регенерации $t^{\text{опт}} = 168.9$ с. Подставив его в уравнение (6), получили $\mathcal{E}_t^{\text{опт}} = 96.9\%$, т.е. оптимальную эффективность регенерации для этого параметра.

Зависимости эффективности воздушной регенерации плавающей загрузки от её удельной массы в биореакторе (рис. 3), удельной интенсивности ее регенерации (рис. 4), описываются следующими уравнениями:

$$\mathcal{E}_m = -0.0005 \cdot m^2 + 0.204 \cdot m + 75.41; \quad R^2 = 0.973, \quad (7)$$

$$\mathcal{E}_{J_g} = -0.702 \cdot J_g^2 + 16.163 \cdot J_g + 4.997; \quad R^2 = 0.998, \quad (8)$$

Аналогично выше приведенным расчетам, по уравнениям (4)–(6), получены оптимальные значения и оптимальные эффективности для удельной массы загрузки – $m^{\text{опт}} = 204$ кг/м³ и $\mathcal{E}_m^{\text{опт}} = 96.2\%$; удельной интенсивности ее регенерации – $J_g^{\text{опт}} = 11.5$ м³/(м²·ч) и $\mathcal{E}_{J_g}^{\text{опт}} = 98.1\%$.

Была оценена также точность аппроксимации: расчет показал, что средняя относительная ошибка не превышает 0,005%, которой можно пренебречь.

Для построения математической модели поверхности, связывающей эффективность воздушной регенерации с тремя независимыми параметрами t , J_g и m , взяли в качестве одномерных образующих аппроксимирующие параболы второго порядка (6)–(8).

В результате найдено уравнение поверхности эффективности:

$$\mathcal{E} = f(t, m, J_g) = \frac{1}{3} (0.00037 \cdot t^2 + 0.00017 \cdot m^2 + 0.23383 \cdot J_g^2 + 0.12387 \cdot t + 0.068 \cdot m + 5.3877 \cdot J_g + 48.647). \quad (9)$$

По полученному уравнению (9) рассчитали эффективность модели, используя для расчета значения найденных оптимальных параметров. В результате получили, что эффективность составляет ~97%.

По уравнению (9) рассчитали значение эффективности регенерации для следующих данных: $J_g^{\text{опт}}$ и $m^{\text{опт}} = \text{const}$, время t изменялась от 30 до 180 с; $\tau^{\text{опт}}$ и $m^{\text{опт}} = \text{const}$, интенсивность регенерации J_g – от 5,2 до 12,0 м³/(м²·ч); $\tau^{\text{опт}}$ и $J_g^{\text{опт}} = \text{const}$, масса загрузки – от 37,5 до 187,5 кг. Значения изменяющихся параметров (по числу экспериментальных точек каждого параметра) приведены в табл. 1.

Из рассчитанных величин эффективности регенерации сформировали исходную матрицу значений эффективности (табл. 2). По исходной матрице значений эффективности по-

строена геометрическая модель поверхности эффективности, которая приведена на рис. 5.

Оптимальное значение удельной массы $m^{\text{опт}} = 204$ кг/м³ плавающей загрузки в биореакторе не входило в число экспериментальных точек, по которым рассчитывалась исходная матрица значений эффективности.

Для учета данного параметра добавим дополнительный ряд №5 заданных значения независимых параметров, например: $t = 205$ с; $m = 210$ кг/м³; $J_g = 14.4$ м³/(м²·ч) и составим прогностическую матрицу значений эффективности (табл. 3).

Геометрическая интерпретация прогностической матрицы представлена на рис. 6. Точка на поверхности эффективности (рис. 6) соответствует максимальному значению эффективности математической модели, учитывающей все найденные оптимальные параметры.

Таблица 2. Исходная матрица значений эффективности

Table 2. Initial matrix of efficiency values

$J_g^{\text{опт}}$ и $m^{\text{опт}} = \text{const}$	$\tau^{\text{опт}}$ и $m^{\text{опт}} = \text{const}$	$\tau^{\text{опт}}$ и $J_g^{\text{опт}} = \text{const}$
89,861913	92,35905	87,5041321
92,579013	93,63405	93,0656678
96,015213	95,95455	95,8908478
96,787413	96,82155	96,7917353

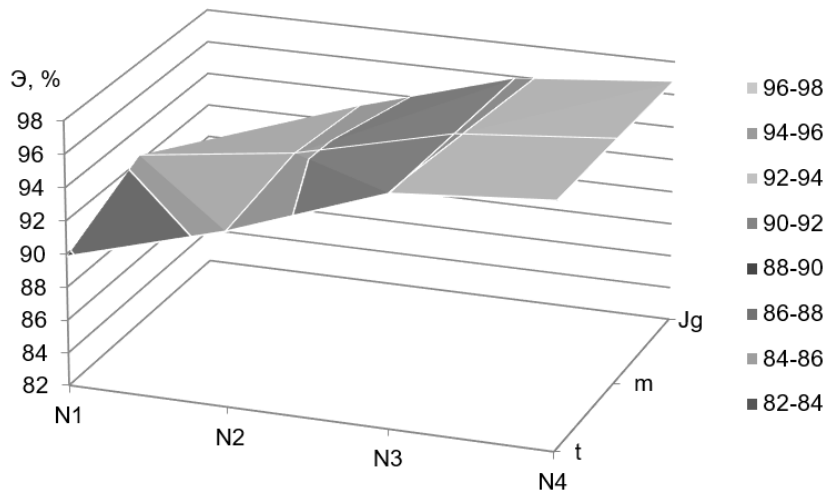


Рис. 5. Геометрическая интерпретация модели, построенной по исходной матрице эффективности

Fig. 5. Geometric surface of the efficiency based on the original matrix of efficiency

Полученные матрицы эффективности и построенные поверхности эффективности легко анализируются.

Видно, при каких значениях технологических параметрах можно подобрать наиболее выгодные параметры для повышения эффективности работы оборудования.

Следовательно, использование математической модели эффективности воздушной регенерации плавающей загрузки позволяет проектировать и осуществлять процесс эффективной работы биореактора с применением заданных входных параметров регенерации.

Таблица 3. Прогностическая матрица значений эффективности

Table 3. Predictive matrix of efficiency values

$J_g^{\text{опт}}$ и $m^{\text{опт}} = \text{const}$	$\tau^{\text{опт}}$ и $m^{\text{опт}} = \text{const}$	$\tau^{\text{опт}}$ и $m^{\text{опт}} = \text{const}$
89,861913	92,35905	87,5041321
92,579013	93,63405	93,0656678
96,015213	95,95455	95,8908478
96,787413	96,82155	96,7917353
96,322913	96,83111	94,9067465

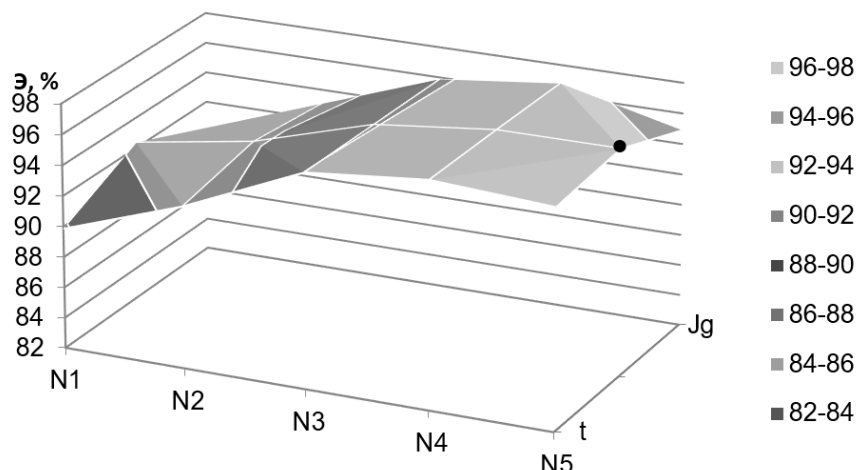


Рис. 6. Геометрическая поверхность эффективности
Fig. 6. Geometric surface of efficiency

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Воздушная регенерация плавающей загрузки с иммобилизованным илом происходила в физической модели аэротенка-биореактора. Найдена многофакторная модель эффективности регенерации иммобилизованного ила воздухом на плавающей загрузке. По полученной математической модели можно найти эффективность воздушной регенерации от следующих параметров: времени и удельной интенсивности регенерации, а также удельной массы плавающей загрузки. С использованием математической модели была построена геометрическая поверхность эффективности регенерации, определяющая влияние всех приведенных параметров.

Получены зависимости эффективности средне-пузырчатой воздушной регенерации иммобилизованного ила на плавающей загрузке и определены оптимальные параметры регенерации плавающей загрузки, необходимые для высокой эффективности: время регенерации равняется ~2,5 мин; удельная интенсивность воздушной регенерации составляет $12 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; удельная масса загрузки равна $\sim 200 \text{ кг/м}^3$.

Следовательно, применение математической модели предоставляет возможность выбрать технические параметры воздушной регенерации иммобилизованного ила при определенной высокой эффективности регенерации для биологической очистки сточных вод.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: АКВАРОС, 2003. 512 с.
2. Швецов В.Н., Морозова К.М., Смирнова И.И., Семенов М.Ю., Лежнев М.Л., Рыжаков Г.Г., и др. Использование блоков биологической загрузки на сооружениях очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 10-2. С. 25–31. EDN: MVREYB.
3. Швецов В.Н., Морозова К.М., Смирнова И.И., Семенов М.Ю., Лежнев М.Л., Рыжаков Г.Г., и др. Технологическая эффективность биоагрузки производства ООО «Техводполимер» // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 2. С. 33–40. EDN: HYKXWX.
4. Ferrera I., Sánchez O. Insights into microbial diversity in wastewater treatment systems: how far have we come? // Biotechnology Advances. 2016. Vol. 34. Iss. 5. P. 790–802. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.04.003>.

5. Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю. Водовоздушная регенерация ершовой загрузки в аэротенке: монография. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2020. 162 с.
6. Маркевич Р.М., Гребенчикова И.А., Роденко А.В., Вострова Р.Н. Особенности биоценоза активного ила, находящегося в свободном состоянии и иммобилизованного на полимерном носителе // Тр. БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2013. № 4 (160). С. 219–223. EDN: SOBOLV.
7. Куликов Н.И., Найманов А.Я., Омельченко Н.П., Чернышов В.Н. Теоретические основы очистки воды. Макеевка: Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 2009. 297 с.
8. Hamza R.A., Sheng Zh., Ternalorhemen O., Zaghloul M.Sh., Tay J.H. Impact of food-to-microorganisms ratio on the stability of aerobic granular sludge treating high-strength organic wastewater // Water research. 2018. Vol. 147. P. 287–298. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.061>.
9. Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю., Евтеева И.В., Разум А.С. Газогидродинамическая обстановка и распределение активного ила в сооружениях биологической очистки сточных вод // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2008. № 4 (36). С. 48–52. EDN: JWXIVV.
10. Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю. Оценка эффективности регенерации синтетической загрузки в био-реакторе // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 3 (18). С. 77–84. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2016-3-77-84>. EDN: WMNBBZ.
11. Martí-Calatayud M.C., Schneider S., Yüce S., Wessling M. Interplay between physical cleaning, membrane pore size and fluid rheology during the evolution of fouling in membrane bioreactors // Water research. 2018. Vol. 147. P. 393–402. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.017>.
12. Abdalla Kh.Z., Khafagy Kh. Upgrading of activated sludge systems using immobilized Nitrifiers in polymer pellets // International journal of scientific & engineering research. 2014. Vol. 5. Iss. 2. P. 619–623.
13. Вертинская Н.Д. Многомерное математическое моделирование многофакторных и многопараметрических процессов в многокомпонентных системах. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного технического университета, 2001. 289 с. EDN: KVBGTR.
14. Первых И.А., Зеленин А.М., Сосна В.М. Физическое моделирование газогидродинамической обстановки в аэротенке-вытеснителе // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 8 (79). С. 89–93. EDN: RASWZH.
15. Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю., Кудрявцева Е.В. Использование информационных технологий для математического моделирования биологической очистки сточных вод // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. № 6 (666). С. 66–73. EDN: SXHLPP.

REFERENCES

1. Zhmur N.S. Technological and biochemical processes for wastewater treatment at facilities with aerotanks. Moscow: Akvaros Publ.; 2003. 512 p. (In Russ.).
2. Shvetsov V.N., Morozova K.M., Smirnova I.I., Semenov M.Yu., Lezhnev M.L., Ryzhakov G.G., et al. The use of bioblocks at wastewater treatment facilities. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2010;10:25-31. (In Russ.). EDN: MVREYB.
3. Shvetsov V.N., Morozova K.M., Smirnova I.I., Semenov M.Yu., Lezhnev M.L., Ryzhakov G.G., et al. Technological efficiency of biomedica produced by Tekhvodpolimer Co. Ltd. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2007;2:33-40. (In Russ.). EDN: HYKXWX.
4. Ferrera I., Sánchez O. Insights into microbial diversity in wastewater treatment systems: how far have we come? *Biotechnology Advances*. 2016;34(5):790-802. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.04.003>.
5. Kulkov V.N., Solopanov E.Yu. Water-air regeneration of a synthetic brush loading located in an aerotank. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2020. 162 p. (In Russ.).
6. Markevich R.M., Grebenchikova I.A., Rodenko A.V., Vostrova R.N. Special properties of free-floating and immobilized active sludge biotic community. *Trudy BGTU. № 4. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya = Proceedings of BSTU. № 4. Chemistry, organic substances technology and biotechnology*. 2013;4:219-223. (In Russ.). EDN: SOBOLV.
7. Kulikov N.I., Naimanov A.I., Omelchenko N.P., Chernyshov V.N. Theoretical based water purification. Makееvka: Donbass National Academy of Construction and Architecture; 2009. 298 p. (In Russ.).
8. Hamza R.A., Sheng Zh., Ternalorhemen O., Zaghloul M.Sh., Tay J.H. Impact of food-to-microorganisms ratio on the stability of aerobic granular sludge treating high-strength organic wastewater. *Water research*. 2018;147:287-298. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.061>.
9. Kulkov V.N., Solopanov E.Yu., Evteeva I.V., Razum A.S. Gas and hydrodynamic condition and distribution of active silt in the installations of biological cleaning of sewages. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk state technical university*. 2008;4:48-52. (In Russ.). EDN: JWXIVV.

10. Kulkov V.N., Solopanov E.Iu. Assessment of effectiveness of regeneration of synthetic loading in a bioreactor. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2016;3:77-84. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2016-3-77-84>. (In Russ.). EDN: WMNBBZ.
11. Martí-Calatayud M.C., Schneider S., Yüce S., Wessling M. Interplay between physical cleaning, membrane pore size and fluid rheology during the evolution of fouling in membrane bioreactors. *Water research*. 2018;147:393-402. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.017>.
12. Abdalla Kh.Z., Khafagy Kh. Upgrading of activated sludge systems using immobilized Nitrifiers in polymer pellets. *International journal of scientific & engineering research*. 2014;5(2):619-623.
13. Vertinskaya N.D. Multidimensional mathematical modeling of multifactor and multiparametric processes in multicomponent systems. Irkutsk: Irkutsk state technical university; 2001. 289 p. (In Russ.). EDN: KVBGTR.
14. Pervykh I.A., Zelenin A.M., Sosna V.M. Physical modeling of gas hydrodynamic conditions in continuous flow aeration tank. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Irkutsk state technical university*. 2013;8:89-92. (In Russ.). EDN: RASWZH.
15. Kulkov V.N., Solopanov E.Yu., Kudryavtseva E.V. Use of information technology of mathematical modeling the biological wastewater treatment. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. Construction*. 2014;6:66-73. (In Russ.). EDN: SXHLPP.

Информация об авторах**Кульков Виктор Николаевич,**

д.т.н., профессор,
профессор кафедры инженерных коммуникаций
и систем жизнеобеспечения,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kulkov.viktor@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3838-0777>
Author ID: 730720

Солопанов Евгений Юрьевич,

к.т.н., доцент отделения прикладной
математики и информатики,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: evgursolo@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4063-7252>
Author ID: 518365

Дударев Владимир Иванович,

д.т.н., профессор,
профессор кафедры химии и биотехнологии
им. В.В. Тутуриной,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: vdudarev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2378-7574>
Author ID: 676659

Майновская Арина Константиновна,

специалист по учебно-методической работе
кафедры городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: daarishka99@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6413-2991>
Author ID: 1211009

Information about the authors**Victor N. Kulkov,**

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Urban
Construction and Economy,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: kulkov.viktor@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3838-0777>
Author ID: 730720

Evgenii Yu. Solopanov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Applied Mathematics
and Computer Science,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: evgursolo@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4063-7252>
Author ID: 518365

Vladimir I. Dudarev,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Chemistry
and Biotechnology named after V.V. Tuturina,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: vdudarev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2378-7574>
Author ID: 676659

Arina K. Mainovskaya,

Specialist in Educational and Methodological
Work of the Department of Urban Construction
and Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: daarishka99@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6413-2991>
Author ID: 1211009

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 04.09.2023.
Одобрена после рецензирования 19.09.2023.
Принята к публикации 20.09.2023.

Information about the article

The article was submitted 04.09.2023.
Approved after reviewing 19.09.2023.
Accepted for publication 20.09.2023.



Моделирование напряженно-деформированного состояния усиленной композитной арматурой бетонной балки

А.В. Ластовка¹, С.В. Деордиев², А.К. Мурзинцев³✉

^{1,2,3}Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Аннотация. Исследование направлено на изучение особенностей моделирования напряженно-деформированного состояния бетонной балки, усиленной двумя типами волокнистых композитов. Необходимость усиления существующих железобетонных конструкций может быть вызвана реконструкцией или техническим перевооружением, что часто влечет за собой увеличение нагрузки на несущие конструкции зданий и сооружений, а также при ликвидации последствий факторов, приведших к снижению несущей способности или выходу из строя несущих конструкций. В работе для исследования применимости модели производился анализ результатов, полученных в ходе испытаний на изгиб и осевое сжатие опытных образцов железобетонных балок таврового сечения со сварной каркасной арматурой, находившихся в эксплуатации, и результатов численного исследования в программном комплексе «ЛИРА». Напряженно-деформированное состояние опытных образцов было произведено в нелинейной постановке методом конечных элементов. Проведенный анализ и теоретические исследования показали, что применимость моделей, разработанных на основе ограниченной базы данных испытаний, неясна, особенно в отношении широкого диапазона коэффициентов сжатия, в то время как результаты моделирования работы железобетонных балок показали достаточную точность для использования при проектировании усиления путем применения внешнего композитного армирования.

Ключевые слова: композитная арматура, бетон, усиление, напряженно-деформированное состояние, GFRP, CFRP

Для цитирования: Ластовка А.В., Деордиев С.В. Мурзинцев А.К. Моделирование напряженно-деформированного состояния усиленной композитной арматурой бетонной балки // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 645–654. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-645-654>. EDN: PATXSL.

Original article

Stress-strain modelling for a composite reinforced concrete beam

Anatoly V. Lastovka¹, Sergey V. Deordiev², Arsenii K. Murzintsev³✉

^{1,2,3}Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. The study is aimed at the features of modeling the stress-strain state of a concrete beam, reinforced with two types of fibrous composites. The necessity of strengthening existing reinforced concrete structures can be caused by the reconstruction or technical re-equipment, which often entails an increase in the load on the load-bearing structures of buildings and facilities, as well as during the elimination of the consequences of factors that led to a decrease in the bearing capacity or a failure of load-bearing structures. In order to study the applicability of the model, we analysed the results, obtained during bending and axial compression tests of T-section reinforced concrete beam specimens with welded frame reinforcement that were in operation and the results of a numerical study in a LIRA software suite. The stress-strain state of specimens was modelled in a nonlinear formulation using the finite element method. The conducted analysis and theoretical studies have shown the applicability of models, developed based on a limited test database, unclear, especially with regard to a wide range of compression coefficients, while the results of modeling the behavior of reinforced concrete beams have

© Ластовка А.В., Деордиев С.В., Мурзинцев А.К., 2023

Том 13 № 4 2023

с. 645–654

Vol. 13 No. 4 2023

pp. 645–654

Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость
Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate

ISSN 2227-2917

(print)

ISSN 2500-154X

(online)

demonstrated sufficient accuracy for applying in the strengthening design using external composite reinforcement.

Keywords: composite reinforcement, concrete, modeling, stress-strain state, GFRP, CFRP

For citation: Lastovka A.V., Deordiev S.V., Murzintsev A.K. Stress-strain modelling for a composite reinforced concrete beam. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):645-654. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-645-654>. EDN: PATXSL.

ВВЕДЕНИЕ

Надежность, долговечность и безопасность имеют первостепенное значение, когда речь идет о проектировании и строительстве бетонных сооружений. Бетон широко используется в гражданском строительстве. Однако его недостатком является низкая прочность на растяжение, хрупкость и деформационное размягчение. В бетонной конструкции трещины, вызванные воздействием окружающей среды и/или механических нагрузок, быстро раскрываются до макроскопически видимого уровня, а когда они соединяются, это может привести к образованию еще более крупных разрывов. Наличие таких повреждений ускоряет разрушение, обеспечивая легкий доступ агрессивных сред (например, противобледенительной соли) внутрь конструкции [1–3]. В данном контексте очень важно уменьшить традиционные недостатки железобетона для того, чтобы возводить конструкции, способные достичь длительного срока службы.

Обозначенные потребности, а также наступление передовой инженерной эры заставляет исследователей разрабатывать современные материалы с улучшенными свойствами. В последнее время композитные материалы, особенно полимерные композиты, армированные углеродным волокном, уверенно вытесняют различные традиционные металлы и металлические сплавы благодаря своему низкому удельному весу, лучшей прочности, более высокой жесткости, простоте изготовления, высокой коррозионной стойкости, улучшенной усталостной прочности, увеличенному сроку службы и, самое главное, удобной легкой структуре [4–7].

За последние несколько десятилетий композитные материалы превратились в конструктивно и экономически жизнеспособное строительное решение для мостов, морских сооружений и зданий. Они производятся в различных формах с различными свойствами и способами применения. Типичная композитная арматура, используемая в гражданском строительстве, состоит из стекла, углерода и арамида. Прочность на разрыв неметалличе-

ской арматуры, как показывают исследования, втрое выше стальной [8, 9]. В отличие от металлической, такая арматура коррозионно устойчива и имеет меньший вес (примерно в 9 раз). В ходе анализа долгосрочных последствий использования композитных материалов как на новых, так и на существующих бетонных конструкциях, было установлено, что они могут прослужить более 50-ти лет. По прогнозам, к 2025 г. мировой рынок композитных материалов для строительства достигнет 32 млрд долл. [10–12].

В последнее время было проведено много исследований по оценке предельной прочности бетона, усиленного композитной арматурой.

Однако эта область содержит еще много нерешенных и дискуссионных вопросов, следовательно необходимы дополнительные исследования для изучения возможностей композитной арматуры, ее ограничений и применимости при проектировании [13–16].

Таким образом, обозначенные обстоятельства обуславливают выбор темы данной статьи, а также свидетельствуют о ее высокой теоретической и практической значимости.

МЕТОДЫ

В течение последних десятилетий механические свойства моноволоконных инженерных цементных композитов, таких как волокна из поливинилового спирта или системы, армированные волокнами из полиэтилена, были исследованы А.Р. Воликом, С.А. Сазоном, К.Ю. Чурило [17], Д.Н. Шушунимым, М.В. Комаровым [18], Yuan Wu, Song Hongwei, Huang Chenguang [19].

Взаимосвязь между напряжением и деформацией армированного стальной фиброй щелочно-шлакового бетона при статическом сжатии описывается С.И. Меркуловым, Э.К. Акимовым [20], И.Ю. Белуцким, А.Д. Сим [21], M. Atwater; Z.C. Leseman, J. Phillips [22].

Анализ механических свойств различных армированных композитной арматурой бетонов в холодных регионах входит в круг научных интересов Ю.Ф. Рогатнева, Ж. Минани, О.О. Соколова, А.М. Хорохордина [23],

A. Javadian, M. Wielopolski, Ia.F.C. Smith, D.E. Hebel [24].

Однако, несмотря на имеющиеся труды и наработки, необходимо отметить, что общая модель бетона, усиленная композитной арматурой еще не принята промышленными нормами. Кроме того, зачастую экспериментальные модели разрабатываются на основе эмпирических данных, полученных при испытании небольших бетонных образцов.

Наиболее популярным размером используемых прототипов являются обычные стандартные бетонные цилиндры 152 мм × 305 мм, а некоторые исследователи даже использовали образцы 76 мм × 305 мм.

Соответственно, модели были разработаны на основе ограниченной базы данных испытаний, и поэтому их применимость неясна, особенно в отношении широкого диапазона коэффициентов сжатия.

Исследование напряженно-деформированного состояния опытных образцов – балок – в нелинейной постановке будем проводить методом конечных элементов в программном комплексе «ЛИРА-САПР».

Опытные железобетонные балки таврового сечения со сварной каркасной арматурой были демонтированы из пролетного строения

моста после более чем 40-летней эксплуатации. Конструкция этих балок по армированию и геометрии соответствовала типовому проекту. Общая длина балок составляет 14,06 м, а расчетный пролет – 13,5 м. Рабочая арматура класса А-II. Прочность бетона балок Б-1 и БП-1 на сжатие была определена неразрушающим способом – эталонным молотком Кашкарова. Для определения прочности бетона балок на растяжение использовался метод «pull-off» (местное отрывание бетона на фиксированной площади). Значение прочности указано в табл. 1.

В исследовании рассмотрены две балки: обычная Б-1 и усиленная двумя композитными лентами БП-1.

Армированный стекловолокном полимер (GFRP) и армированный углеродным волокном полимер (CFRP) приклеивались к внешней поверхности бетона с помощью клея на основе эпоксидной смолы для улучшения характеристик долговечности бетона.

Физические свойства двух видов армированного волокнами пластика и эпоксидного клея приведены в табл. 2.

На рис. 1 показаны два типа волокнистых композитов – GFRP и CFRP.

Таблица 1. Прочность бетона балок Б-1 и БП-1

Table 1. Concrete strength of beams B-1 and BP-1

Шифр балки	Прочность бетона, МПа	
	на сжатие	на растяжение
Б-1	22,3	1,53
БП-1	28,0	2,31

Таблица 2. Прочность стеклопластика и клея из эпоксидной смолы

Table 2. Strength of fiberglass and epoxy resin adhesive

Материалы	Прочность на разрыв, МПа	Модуль упругости, ГПа	Удлинение при разрыве, %
GFRP	2450~2550	75~85	2,25~2,35
CFRP	3470~3570	250~270	1,68~1,78
Клей из эпоксидной смолы	52,3~56,3	2,5~2,9	2,20~2,30

Композитные ленты CFRP сечением 120×1,4 мм были приклеены к нижней поверхности балки БП-1 двухкомпонентным клеем из эпоксидной смолы, причем верхнюю ленту довели до опор, а нижнюю оборвали в пролете на расстоянии 195 см от опор.

Ленты GFRP были наклеены на боковой поверхности нижней части ребра по всей длине пролета.

Для дополнительной анкеровки наклеенных лент использовали высокопрочную ткань

SikaWrap, наклеенную двумя слоями между опорной и первой от опоры поперечными диафрагмами с расположением рабочих волокон во взаимно перпендикулярных направлениях.

Испытания на изгиб и сжатие проводились на образцах двух типов. Метод испытаний осуществлялся в соответствии со спецификацией (GBT 50081-2019). Во время экспериментов на осевое сжатие нагрузка прикладывалась со скоростью 0,5 МПа/с.

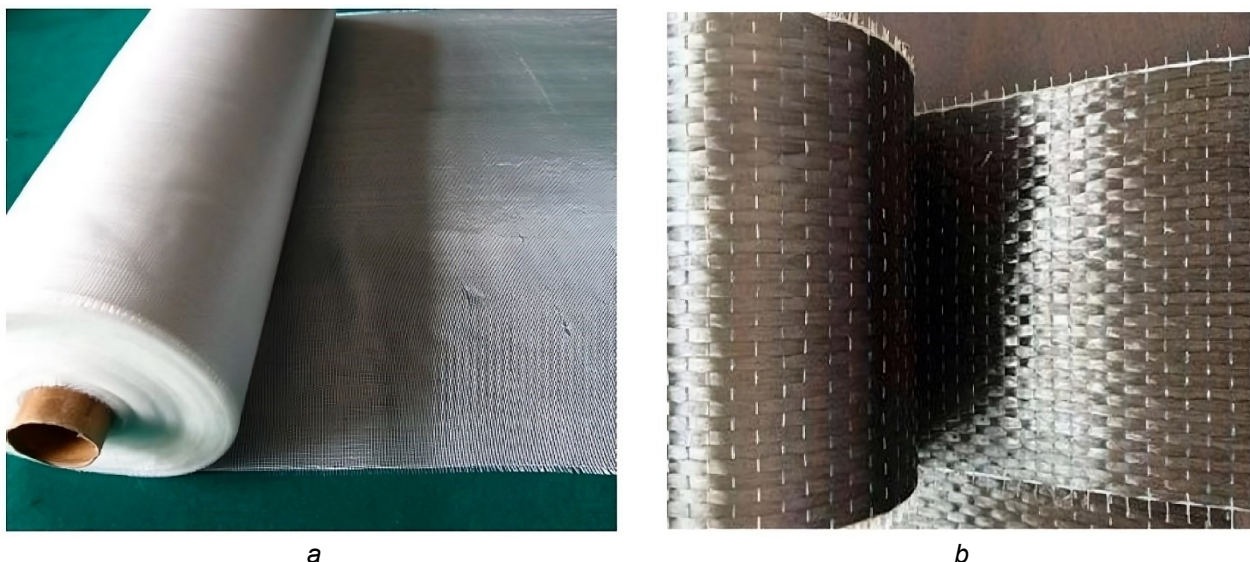


Рис. 1. Волокнистая ткань: а – ткань из стекловолокна; б – ткань из углеродного волокна
Fig. 1. Fiber fabric: a – fiberglass fabric; b – carbon fiber fabric

Сборные призмы из трещиноватого бетона испытывались на четырехточечный изгиб с нагрузкой, приложенной со скоростью 0,05 МПа/с. Данные о смещении образца под действием нагрузки во время сжатия, регистрировались. В ходе испытания датчики деформации были прикреплены к центру нижней части образца, а деформация фиксировалась прибором статической деформации.

Общее количество конечных элементов в модели – 39 400, узлов – 45 738. Применяя шаговый и шагово-итерационный методы, использовали кусочно-линейный закон деформирования материалов № 14 библиотеки с соответствующим алгоритмом. Как и в натурном эксперименте, внешнюю нагрузку прикладывали пошагово к узлам, согласно рис. 2.



Рис. 2. Изополя вертикальных перемещений балок с большим пролетом среза и соприкасающихся напряжений на боковой грани перед разрушением
Fig. 2. Isofields of vertical displacements of beams with a large section span and contiguous stresses on the side face before destruction

Во избежание эффекта местного смятия в местах приложения нагрузки были установлены пластины размерами 0,01×0,01 м с заданной жесткостью. Такое же количество жестких пластин с такими же размерами было установлено в местах возле опор. Способ опирания балки задавался исключением перемещений по соответствующим осям.

Высокая механическая прочность композитной арматуры является результатом вклада нескольких механизмов упрочнения, а именно: эффекта передачи нагрузки, упрочнения Холла-Петча, упрочнения Орована,

несоответствия коэффициента теплового расширения (КТР) и модуля упругости (МУ).

Передача нагрузки от мягкой и податливой матрицы к жестким и твердым частицам под действием внешней нагрузки способствует упрочнению основного материала.

Модифицированная модель сдвига, предложенная Нардоне и Прево, обычно используется для прогнозирования вклада в упрочнение за счет передачи нагрузки в композитах, армированных частицами [25]:

$$\Delta\sigma_{LT} = v_p \sigma_m \left[\frac{(l + t)A}{4l} \right],$$

где v_p – объемная доля частиц, σ_m – предел текучести неармированной матрицы, l и t – размер частицы параллельно и перпендикулярно направлению нагрузки, соответственно.

Для случая равноосных частиц уравнение сводится к следующему:

$$\Delta\sigma_{LT} = \frac{1}{2} v_p \sigma_m.$$

Размер зерна оказывает сильное влияние на прочность металла, поскольку границы зерен могут препятствовать движению дислокаций. Это связано с различной ориентацией соседних зерен и высоким нарушением решетки, характерным для этих областей, что препятствует движению дислокаций в непрерывной плоскости скольжения [26]. Уравнение Холла-Петча связывает прочность со средним размером зерна (d):

$$\Delta\sigma_{H-p} = \frac{k_y}{\sqrt{d}},$$

где k_y – коэффициент упрочнения (характерная константа каждого материала).

Частицы играют фундаментальную роль в конечном размере зерен в матрицах композитов, поскольку они могут взаимодействовать с границами зерен, действуя как точки прижатия, замедляя или останавливая их рост. Увеличение v_p (объемной доли) и уменьшение d_p (диаметра частиц) приводит к более мелкой структуре, что теоретически моделируется уравнением Зенера [27]:

$$d_m = \frac{4\alpha d_p}{3v_p},$$

где α – пропорциональная константа.

Так называемый механизм Орована заключается во взаимодействии наночастиц с дислокациями. Нераскалывающиеся керамические армирующие частицы удерживают пересекающиеся дислокации и способствуют изгибанию дислокаций вокруг частиц (петли Орована) под действием внешней нагрузки [28]. Эффект Орована может быть выражен следующей формулой:

$$\Delta\sigma_{OR} = \frac{0.13bG}{d_p \left(\sqrt[3]{\frac{1}{2} v_p} - 1 \right)} \ln \left(\frac{d_p}{2b} \right),$$

где b – вектор Бюргера, а G – матричный модуль сдвига.

Несоответствие коэффициента теплового расширения (КТР) и модуля упругости (МУ) между армирующими элементами и матрицей устраняется в процессе охлаждения и деформации материала путем образования геометрически необходимых дислокаций (ГНД).

Плотность ГНД из-за несоответствия КТР

и МУ может быть оценена следующими выражениями [29]:

$$\rho^{КТР} = \frac{A\Delta\alpha\Delta T v_p}{b d_p (1-v_p)},$$

$$\rho^{МУ} = \frac{6M_3}{\pi v_p^3} \varepsilon,$$

где A – геометрическая постоянная, $\Delta\alpha$ – разница в КТР, а ΔT – разница между температурой испытания и температурой обработки или термообработки. Затем, комбинированное усиление, вызванное несоответствием КТР и МУ, может быть рассчитано с помощью уравнения Тейлора [30]:

$$\sigma_{КТР+МУ} = \sqrt{3}\beta G b \left(\sqrt{\rho^{КТР}} + \sqrt{\rho^{МУ}} \right),$$

где β – константа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сечение балки смоделировано в виде клейма высотой 85 см. Ширина ребра составляет 12 см, а ширина полочки – 139 см. Высота полочки условно принята неизменной по ширине сечения, она составляет 10 см.

Для описания нелинейного деформирования железобетона был использован 11-й экспоненциальный закон. Сравнение результатов расчетов балок в ПК «Лира» с экспериментальными данными приведено на рис. 3.

Измеренные кривые зависимости сжимающей деформации от нагрузки для каждого образца показаны на рис. 4. Кривая образца из обычного бетона имеет только монотонный повышающийся участок, как показано на рис. 4, а. Результаты испытаний на осевое сжатие свидетельствуют о том, что предельная несущая способность образцов уменьшается. Кривая образца, армированная углепластиком и стеклопластиком, показана на рис. 4, б. Кривая образца из углепластика и стекловолокна состоит из восходящих сегментов. Показатели сжатия образцов из углеволоконной ткани по сравнению с образцами из обычного бетона увеличиваются на 441,33 кН. По сравнению с образцами из обычного бетона, характеристики сжатия образцов из стекловолокна увеличиваются на 199,62 кН.

Итак, прочность на сжатие образцов, армированных углепластиком и стеклопластиком, значительно повышается, поскольку волокнистая ткань ограничивает боковую деформацию образца. В свою очередь кривые напряжения–деформации армированных образцов отличаются от кривых обычных образцов, а прочность на сжатие и пиковая деформация улучшаются. Образцы считаются поврежденными, когда растягивающие напряжения углепластика и стеклопластика достигают максимального предела прочности материала при численном моделировании.

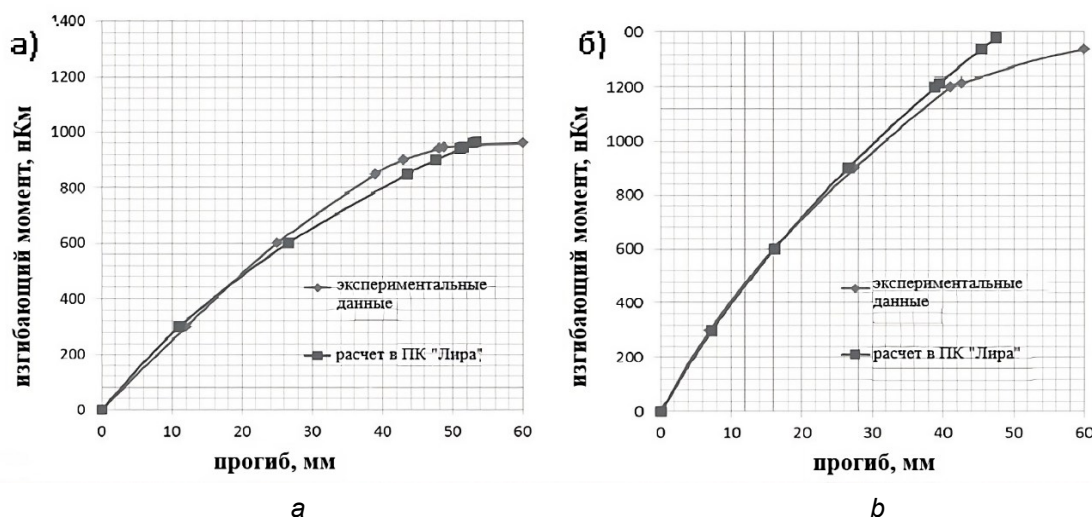


Рис. 3. График нагрузки-прогиба для: а – балки Б-1; б – балки БП-1
Fig. 3. Load-deflection graph for: a – beams B-1; b – beams BP-1

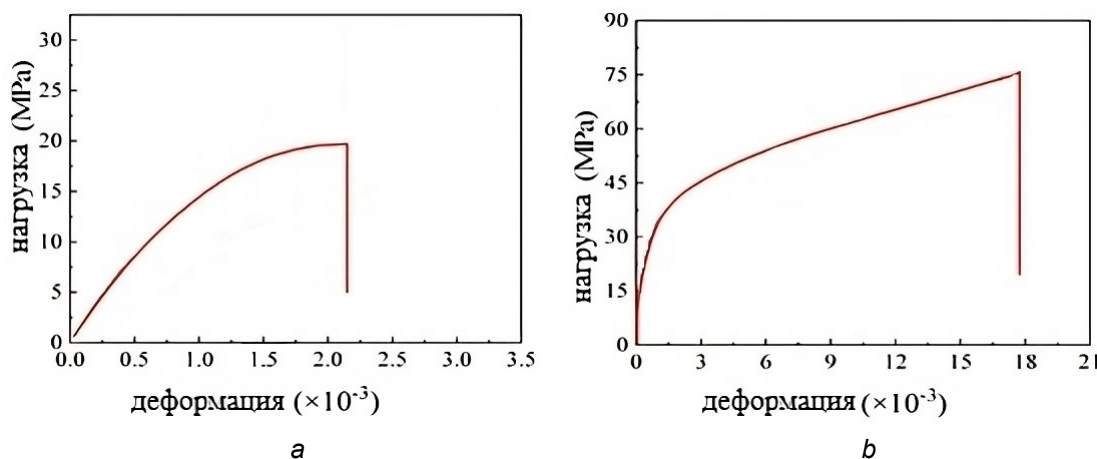


Рис. 4. Кривые напряжения–сжатия–деформации образцов: а – неармированный образец; б – образец, усиленный углеродным и стекловолокном
Fig. 4. Compression-strain stress curves of specimens: a – non-reinforced specimen; b – carbon and glass fiber reinforced specimen

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, подводя итоги, можно сделать следующие выводы. Для многих конструкций, которые работают на изгиб и внецентренное сжатие, а также подвергаются воздействию внешней среды (в частности мостовые балки, опоры мостов), оптимальным

решением является усиление с использованием внешней композитной арматуры. Результаты моделирования работы конструкций, усиленных внешней композитной арматурой в ПК «Лира», описанные в данной статье, являются достаточно точными для использования при проектировании усиления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мухамедиев Т.А., Майоров С.А. Учет работы сжатой композитной полимерной арматуры при расчете прочности сжатых элементов по деформационной модели // Бетон и железобетон. 2022. № 4-5 (612-613). С. 66–71. <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-612-613-4-5-66-71>. EDN: DYBLFC.
2. Парфенов А.А., Сивакова О.А., Гусарь О.А., Балакирева В.В. Работа и разрушение бетона в условиях высокой и низкой температуры // Строительные материалы. 2019. №. 3. С. 64–66. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-64-66>. EDN: ZIKFHV.
3. Сулейманова Л.А. Поведение бетона под нагрузкой, механизм его разрушения и оценка этого процесса // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №. 1. С. 68–75. EDN: VCQCWL.

4. Кузнецова И.С., Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Миюсов С.П. Исследования поведения бетонных плит с арматурой композитной полимерной при пожаре // Бетон и железобетон. 2021. № 5-6 (607-608). С. 32–37. EDN: RMCNYR.
5. Имомназаров Т.С., Аль Сабри Сахар А.М., Дирие М.Х. Применение композитной арматуры // Системные технологии. 2018. № 2 (27). С. 24–29. EDN: XTFJZR.
6. Гиль А.И., Бадалова Е.Н., Лазовский Е.Д. Стеклопластиковая и углепластиковая арматура в строительстве: преимущества, недостатки, перспективы применения // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2015. № 16. С. 48–53. EDN: VURVNH.
7. Михеев В.В. Исследование влияния длины сцепления ФАП с бетоном на несущую способность железобетонных изгибаемых элементов, усиленных внешним армированием на примере железобетонной балки // Молодой учёный. 2022. № 21 (416) С. 28–33.
8. Леонова А.Н., Шевчук Е.А., Губская К.В. Основные виды композитной арматуры. Её преимущества и недостатки // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2020. № 2. С. 334–338. EDN: PPTIYN.
9. Комарова Н.Д. Композиционные материалы в строительстве // Университетская наука. 2018. № 2 (6). С. 13.
10. Etman E.E., Mahmoud M.H., Hassan A., Mowafy M.H. Flexural behaviour of concrete beams reinforced with steel-FRP composite bars // Structures. 2023. Vol. 50. P. 1147–1163. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.02.098>.
11. Кисляков К.А., Попугаев А.И. Основные проблемы внедрения композитной арматуры // Фотинские чтения. 2017. № 1 (7). С. 64–68. EDN: YJBUUP.
12. Аксенов М.А., Леонова А.Н. Перспективные методы усиления строительных конструкций композитными материалами на углеродной основе // Высокие интеллектуальные технологии в науке и образовании: материалы I Международной научно-практической конференции. 2017. Т. 1. (г. Санкт-Петербург, 22 марта 2017 г.). Санкт-Петербург: Информационный издательский учебно-научный центр «Стратегия будущего», 2017. С. 74–80. EDN: YOJJDZ.
13. Бокарев С.А., Смердов Д.Н. Нелинейный анализ железобетонных изгибаемых конструкций, усиленных композитными материалами // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 2. С. 113–125. EDN: MNGZUN.
14. Бокарев С.А., Смердов Д.Н., Неровных А.А. Методика расчета по прочности сечений эксплуатируемых железобетонных пролетных строений, усиленных композитными материалами // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2010. № 10 (622). С. 63–74. EDN: OZIDQX.
15. Волик А.Р., Новицкий Я.Я. Экспериментальные исследования железобетонных балок с внешним армированием растянутой грани композитными тканями // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2022. Т. 12. № 1. С. 117–125. EDN: UPPKRI.
16. Смоляго Г.А., Обернихина Я.Л. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных углепластиком // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. 2022. № 4. С. 25–38. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-7-4-25-38>. EDN: MIRHHG.
17. Волик А.Р., Сазон С.А., Чурило К.Ю. Особенности испытаний на растяжение композитной арматуры // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2020. Т. 10. № 1. С. 110–118. EDN: UJZDBY.
18. Шушунин Д.Н., Комаров М.В., Логинова С.А. Перспектива модификации полимерного связующего композитной арматуры углеродными нанотрубками // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (Поиск). 2020. № 1. С. 748–750. EDN: KNLEKX.
19. Weina Zhao, Te Ma, Hongwei Song, Wu Yuan, Ruixing Wang, Zhe Wang, et al. Effects of tangential supersonic airflow on the laser ablation of laminated CFRP // Journal of Materials Research and Technology. 2021. Vol. 14. P. 1985–1997. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.101>.
20. Меркулов С.И., Акимов Э.К. Прочность наклонных сечений балок с композитной стержневой арматурой // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Международных академических чтений (г. Курск, 18 ноября 2020 г.). Курск: Университетская книга, 2020. С. 180–185. EDN: FQXHSY.
21. Белуцкий И.Ю., Сим А.Д. Эффективность и исследования в области усиления пролетных строений мостов предварительно напряженными композитными материалами // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2015. № 1. С. 270–276. EDN: SZCYIF.
22. Atwater M., Phillips J., Leseman Z.C. Controlling carbon nanofiber morphology for improved composite reinforcement // International Journal of Materials and Structural Integrity. 2009. № 3. P. 179–186. <https://doi.org/10.1504/IJMSI.2009.028612>.
23. Рогатнев Ю.Ф., Минани Ж., Соколов О.О., Хорохордин А.М. Влияние значения процента армирования композитной арматуры на напряженно-деформированное состояние двухслойных изгибаемых

- бетонных элементов // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2020. № 4 (45). С. 67–75. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2020-4-7>. EDN: ZMJFRV.
24. Javadian A.A., Wielopolski M.B., Smith I.F.C., Hebel D.E. Bond-behavior study of newly developed bamboo-composite reinforcement in concrete // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 122. P. 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.084>.
25. Gailitis R., Sprince A., Kozlovskis T., Pakrastins L., Volkova V. Impact of polypropylene, steel, and PVA fibre reinforcement on geopolymer composite creep and shrinkage deformations // 5th International Conference: Innovative Materials, Structures and Technologies. *Journal of Physics: Conference Series* (Riga, 28–30 September 2022). 2023. Vol. 2423. P. 012030. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2423/1/012030>.
26. Chen B., Colmars J., Bai R., Naouar N., Boisse P. Kinematic modeling of transverse shear in textile composite reinforcements forming // *International journal of mechanical sciences*. 2023. Vol. 245. P. 108129. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2023.108129>.
27. Мухамедиев Т.А., Майоров С.А. Расчет прочности внецентренно сжатых бетонных элементов с композитной полимерной арматурой // Вестник НИЦ «Строительство». 2022. № 33 (2). С. 150–160. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-150-160](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-150-160). EDN: IMCDFS.
28. Степанова В.Ф., Мухамедиев Т.А., Кудяков К.Л., Бучкин А.В., Юрин Е.Ю. Экспериментальные исследования прочности сжатых бетонных элементов, армированных композитной полимерной арматурой // Вестник НИЦ «Строительство». 2022. № 33 (2). С. 173–182. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-173-182](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-173-182). EDN: IZTUTQ.
29. Бучкин А.В., Степанова В.Ф., Стрижак В.А., Юрин Е.Ю., Никишов Е.И. Неразрушающий контроль композитной полимерной арматуры // Вестник НИЦ «Строительство». 2020. № 24 (1). С. 23–35. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-1\(24\)-23-35](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-1(24)-23-35). EDN: ZTVGJC.
30. Peixin Yang, Wu Yuan, Hongwei Song, Chenguang Huang. Reinforcement mechanisms of low-strength fragile material under in-plane shear loading by composite lattice structures // *Composite structures*. 2023. Vol. 306. P. 116562. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116562>.

REFERENCES

1. Mukhamediev T.A. Accounting for the work of compressed composite polymer reinforcement when calculating the strength of compressed elements according to the deformation model. *Beton i zhelezobeton*. 2022;4-5:66-71. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-612-613-4-5-66-71>. EDN: DYBLFC.
2. Parfenov A.A., Sivakova O.A., Gusar' O.A., Balakireva V.V. Operation and destruction of concrete at high and low temperatures. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2019;3:64-66. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-64-66>. EDN: ZIKFHV.
3. Suleymanova L.A. Behavior of concrete under load, mechanism of its destruction and evaluation of this process. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta imeni V.G. Shukhova = Bulletin of the Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov*. 2016;1:68-75. (In Russ.). EDN: VCQCWL.
4. Kuznetsova I.S., Stepanova V.F., Buchkin A.V., Miyusov S.P. Studies of the behavior of concrete slabs with composite polymer reinforcement in case of fire. *Beton i zhelezobeton*. 2021;5-6(607-608):32-37. (In Russ.). EDN: RMCNYR.
5. Imomnazarov T.S., Al-Sabri S.A.M., Dirie M.H. The use of composite reinforcement. *Sistemnye tekhnologii*. 2018;2:24-29. (In Russ.). EDN: XTFJZR.
6. Hil A., Badalova E., Lazouski Y. Glass fiber and carbon fiber reinforcement in construction: advantages, disadvantages, prospects of application. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki = Herald of Polotsk state university. Series F. Civil engineering. applied sciences*. 2015. № 16. S. 48–53. (In Russ.). EDN: VURVNH.
7. Mikheev V. V. Investigation of the influence of the adhesion length of FRP with concrete on the bearing capacity of reinforced concrete bending elements reinforced with external reinforcement on the example of a reinforced concrete beam. *Molodoi uchenyi = Young Scientist*. 2022;21:28-33. (In Russ.).
8. Leonova A. N., Shevchuk E. A., Gubskaya K. V. The main types of composite reinforcement. Its advantages and disadvantages. *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnikeskii vestnik) = Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin)*. 2020;2:334-338. (In Russ.). EDN: PPTIYN.
9. Komarova N.D. Composite materials in construction. *Universitetskaya nauka = University science*. 2018;2(6):13. (In Russ.).
10. Etman E.E., Mahmoud M.H., Hassan A., Mowafy M.H. Flexural behaviour of concrete beams reinforced with steel-FRP composite bars. *Structures*. 2023;50:1147-1163. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.02.098>.
11. Kislyakov K.A., Parugaev A.I. The main problems of the introduction of composite reinforcement. *Fotinskie chteniya*. 2017;1:64-68. (In Russ.). EDN: YJBUUP.

12. Aksenov M.A., Leonova A.N. Promising methods of strengthening building structures with carbon-based composite materials. In: *Vysokie intellektual'nye tekhnologii v nauke i obrazovanii: materialy I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = High intellectual technologies in science and education: proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*. 22 March 2017, Saint Petersburg. Saint Petersburg: Information Publishing Educational and Scientific Center "Strategy of the Future"; 2017. Vol. 1. p. 74-80. (In Russ.). EDN: YOJJDZ.
13. Bokarev S.A., Smerdov D.N. The nonlinear analysis of bending reinforced concrete structures strengthened by composite materials. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Vestnik tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of construction and architecture*. 2010;2:113-125. (In Russ.). EDN: MNGZUN.
14. Bokarev S.A., Smerdov D.N., Nerovnykh A.A. Methodology for calculating the strength of sections of ex-pliable reinforced concrete superstructures reinforced with composite materials. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2010;10:63-74. (In Russ.). EDN: OZIDQX.
15. Volik A.R., Novitski Ya.Ya. Experimental studies of reinforced concrete beams with external reinforcement of the tensioned face using composite fabrics. *Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Yanki Kupaly. Seriya 6. Tekhnika = Vestnik of Yanka Kupala state university of Grodno. Series 6. Engineering science*. 2022;12:1:117-125. (In Russ.). EDN: UPPKRI.
16. Smolyago G.A., Obernikhina Ya.L. Strength and deformation of bended reinforced concrete elements reinforced with carbon fiber. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2022;4:25-38. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-7-4-25-38>. EDN: MIRHHG. (In Russ.)
17. Volik A.R., Sazon S.A., Churilo K.Yu. Features of tensile tests of composite reinforcement. *Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Yanki Kupaly. Seriya 6. Tekhnika = Vestnik of Yanka Kupala state university of Grodno. Series 6. Engineering science*. 2020;10:1:110-118. (In Russ.)
18. Shushunin D.N., Komarov M.V., Loginova S.A. The prospect of modification of polymer bonding composite reinforcement with carbon nanotubes. *Molodye uchenye – razvitiyu Natsional'noi tekhnologicheskoi initsiativy (Poisk)*. 2020;1:748-750. EDN: KNLEKX.
19. Weina Zhao, Te Ma, Hongwei Song, Wu Yuan, Ruixing Wang, Zhe Wang, et al. Effects of tangential supersonic airflow on the laser ablation of laminated CFRP. *Journal of Materials Research and Technology*. 2021;14:1985-1997. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.101>.
20. Merkulov S.I., Akimov E.K. Strength of inclined sections of beams with composite rod armature. In: *Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya: materialy Mezhdunarodnykh akademicheskikh chtenii = Safety of the construction Fund of Russia. Problems and solutions: materials of International academic readings*. 18 November 2020, Kursk. Kursk: University Book; 2020. p. 180-185. (In Russ.). EDN: FQXHSY.
21. Belutsky I.Y., Sim A.D. Efficiency and research in the field of strengthening of bridge spans prestressed FRP. *Dal'nii Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa*. 2015;1:270-276. (In Russ.). EDN: SZCYIF.
22. Atwater M., Phillips J., Leseman Z.C. Controlling carbon nanofiber morphology for improved composite reinforcement. *International journal of materials and structural integrity*. 2009;3:179-186. <https://doi.org/10.1504/IJMSI.2009.028612>.
23. Rogatnev Yu.F., Minani J.1, Sokolov O.O., Khorokhordin A.M. Influence of the ratio of reinforcement of composite reinforcement on the stress-strain state of two-layer bending concrete elements. *Vestnik Inzhenernoi shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta = FEPU: School of engineering bulletin*. 2020;4:67-75. (In Russ.). <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2020-4-7>. EDN: ZMJFRV.
24. Javadian A.A., Wielopolski M.B., Smith I.F.C., Hebel D.E. Bond-behavior study of newly developed bamboo-composite reinforcement in concrete. *Construction and Building Materials*. 2016;122:110-117. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.084>.
25. Gailitis R., Sprince A., Kozlovskis T., Pakrastins L., Volkova V. Impact of polypropylene, steel, and PVA fibre reinforcement on geopolymer composite creep and shrinkage deformations. *5th International conference: innovative materials, structures and technologies. journal of physics: conference series*. 28-30 September 2022, Riga. 2023. Vol. 2423. P. 012030. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2423/1/012030>.
26. Chen B., Colmars J., Bai R., Naouar N., Boisse P. Kinematic modeling of transverse shear in textile composite reinforcements forming. *International journal of mechanical sciences*. 2023;245:108129. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2023.108129>.
27. Mukhamediev T.A., Mayorov S.A. Strength calculation of non-centrally compressed concrete elements with composite polymer reinforcement. *Vestnik NITS «Stroitel'stvo» = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):150-160. (In Russ.). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-150-160](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-150-160). EDN: IMCDFS.
28. Stepanova V.F., Mukhamediev T.A., Kudyakov K.L., Buchkin A.V., Yurin E.Yu. Experimental studies into the strength of compressed concrete elements reinforced with fiber-reinforced polymer rebars. *Vestnik NITS*

«*Stroitel'stvo*» = *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):173-182. (In Russ.).
[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-173-182](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-173-182). EDN: IZTUTQ.

29. Buchkin A.V., Stepanova V.F., Strizhak V.A., Yurin E.Yu., Nikishov E.I. Non-destructive testing of fiber reinforced polymer rebars. *Vestnik NITS «Stroitel'stvo» = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2020;24(1):23-35. (In Russ.). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-1\(24\)-23-35](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-1(24)-23-35). EDN: ZTVGJC.

30. Peixin Yang, Wu Yuan, Hongwei Song, Chenguang Huang. Reinforcement mechanisms of low-strength fragile material under in-plane shear loading by composite lattice structures. *Composite structures*. 2023;306:116562. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116562>.

Информация об авторах

Ластовка Анатолий Васильевич,
к.т.н., доцент, доцент кафедры
строительных конструкций
и управляемых систем,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
Россия,
e-mail: last_pro@mail.ru, office@sfu-kras.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0751-1631>

Деордиев Сергей Владимирович,
к.т.н., доцент,
заведующий кафедрой строительных
конструкций и управляемых систем,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
Россия,
e-mail: deordievsv@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2026-820X>
Author ID: 144121

Мурзинцев Арсений Константинович,
ведущий инженер,
АО «Россети Янтарь»
236022, г. Калининград, ул. Театральная, 34,
Россия,
e-mail: arseniimurzincev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8378-7408>

Information about the authors

Anatoly V. Lastovka,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Building Structures and Controlled Systems
Siberian Federal University
79 Svobodny Ave, Krasnoyarsk 660041,
Russia,
e-mail: last_pro@mail.ru, office@sfu-kras.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0751-1631>

Sergey V. Deordiev,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department
of Building Structures and Controlled Systems,
Siberian Federal University,
79 Svobodny Ave, Krasnoyarsk 660041,
Russia,
e-mail: deordievsv@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2026-820X>
Author ID: 144121

Arsenii K. Murzintcev,
Lead Engineer,
JSC "Rosseti Yantar"
34 Teatralnaya St., Kaliningrad 236022,
Russia,
e-mail: arseniimurzincev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8378-7408>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 28.08.2023.
Одобрена после рецензирования 12.09.2023.
Принята к публикации 14.09.2023.

Information about the article

The article was submitted 28.08.2023.
Approved after reviewing 12.09.2023.
Accepted for publication 14.09.2023.



Нематериальные ресурсы как основа интеллектуальной поддержки принятия эффективных решений на всех этапах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта

М.В. Матвеева^{1✉}, А.В. Пешков², Е.В. Воронин³, О.П. Ларина⁴

^{1,2,4}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

³ООО «Спецкомплекс», г. Биробиджан, Россия

Аннотация. Совершенствование подходов к управлению инвестиционно-строительным проектом на всех этапах его жизненного цикла, включая обоснование инвестиций, инженерные изыскания, архитектурно-строительное и организационно-технологическое проектирование, строительство, эксплуатацию, вывод из эксплуатации, снос и утилизацию объекта, в том числе в условиях неопределенности и риска, является ключевым стратегическим направлением развития предприятий. Проблема повышения эффективности управления нематериальными активами организации является актуальной, поскольку от ее решения во многом зависят оперативность принимаемых решений в частности и эффективность работы предприятия в целом. В ходе исследования использовались методы системного анализа, статистически-сравнительные и экономико-математические методы, а также приемы экономического и статистического анализа значений показателей, характеризующих нематериальные активы, в том числе метод ранжирования. Авторами исследованы особенности жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта для предприятий горно-обогатительного комплекса. Рассмотрены фазы стадий инвестиционно-строительного проекта, увязанные со спецификой горнодобывающей отрасли Дальнего Востока. Обоснована потребность детальной структуризации фаз и стадий жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта в аспекте цифровой интеллектуальной поддержки принятия эффективных решений, использования потенциала нематериальных ресурсов исполнителей. В данной работе на примере освоения графитового месторождения «Союзное» ООО «Дальграфит» спроектирована последовательность процессов и процедур при реализации рассматриваемого проекта. На базе существующего потенциала нематериальных ресурсов предприятия предложены управленческие мероприятия, направленные на совершенствование процессов проектного управления с включением возможности цифровизации отдельных бизнес-процессов предприятия.

Ключевые слова: жизненный цикл инвестиционно-строительного проекта, строительный процесс, управление инвестиционно-строительным проектом, управление блок-процессами, цифровизация

Для цитирования: Матвеева М.В., Пешков А.В., Воронин Е.В., Ларина О.П. Нематериальные ресурсы как основа интеллектуальной поддержки принятия эффективных решений на всех этапах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 655–665. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-655-665>. EDN: HPXTJO.

Original article

Intangible resources as the basis of intelligent support in effective decision-making at all life-cycle stages of an investment and construction project

Maria V. Matveeva^{1✉}, Artem V. Peshkov², Evgeniy V. Voronin³, Olga P. Larina⁴

^{1,2,4}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

³LLC "Spetskompleks", Birobidzhan, Russia

© Матвеева М.В., Пешков А.В., Воронин Е.В., Ларина О.П., 2023

Abstract. Improving approaches to the management of an investment and construction project at all stages of its life cycle, including justification of investments, engineering surveys, architectural-construction and organisational-technological design, construction, operation, decommissioning, demolition and disposal of the facility, including in conditions of uncertainty and risks, represents a key strategic direction for the development of enterprises. The problem of improving the efficiency of managing the company intangible assets appears relevant, since the efficiency of decisions, in particular, and the efficiency of the enterprise as a whole, largely depends on its solution. The study used methods of a system analysis, statistical-comparative and economic-mathematical methods, as well as the methods of economic and statistical analysis of indicators, characterising intangible assets, including the ranking method. The authors studied the life cycle features of an investment and construction project for enterprises of the mining and processing complex. The stage phases of the investment and construction project, linked to the specifics of the Far Eastern mining industry, are considered. The need for a detailed structuring of life cycle phases and stages for an investment and construction project for a digital intelligent support of effective decision-making, as well as for a use of the potential of intangible resources of performers, is substantiated. In this paper, the developing Soyuznoye graphite deposit (Dalgrafit LLC) is used to design a sequence of processes and procedures for the implementation of the considered project. Based on the existing potential of enterprise intangible resources, management measures are proposed aimed at improving project management processes with the possibility of digitalising individual business processes of the enterprise.

Keywords: life cycle, construction process, investment and construction project management, block process management, digitalization

For citation: Matveeva M.V., Peshkov A.V., Voronin E.V., Larina O.P. Intangible resources as the basis of intelligent support in effective decision-making at all life-cycle stages of an investment and construction project. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):655-665. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-655-665>. EDN: HPXTJO.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время стабильность и эффективность современных организаций во многом зависит от умения работать в сфере управления проектами [1]. Проектное управление – одно из стратегических направлений функционирования организации.

Цифровизация строительной отрасли, переоценка возможностей нематериальных ресурсов организации позволяют более эффективно управлять инвестиционно-строительными проектами (ИСП) на всех этапах их жизненного цикла [2]. Разбивка жизненного цикла проекта на этапы и соответствующие фазы этапов позволяют выстраивать соответствующую систему управления.

Актуальность проведения данного исследования обусловлена необходимостью пересмотра методов управления инвестиционно-строительными проектами с учетом концепции жизненного цикла, а также их привязки к практической деятельности предприятий.

МЕТОДЫ

Данный вопрос уже достаточно длительное время подробно рассматривался в литературе. В частности, эта тема поднимается

в работах таких отечественных авторов, как В.В. Пешков [3], С.Б. Никишичев [4], Т.Ф. Кайгородцева [5], Е.М. Рогова¹.

На основании изученной научной литературы была определена целесообразность проработки отдельных процедур и стадий жизненного цикла ИСП с выделением определенных этапов и фаз в проектах, что позволит улучшить управление процессами и установить четкую ответственность исполнителя за счет проектирования ключевых организационных событий при осуществлении ИСП.

Апробация результатов исследования будет проведена на примере инвестиционно-строительного проекта по освоению графитового месторождения «Союзное» на территории Еврейской автономной области.

Информационным материалом статьи выступили стандарты, методические указания по разработке проектов, нормативно-правовые акты в сфере инвестиционной деятельности, внутренние документы и отчетность ООО «Дальграфит».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Необходимо отметить, что реализация инвестиционно-строительных проектов для гор-

¹Рогова Е.М. Финансовый менеджмент: учебник. М.: Юрайт, 539 с.

нодобывающих предприятий является многоаспектной задачей инвестирования.

Это обусловлено наделением горнодобывающих предприятий рядом отличительных особенностей, к которым следует отнести следующие: наличие риск-факторов в сфере промышленной безопасности; целевое использование капитала на добычу и переработку; капиталоемкость; качество минеральных ресурсов; географическое местоположение [6–8]. Влияние вышеперечисленных фак-

торов сказывается на содержании и характеристике основных показателей эффективности реализации проекта: структура затрат и инвестиционного капитала, емкость технологических процессов, логистические процессы [9, 10].

Кроме этого, специфика реализации инвестиционно-строительных проектов для горнодобывающих предприятий предопределяет динамику величины на каждом этапе жизненного цикла проекта (рис. 1) [11].

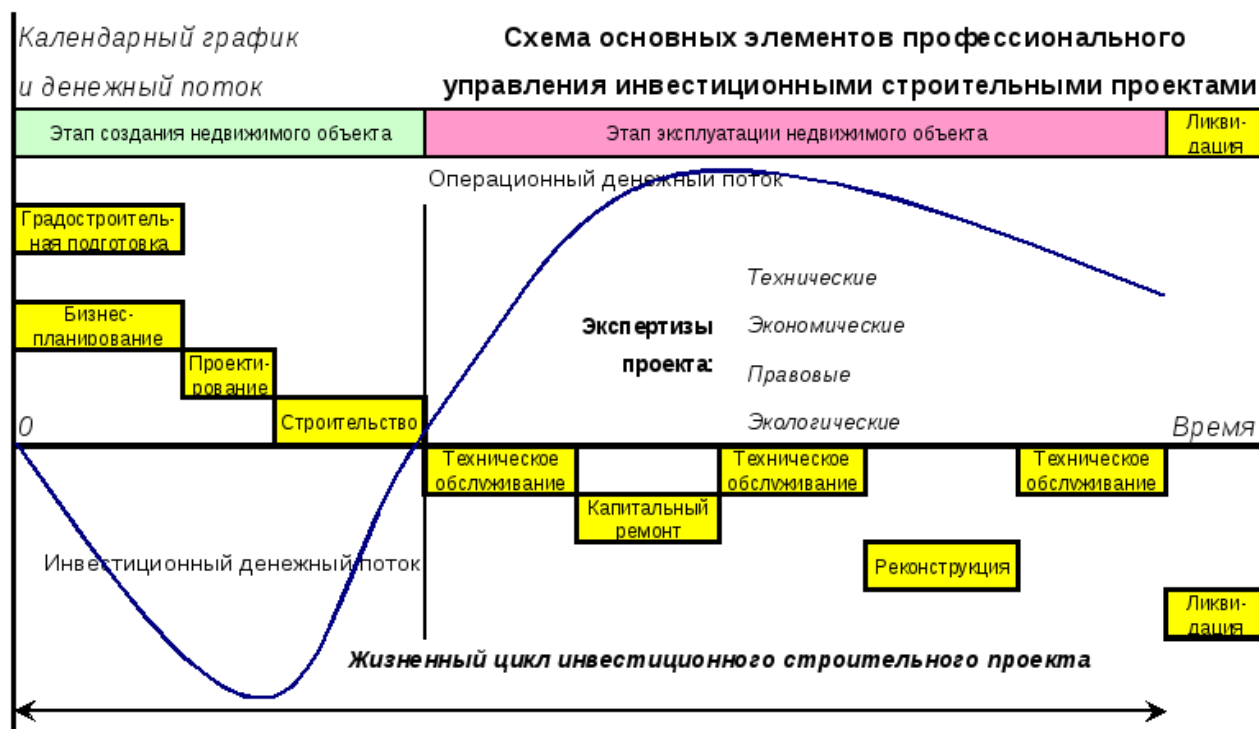


Рис. 1. Величина затрат на разных фазах жизненного цикла инвестиционного проекта
Fig. 1. The amount of costs at different phases of the life cycle of an investment project

Однако это вносит дополнительные риски в рассматриваемый график выполнения производственной программы и, соответственно, финансирование.

Следует отметить, что фаза – этап создания объектов горно-обогатительного комплекса в связи с указанными выше факторами довольно продолжительный – до 5–10 лет, хотя это значительно меньше периода эксплуатации – 30–50 лет и более.

На территории Еврейской автономной области находятся крупнейшие в РФ запасы графита, выявлены крупные месторождения угля, железа, марганца, олова, золота, талька, брусита и других (более 20 видов). В сравнении с большинством территорий ДФО преимуществом месторождений полезных ископаемых в ЕАО являются их благоприятные горно-геологические условия и достаточно

развитая транспортная инфраструктура. Но даже в этих условиях создание горно-обогатительных предприятий (ГОК) ведется много лет.

Строительство Кимкано-Сутарского ГОК мощностью 3,2 млн т железорудного концентрата в год велось 10 лет, пуск обогатительной фабрики состоялся в мае 2016 г. На конец 2017 г. инвестор – компания «Петропавловск – Черная Металлургия» (IRC) – вложил в проект развития Кимкано-Сутарского ГОК более 25,6 млрд руб. Для увеличения рентабельности проекта в 2008 г. компания «IRC Ltd.» инициировала строительство 2-километрового железнодорожного моста через р. Амур из с. Нижнеленинское (ЕАО) в городской уезд Тунцзян (КНР), введенного в эксплуатацию в ноябре 2022 г. Общая стоимость моста оценивается в 10 млрд руб.

Другое предприятие – ООО «Кульдурский бруситовый рудник» – начало разработку единственного в стране месторождения уникального минерала брусита еще в 70-х гг. XX в. С пуском в августе 2020 г. новой дробильно-сортировочной фабрики объемы продукции составляют порядка 450 тыс. т/год.

В Октябрьском районе реализуется крупный инвестиционный проект по разработке Тополихинского участка месторождения «Союзное» и строительству ГОК с мощностью производства до 40 тыс. т графитового концентрата в год. Выход на проектную мощность планируется в 2025 г.

Освоение разведанных на территории ЕАО месторождений твердых полезных ископаемых потребует в перспективе разработки и реализации крупных инвестиционно-строительных проектов.

В этой связи крайне актуально проанализировать опыт и практику управления по жизненному циклу инвестиционно-строительными проектами горнодобывающих предприятий с учетом их особенностей и факторов рисков как объектов инвестирования [12].

Графитовое месторождение «Союзное» расположено на территории Октябрьского муниципального района Еврейской автономной области на левом берегу р. Амур, в 40 км выше с. Амурзет – районного центра. Ближайший населенный пункт – с. Союзное – находится в 10 км к юго-востоку от месторождения.

Планируется строительство горно-обогатительного комбината «Дальграфит» на базе Тополихинского участка месторождения «Союзное» с переработкой 348 тыс. т/год графитосодержащей руды со средним содержанием графита 16–18%².



Рис. 2. Карьер «Тополихинский»
Fig. 2. Quarry "Topolikhinsky"

По данным компании ООО «Дальграфит», запасы графита месторождения «Союзное» составляют 120,4 млн т графитовой руды (среднее содержание графита 12,56%) или 15,12 млн т графита.

Лицензией (БИР 00433 ТР) на право пользования недрами Союзного месторождения владеет компания ООО «Дальграфит», являющаяся дочерним предприятием ОАО «Группа «Магнезит». 4 км² составляет площадь лицензионного участка³ [13].

Строительство ГОКа «Дальграфит» разде-

лено на 2 этапа:

1-я очередь – карьер по добыче графитовой руды «Тополихинский» мощностью 400 тыс. т руды в год, включающий промплощадку ремонта горнотранспортного оборудования.

2-я очередь – обогатительная фабрика, ТЭС.

Проектная документация 1-й очереди строительства, разработанная ООО «Восток ТОМС-проект», получила положительное заключение ФАУ «Главгосэкспертиза России» (Хабаровский филиал № 032-17ХГЭ-2101/02 от 09.02.2017 г.). Разрешение на строитель-

²Graphite – a World Changing Mineral // Dalgraphite. Режим доступа: <https://dalgraphite.ru/en> (дата обращения: 01.09.2023).

³Магнезит. Продукция и услуги // Группа «Магнезит». Режим доступа: <http://magnezit.ru/ru/> (дата обращения: 10.09.2023).

ство карьера – объекта капитального строительства – Департамента по недропользованию ДФО № 79-02-84-2017 выдано 16.05.2017 г., срок действия – до 16.04.2021 г. Разрешение на ввод в эксплуатацию объектов капитального строительства «Строительство горно-обогатительного комбината «Дальграфит».

1-я очередь. Карьер по добыче графитовой руды «Тополихинский». Этап 1 – Министерством РФ по развитию Дальнего Востока и Арктики выдано Свидетельство № 79-RU79504000-328-2022-MBP от 21.06.2022 г.

В состав 2-ой очереди входят:

- площадка обогатительной фабрики флотационного обогащения мощностью 40 тыс. т графитовой продукции в год;
- площадка хвостового хозяйства;
- угольная ТЭС;
- гараж с РММ, общежитие;
- площадка водозабора технической воды;
- площадка насосной станции 2-го подъема;
- складской комплекс на ж/д станции Унгун [18].

Проектная документация 2-ой очереди строительства разработана АО «Иргиредмет», получила положительное заключение ФАУ «Главгосэкспертиза России» (Хабаровский филиал) № 032-17ХГЭ-2101/02 от 08.11.2019. Разрешение на строительство объекта капитального строительства выдано Департаментом по недропользованию ДФО за № 79-02-84-2017 от 16.05.2017 г., срок действия – до 2024 г. На фабрике компания предполагает производить рядовые и высокотехнологичные (высокочистый, сферический) виды графита.

Общий бюджет проекта составляет 8 млрд руб., в том числе 5,45 млрд руб. – заем «Газпромбанка» (МОЕХ: GZPR), который будет направлен на строительство ГОК, карьера и сопутствующей инфраструктуры. На конец 2022 г. в проект вложено 3,9 млрд руб. Производство кристаллического графита на единственном действующем предприятии ОАО «Уралграфит» способно удовлетворить потребности основных отраслей промышленности не более чем на 30%. Дефицит графита восполняется за счет импорта сырья из-за границы. В ближайшие годы доля России на международном рынке графита должна увеличиться за счет реализации двух инвестиционных проектов: «Дальграфит» и «Уралграфит», что

позволит полностью заместить импорт графита в Россию: 50% продукции будет поставляться на внутренний рынок и 50% – в страны АТР.

По данным компании прогнозные ресурсы Тополихинского участка составляют более 15 млн т графита. Добыча и переработка сырья рассчитаны на 60 лет. Социально-экономическая эффективность от освоения месторождения достигается посредством создания новых рабочих мест и функционирования социально-экономической инфраструктуры, повышающих жизненный уровень населения региона. Проектная численность персонала по предприятию составляет 223 чел. Проект организации производства кристаллического графита на базе месторождения «Союзное» имеет статус регионального инвестиционного проекта и входит в ТОП «Амура-Хинганская». Статус регионального инвестиционного проекта и резидента ТОП дает компании ООО «Дальграфит» существенные преференции по налогам и таможенным пошлинам. Согласно инвестиционному паспорту проекта срок окупаемости оценивается в 4 г.

Бюджетная эффективность проекта от поступления основных налогов предварительно оценивается в 100 267 тыс. руб. в год, а за весь срок освоения «Тополихинского» участка оценивается в 3 275 714 тыс. руб. в виде налоговых поступлений в бюджеты различных уровней⁴ [14]. Краткое описание фаз реализации инвестиционного (жизненного) цикла показан в презентационных материалах ООО «Дальграфит» и безусловно носит упрощенный характер (рис. 3 и 4)⁵ [15].

Если в прединвестиционной фазе такие стадии проекта, как геологоразведка, разработка технологий реализовывались в установленные сроки, то задание на разработку проектно-сметной документации для первого этапа инвестиционного проекта - карьера по добычи графитовой руды «Тополихинский» ООО «Дальграфит» выдал ООО «Восток ТОМС проект» в 2014 г. [16–18]. Согласно разрешительным документам строительство объектов 1-ой очереди горно-обогатительного комбината «Дальграфит» было начато 16.05.2017 г., закончено – 21.06.2022 г., что на 3 года дольше нормативного срока, предусмотренного проектом организации строительства [19].

⁴Презентация «Освоения месторождения в 2014 г.» // Дальграфит. Режим доступа: www.dalgraphite.com (дата обращения: 15.08.2023).

⁵ООО «Восток ТОМС-проект», Строительство горно-обогатительного комбината «Дальграфит». 1-ая очередь. Карьер по добыче графитовой руды «Тополихинский». Этап 1. Раздел 1. Пояснительная записка. Т. 1. С. 90.

Старт проекта	Текущая ситуация						Запуск предприятия	
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Геологоразведка								
	Разработка технологий (рядовые марки)			Разработка технологии (высокотехнологичные марки)				
	Разработка ПСД (этап 1)		Разработка ПСД (этап 2)					
		Строительство (этап 1, карьер)		Строительство (этап 2, обогатительная фабрика, ТЭС)				

Рис. 3. Этапы реализации проекта по состоянию на 2015 г.
Fig. 3. Project implementation stages as of 2015

								Текущая ситуация
2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Разработка технологии (высокотехнологичные марки)								
Разработка ПСД (этап 1)				Разработка ПСД (этап 2)				
		Строительство (этап 1, карьер)						
						Строительство (этап 2, Обогатительная фабрика, ТЭС)		

Рис. 4. Этапы реализации проекта по состоянию на 2023 г.
Fig. 4. Project implementation stages as of 2023

За 6 лет строительства объектов инвестиционного проекта «ГОК «Дальграфит» подрядными организациями и хозяйственным способом (вскрыша карьера и автодорога к

карьеру) из 8,0 млрд руб. общего бюджета проекта ООО «Дальграфит» освоило 3 251,8 млн руб. Темпы освоения инвестиций показаны на рис. 5.

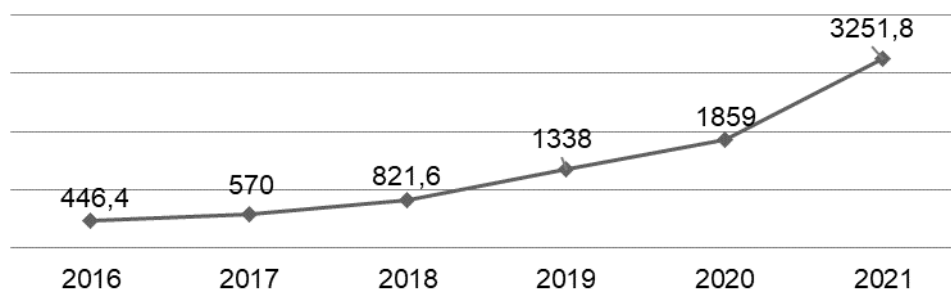


Рис. 5. Освоение инвестиций на строительстве ГОК «Дальграфит»
Fig. 5. Development of investments in the construction of the Dalgrafit mine

Рост объемов освоения инвестиций в 2020 и 2021 г. связан с началом строительства объектов 2-ой очереди проекта, за 2021 г. освоение средств составило 1,4 млрд руб.

Но даже при таких темпах работ, для освоения оставшихся средств – 4,8 млрд руб. потребуется не менее трех лет. По предварительным данным, ввод эксплуатации обогатительной фабрики ТЭС ГОКа возможен не ранее 2024–2025 гг.

Основных причин переноса ранее принятых сроков реализации стадий и этапов инве-

стиционного проекта несколько. По оценкам экономистов Еврейская автономная область относится к регионам с умеренным инвестиционным потенциалом и высокими рисками для инвесторов и тому есть несколько веских причин [20, 21].

Применительно к инвестиционному проекту освоения графитового месторождения «Союзное» необходимо отметить два негативных фактора:

1. Низкое качество дорожной инфраструктуры в регионе. 40% автомобильной дороги,

по которой осуществляется доставка строительных конструкций, изделий, материалов имеет твердое покрытие [22]. При этом необходимо учесть, что во время ежегодных паводков дороги в приамурской полосе затапливает. В весенний период допустимая грузоподъемность автотранспорта существенно снижается.

2. Отсутствие квалифицированной рабочей силы. Этот фактор предопределяет производственную необходимость использовать подрядный способ организации инвестиционно-строительного проекта⁵.

Негативно отразилось на выполнении строительно-монтажных работ введение на период с февраля по декабрь 2020 г. на территории Еврейской автономной области режима самоизоляции, а на территории Октябрьского муниципального района санитарно-эпидемиологического карантина, в рамках мероприятий по предотвращению распространения коронавируса. Выполнение работниками ООО «Дальграфит» и его подрядными организациями установленного карантинного режима фактически привело к остановке работ на объекте.

Для улучшения логистики ООО «Дальграфит» необходимо рассмотреть возможность включения в состав инвестиционного проекта реконструкцию гравийной автодороги от села Амурзет до села Союзное с устройством твердого покрытия протяженностью 50 км.

В целях решения кадровой проблемы необходимо завершить строительство жилого комплекса ГОКа «Дальграфит» в с. Амурзет в составе 3-х многоквартирных домов. Рассмотреть возможность привлечения специалистов (ИТР и рабочих специалистов) от ООО «Группа Магнезит» (г. Сатка, Челябинская область) [19].

На первых стадиях реализации проекта имелись определенные трудности в вопросе его финансирования, которые были решены в июле 2019 г. Газпромбанк и ООО «Дальневосточный графит» подписали договор об открытии кредитной линии для финансирования разработки Тополихинского участка Союзного месторождения графита в Еврейской автономной области

Газпромбанк предоставил кредит в размере 5,45 млрд руб. на условиях проектного финансирования. Кредит будет использован для строительства ГОКа, карьера и сопутствующей инфраструктуры [20, 21].

Риски, связанные с логистикой экспорта продукции ГОКа «Дальграфит», фактически устранены с открытием 16 ноября 2022 г. движения по первому в истории железнодо-

рожному мосту через реку Амур на участке межгосударственной границы в районе населенных пунктов Нижнеленинское Еврейской автономной области РФ и Тунцзян провинции Хэйлунцзян КНР. Пропускная способность моста составит до 21 млн т/год, что позволит создать новый экспортный коридор между Россией и Китаем и странами АТР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нематериальные ресурсы предприятия, возможность цифровой интеллектуальной поддержки принятия эффективных решений позволяют в значительной степени повысить эффективность управления инвестиционно-строительным проектом на всех этапах его жизненного цикла [23]. При этом следует учитывать особенности разработки структуры жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта (ИСП) с учетом целевой направленности проекта, так, например для предприятий горно-обогатительного комплекса. (ГОК). В процессе исследования рассмотрены фазы стадий инвестиционно-строительного проекта (ИСП), увязанные со спецификой горнодобывающей отрасли. Детальная структуризация фаз и стадий жизненного цикла ИСП позволяет более эффективно управлять блок-процессами и разграничить ответственность исполнителей по каждому блок-процессу [24, 25]. Представлена последовательность ключевых организационных событий при реализации ИСП. Приведены процедуры и их последовательность при реализации инвестиционно-строительного проекта ООО «Дальневосточный графит» «Дальграфит»: «Строительство горно-обогатительного комбината «Дальграфит» на базе Тополихинского участка месторождения «Союзное». Обоснована необходимость детальной проработки процедур, стадий жизненного цикла ИСП, выделение в проектах этапов, фаз с целью повышения эффективности управления блок-процессами и разграничения ответственности исполнителя. Представлена последовательность ключевых организационных событий при реализации ИСП. Приведены процедуры и их последовательность при реализации инвестиционно-строительного проекта по освоению графитового месторождения «Союзное» на территории Еврейской автономной области.

Проведен анализ управления компанией ООО «Дальграфит» инвестиционно-строительным проектом: «Строительство горно-обогатительного комбината «Дальграфит» на этапе «строительство». Исследование проблем по задержке сроков строительства позволило выявить основные причины, за-

ключающиеся в отсутствии детального планирования и своевременного привлечения ресурсов, не выполнение заказчиком и подрядчиком в полном объеме своих обязательств, отсутствие квалифицированной рабочей силы, не в полной мере учтено влияние факторов неопределенности и риска.

Предложены и приняты для практического

внедрения рекомендации по использованию имеющегося потенциала нематериальных ресурсов предприятия, в том числе направленные на цифровую интеллектуальную поддержку принятия эффективных решений по управлению инвестиционно-строительным проектом «Дальграфит» на всех этапах его жизненного цикла.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Fernando S., Panuwatwanich K., Thorpe D. Introducing an innovation promotion model for construction projects // *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2021. Vol. 28. No. 3. P. 728–746. <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2020-0145>.
2. Didkovskaya O. V., Guzhova O. A., KHairullin M. F. Development of an algorithm for implementation of operation control automation systems using BIM technologies for a capital construction facility // XXIX R-P-S Seminar 2020: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1015. P. 012075. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1015/1/012075>.
3. Пешков В. В., Алексанин И. А. Разработка организационно-технических решений на этапе капитального ремонта жизненного цикла объекта строительства с использованием возможностей его цифровой модели // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2022. Т. 12. № 2 (41). С. 196–205. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-196-205>. EDN: IFZYVX.
4. Никишичев С. Б., Твердов А. А., Жура А. В. Инвестиции в горнодобывающую промышленность // *Добывающая промышленность*. 2019. № 4. С. 192–195.
5. Кайгородцева Т. Ф. Инвестиционный проект: понятие, классификация, этапы разработки // *G-Global*. 2012. 11 с.
6. Banihashemi S.A., Khalilzadeh M., Shahraki A., Rostami Malkhalifeh M., Ahmadizadeh R. Optimization of environmental impacts of construction projects: A time–cost–quality trade-off approach // *International journal of Environmental Science and Technology*. 2021. No. 18. P. 631–646. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02838-2>.
7. Омельченко И. Н., Бром А. Е., Сидельников И. Д. Критерий эффективности цепей поставок и построение целевой функции в задачах оптимизации материально-технического снабжения для сложной техники // *Организатор производства*. 2017. Т. 25. № 4. С. 83–91. <https://doi.org/10.25065/1810-4894-2017-25-4-83-91>. EDN: YLWVTO.
8. Савина А. Г., Малявкина Л. И., Савин Д. А. Теоретико-методологические основы построения цифровой инфраструктуры управления объектами капитального строительства на базе BIM // *Russian Journal of Economics and Law*. 2023. Т. 17. № 1. С. 90–109. <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2023.1.90-109>. EDN: QYKYOC.
9. Бухвальд Е. М. Национальные проекты в системе стратегического планирования в Российской Федерации // *Теория и практика общественного развития*. 2019. № 2 (132). С. 50–54. <https://doi.org/10.24158/tipor.2019.2.8>. EDN: YWCEQX.
10. Еленева Ю. Я., Андреев В. Н., Цзинь Ю. Разработка подхода к обеспечению эффективности инвестиционных проектов, реализуемых в условиях сетевых структур // *Экономические отношения*. 2019. Т. 9. № 2. С. 1371–1378. <https://doi.org/10.18334/rp.20.5.40651>. EDN: YINPLN.
11. Козлов Р. Н., Пешков А. В. Интеграция бережливого производства и BIM-технологий как основа эффективного проектного управления и организации производственных процессов на этапе строительства // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2023. Т. 13. № 2 (45). С. 271–284. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-271-284>. EDN: TTTKEJ.
12. Еленева Ю. Я., Андреев В. Н., Ли Ч. Разработка подхода к управлению инвестиционными проектами на промышленных предприятиях на основе оценки рисков // *Вопросы инновационной экономики*. 2019. Т. 9. № 2. С. 489–500. <https://doi.org/10.18334/vinec.9.2.40781>. EDN: TWVXUI.
13. Андреев В. Н., Ли Ч., Цзинь Ю. Разработка подхода к управлению комплексными рисками промышленных предприятий // *Экономика и предпринимательство*. 2017. № 10-1 (87). С. 922–927. EDN: ZXYRDR.
14. Клоцвог Ф. Н., Чернова Л. С., Сухотин А. Б. Перспективы изменения региональной структуры инвестиций России // *Проблемы прогнозирования*. 2006. № 5. С. 47–57. EDN: HZKOET.
15. Lapidus A., Topchiy D., Kuzmina T., Bolshakova P. Modelling the Stages of Pre-Project Preparation and Design Development in the Life-Cycle of an Investment and Construction Project // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12. Iss. 23. P. 12401. <https://doi.org/10.3390/app122312401>.
16. Каган П. Б., Рыбакова А. О., Титенко В. И. Работа службы технического заказчика при использова-

нии модульных элементов на протяжении жизненного цикла объектов капитального строительства // Строительное производство. 2022. № 3. С. 34–40. https://doi.org/10.54950/26585340_2022_3_34. EDN: OVQZWA.

17. Леонтьева Л. С., Смирнова В. В. Количественная оценка потенциала нематериальных ресурсов регионов (на примере Южного федерального округа) // Государственное управление. Электронный вестник. 2020. № 79. С. 229–245. <https://doi.org/10.24411/2070-1381-2019-10057>. EDN: TJQUAG.

18. Ланкина С. А., Флегонтов В. И. Классификация и проблемы оценки рисков промышленного предприятия // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 3 (28). С. 48. <https://doi.org/10.15862/90EVN315>. EDN: UMFWRD.

19. Пешков А. В. Интеллектуальная поддержка принятия эффективных решений на этапе строительства: монография. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2023. 218 с.

20. Мирошниченко И. В., Морозова Е. В. Публичная политика как пространство конвертации нематериальных ресурсов в факторы развития территорий // Политическая наука. 2022. № 3. С. 144–163. <https://doi.org/10.31249/poln/2022.03.07>. EDN: TBHZVT.

21. Гаврилов А. И., Коваленко О. В. Современный механизм инвестиционной деятельности в регионах ПФО: монография. Нижний Новгород: Дятловы горы, 2018. 127 с.

22. Смирнова В. В. Теоретические аспекты изучения нематериальных ресурсов региональных хозяйственных комплексов // Инновации и инвестиции. 2022. № 5. С. 245–248. EDN: UWVEIZ.

23. Чугунова О. А., Пророкова Е. А., Прутцова С. В., Дорожкина Е. Г. Анализ и оценка степени экстенсивности и интенсивности использования ресурсного потенциала организации // Экономика и предпринимательство. 2022. № 6 (143). С. 897–899. <https://doi.org/10.34925/EIP.2022.143.6.164>. EDN: EJTSZA.

24. Кричевский М. Л., Мартынова Ю. А. Инструменты искусственного интеллекта при оценке эффективности инвестиционного проекта // Креативная экономика. 2018. Т. 12. № 8. С. 1105–1118. <https://doi.org/10.18334/ce.12.8.39265>. EDN: XVLUXR.

25. Магрупова З. М., Смирнов Д. С. Календарное планирование инвестиционного проекта на основе матричного управления // Экономический анализ: теория и практика. 2009. № 23 (152). С. 20–25.

REFERENCES

1. Fernando S., Panuwatwanich K., Thorpe D. Introducing an innovation promotion model for construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2021;28(3):728-746. <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2020-0145>.

2. Didkovskaya O. V., Guzhova O. A., KHairullin M. F. Development of an algorithm for implementation of operation control automation systems using BIM technologies for a capital construction facility. *XXIX R-P-S Seminar 2020: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1015:012075. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1015/1/012075>.

3. Peshkov V. V., Aleksanin I. A. Management and engineering solutions at the overhaul stage in the life cycle of constructing facilities using their digital models. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(2):196-205. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-196-205>. EDN: IFZYVX.

4. Nikishichev S. B., Tverdov A. A., Zhura A. V. Investments in the mining industry. *Dobывayushchaya promyshlennost'*. 2019;4:192-195. (In Russ.).

5. Kaigorodtseva T. F. Investment project: concept, classification, stages of development. *G-Global*. 2012;11. (In Russ.).

6. Banihashemi S. A., Khalilzadeh M., Shahraki A., Rostami Malkhalifeh M., Ahmadizadeh R. Optimization of environmental impacts of construction projects: A time–cost–quality trade-off approach. *International journal of Environmental Science and Technology*. 2021;18:631-646. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02838-2>.

7. Omelchenko I. N., Brom A. E., Sidelnikov I. D. The criterion of supply chain efficiency and plotting the target function in tasks of logistics optimization for complex equipment. *Organizator proizvodstva = Organizer of production*. 2017;25(4):83-91. (In Russ.). <https://doi.org/10.25065/1810-4894-2017-25-4-83-91>. EDN: YLWVTO.

8. Savina A. G., Malyavkina L. I., Savin D. A. Theoretical and methodological bases of building a digital infrastructure of BIM-based management of capital construction projects. *Russian Journal of Economics and Law*. 2023;17(1):90-109. (In Russ.). <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2023.1.90-109>. EDN: QYKYOC.

9. Bukhvald E. M. National projects in the strategic planning system in the Russian Federation. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya = Theory and practice of social development*. 2019;2:50-54. (In Russ.). <https://doi.org/10.24158/tpor.2019.2.8>. EDN: YWCEQX.

10. Eleneva Yu. Ya., Andreev V. N., Jin Yujiao. Development of an approach to ensuring the effectiveness of investment projects implemented in the conditions of network structures. *Ekonomicheskie otnosheniya = Journal of international economic affairs*. 2019;2:1371-1378. (In Russ.).

<https://doi.org/10.18334/rp.20.5.40651>.

11. Kozlov R. N., Peshkov A. V. Integration of lean manufacturing and BIM technologies as the basis for effective project management and organization of production processes at the construction stage. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):271-284. (In Russ.). <https://elibrary.ru/tttkej>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-271-284>. EDN: TTTKEJ.
12. Eleneva Yu. Ya., Andreev V. N., Li Zh. Development of an approach to managing investment projects at industrial enterprises based on risk assessment. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki = Russian journal of innovation economics*. 2019;9(2):489-500. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/vinec.9.2.40781>. EDN: TTTKEJ.
13. Andreev V. N., Li Zh., Jin Yu. Development a management approach to the complex risk of industrial enterprises. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and entrepreneurship*. 2017;10-1:922-927. (In Russ.). EDN: ZXYRDR.
14. Klotsov F. N., Chernova L. S., Sukhotin A. B. Prospects for changing the regional structure of investments in Russia. *Problemy prognozirovaniya*. 2006;5:47-57. EDN: HZKOET.
15. Lapidus A., Topchiy D., Kuzmina T., Bolshakova P. Modelling the Stages of Pre-Project Preparation and Design Development in the Life-Cycle of an Investment and Construction Project. *Applied Sciences*. 2022;12(23):12401. <https://doi.org/10.3390/app122312401>.
16. Kagan P. B., Rybakova A. O., Titenko V. I. The work of the technical customer service when using modular elements throughout the life cycle of capital construction projects. *Stroitel'noe proizvodstvo = Construction production*. 2022;3:34-40. (In Russ.). https://doi.org/10.54950/26585340_2022_3_34. EDN: OVQZWA.
17. Leontyeva L. S., Smirnova V. V. Quantitative assessment of the potential of intangible resources of regions (on the example of the Southern Federal District). *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyi vestnik = E-journal public administration*. 2020;79:229-245. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2070-1381-2019-10057>. EDN: TJQUAG.
18. Lankina S. A., Flegontov V. I. Classification and problems of assessing the risks of an industrial enterprise. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2015;7(3):48. (In Russ.). <https://doi.org/10.15862/90EVN315>. EDN: UMFWRD.
19. Peshkov A. V. Intellectual support for effective decision-making at the construction stage. Irkutsk: Irkutsk national research technical university; 2023. 218 p. (In Russ.).
20. Miroshnichenko I. V., Morozova E. V. Public policy as a space for converting intangible resources into factors of territorial development. *Politicheskaya nauka = Political science*. 2022;3:144-163. (In Russ.). <https://doi.org/10.31249/poln/2022.03.07>. EDN: TBHZVT.
21. Gavrilov A. I., Kovalenko O. V. The modern mechanism of investment activity in the regions of the Volga Federal District. Nizhny Novgorod: Dyatlovy Gory; 2018. 127 p. (In Russ.).
22. Smirnova V. V. Theoretical aspects of studying intangible resources of regional economic complexes. *Innovatsii i investitsii = Innovation and investment*. 2022;5:245-248. (In Russ.). EDN: UWVEIZ.
23. Chugunova O. A., Prorokova E. A., Prutskova S. V., Dorozhkina E. G. Analysis and assessment of the extent and intensity of the use of the resource potential of the organization. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and entrepreneurship*. 2022;6:897-899. (In Russ.). <https://doi.org/10.34925/EIP.2022.143.6.164>. EDN: EJTSZA.
24. Krichevskiy M. L., Martynova Yu. A. Instruments of artificial intelligence in assessment of effectiveness of investment project. *Kreativnaya ekonomika = Creative Economy*. 2018;12(8):1105-1118. <https://doi.org/10.18334/ce.12.8.39265>. EDN: XVLUXR.
25. Magrupova Z. M., Smirnov D. S. Scheduling of an investment project based on matrix management. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic analysis: theory and practice*. 2009;23:20-25. (In Russ.). EDN: KUDAEN.

Информация об авторах

Матвеева Мария Витальевна,

д.э.н., профессор,
профессор кафедры экспертизы и управления
недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: expertiza@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-9390-5444>
Author ID: 505831

Information about the authors

Maria V. Matveeva,

Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Professor of the Department of Expertise
and Real Estate Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: expertiza@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-9390-5444>
Author ID: 505831

Пешков Артем Витальевич,

к.э.н., доцент кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: ctroitel@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-5027-5120>
Author ID: 670943

Воронин Евгений Викторович,

руководитель проекта,
ООО «Спецкомплекс»,
679002, г. Биробиджан, ул. Биршоссе, 2 км,
23б, Россия,
e-mail: vev2888@mail.ru

Ларина Ольга Петровна,

к.т.н., доцент,
доцент кафедры экспертизы
и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: expertiza@istu.edu
Author ID: 689139

Artem V. Peshkov,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Department of Construction Production,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: ctroitel@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-5027-5120>
Author ID: 670943

Evgeniy V. Voronin,

Project Manager, LLC "Spetskompleks",
679002, Jewish Autonomous Region,
2 km 23b, St. Birshosse, Birobidzhan,
Russia,
e-mail: vev2888@mail.ru

Olga P. Larina,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Real
Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: expertiza@istu.edu
Author ID: 689139

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 25.08.2023.
Одобрена после рецензирования 18.09.2023.
Принята к публикации 20.09.2023.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 25.08.2023.
Approved after reviewing 18.09.2023.
Accepted for publication 20.09.2023.



Сравнение несущей способности и выгиба центрально сжатых стоек в пенобетонной обойме

А.И. Савенков¹, А.О. Бессонова^{2✉}, П.А. Шустов³

^{1,2}Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Россия

³Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В работе исследованы конструкции, выполненные из стальных элементов, конструктивно совмещенных с монолитным неавтоклавным пенобетоном, используемым в качестве заполнения наружного ограждения зданий. Произведено сравнение несущей способности центрально сжатых стоек в свободном и стесненном нагружениях. Целью данной работы является выявление особенностей работы центрально нагруженных металлических стоек, находящихся в пенобетонном массиве. Нагружение стоек производилось на вертикальных испытательных стендах. При этом продольные деформации снимались с помощью тензомоста ТК-50М. Поперечные перемещения (выгиб) снимались при помощи индикатора часового типа. Сравнительные теоретические расчеты несущей способности сжатых стоек проводились согласно СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». В результате экспериментов по статическому центральному сжатию стоек открытого сечения определено повышение устойчивости стесненных стоек и показано соотношение продольных выгибов стоек в свободном и стесненном состоянии. При этом выявлено, что размеры обоймы влияют на величину и характер продольного изгиба. Таким образом, стало возможным обеспечить экономию металла за счет уменьшения сечения стоек при их несущей способности, аналогичной таковой у свободных стоек. Показано, что чем больше соотношение площади обхватывающей пенобетонной обоймы к площади сечения сжатой стойки, тем больше проявляется экономия металла.

Ключевые слова: пенобетон, центрально сжатые стойки, устойчивость, несущая способность, стальные элементы

Для цитирования: Савенков А.И., Бессонова А.О., Шустов П.А. Сравнение несущей способности и выгиба центрально сжатых стоек в пенобетонной обойме // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 666–676. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-666-676>. EDN: QLRLCF.

Original article

Comparison of bearing capacity and hogging of axially loaded columns in a foam concrete casing

Andrey I. Savenkov¹, Alena O. Bessonova^{2✉}, Pavel A. Shustov³

^{1,2}Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

³Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. This work identifies the operation characteristics of axially loaded metal columns located within a foam concrete casing. The structures based on steel elements structurally combined with monolithic non-autoclaved foam concrete, used as filling for cladding, were investigated. The load-bearing capacity of axially loaded columns in free and constrained loads were compared. The columns were loaded using vertical test benches, and longitudinal deformations were recorded using a TK-50M strain gauge. Transverse movements (hogging) were measured using a dial gauge. Comparative theoretical calculations for the bearing capacity of loaded columns were carried out in accordance with the building rules and regulations SP 16.13330.2017 "Steel structures". In experiments involving static axial loading of open-section columns, an increase in the stability of constrained columns was determined, and the

© Савенков А.И., Бессонова А.О., Шустов П.А., 2023

ratio of longitudinal hogging of columns in a free and constrained state was shown. In addition, it was revealed that the size of the casing influences the magnitude and nature of the longitudinal bending. Therefore, it became possible to save metal by reducing the cross-section of the columns, while maintaining a bearing capacity similar to that of the free columns. The study demonstrated that as the ratio of the area of the surrounding foam concrete casing to the cross-sectional area of the loaded column increases, metal savings are correspondingly higher.

Keywords: foam concrete, centrally compressed struts, stability, load-bearing capacity, steel elements

For citation: Savenkov A.I., Bessonova A.O., Shustov P.A. Comparison of bearing capacity and hogging of axially loaded columns in a foam concrete casing. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4): 666-676. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-666-676>. EDN: QLRLCF.

ВВЕДЕНИЕ

При строительстве или реконструкции здания большое значение на выбор конструктивного решения имеют экологические, технические и экономические аспекты.

В сейсмических районах широкое применение находят здания, несущие конструкции которых выполнены из стальных элементов [1], конструктивно совмещенных с монолитным неавтоклавным пенобетоном, используемым в качестве заполнения наружного ограждения и междуэтажного утеплителя [2–4]. В этом случае стойки каркаса находятся внутри пенобетонного массива, и этим обеспечивается их повышенная огнестойкость и защита от коррозии [5–9]. Имеется предположение, что сжатые металлические элементы при этом приобретают повышенную устойчивость, в этом случае стальные колонны, размещенные в углах каркаса, в большей степени способствуют общей устойчивости конструкции [10–12].

В практике проектирования скрытых металлических каркасов сжатые металлические элементы, помещенные в пенобетонную среду, рассчитываются как свободные и их стесненность не учитывается. Причина заключается в том, что на данный момент недостаточно изучено влияние на величину несущей способности той пенобетонной среды, в которой ра-

ботают металлические стойки и балки перекрытий, и это не отражено в нормативных документах.

Целью данной работы является выявление особенностей работы центрально нагруженных металлических стоек, находящихся в пенобетонном массиве. В качестве материала обоймы использован пенобетон марки по плотности D600, который применяется для эффективных ограждающих конструкций. Это вносит значительный вклад в ресурсосбережение, энергосбережение, рациональность и безопасность строительства. Прочность этого материала является фактором, влияющим на несущую способность стоек [13–16].

Первоначально были проведены эксперименты, в которых была определена несущая способность стоек открытого профиля из сдвоенных уголков (рис. 1), находящихся в пенобетонной обойме, с поперечной площадью, многократно превосходящей сечение металлического элемента [17].

Показано, что при большом соотношении площадей обоймы и стойки влияние пенобетона, обхватывающего стойку, столь велико, что в данном случае можно сжатую стойку рассчитывать [18, 19] по условию прочности, без учета коэффициента продольного изгиба «φ», принимая его за единицу.

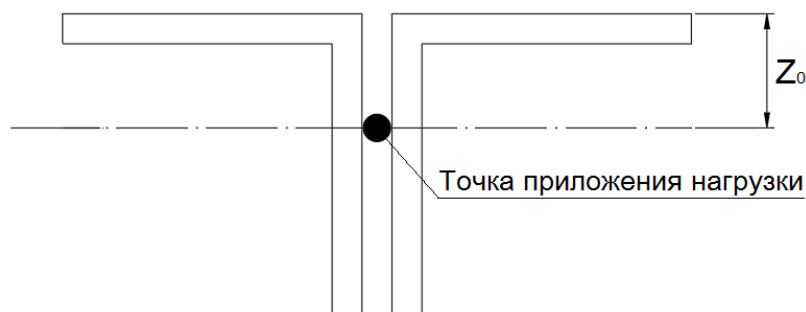


Рис. 1. Сечения испытываемых стоек
Fig. 1. Cross sections of the test racks

Такой эффект отчасти является аналогичным действию влияния заполнения бетоном металлического элемента замкнутого сечения [20, 21], только бетон в данном случае находится снаружи стойки открытого профиля. На следующем этапе была поставлена задача – уточнить степень влияния обоймы на несущую способность стесненной стойки при уменьшенной обойме (16х16 см) по сравнению с первоначальной (29х29 см). Сечение элементов стойки [22] тоже увеличено, оно составлено из уголков 50х5 (рис. 1). В этом случае отношение площадей стойки и обоймы составит

$$\frac{A_{c1}}{A_{об}} = \frac{3,72}{841} = 0,0044,$$

где A_{c1} – сечение стойки С1; A_{c2} – сечение стойки С2; $A_{об}$ – сечение обоймы стоек С1 и С2.

В этом случае соотношение площадей сечений составит

$$\frac{A_{c2}}{A_{об}} = \frac{9,6}{256} = 0,0375,$$

что значительно больше первоначального.

МЕТОДЫ

В обоих экспериментах нагружение стоек производилось на вертикальных испытательных стендах (рис. 2).

При этом продольные деформации снимались с помощью тензометрического моста ТК-50М. Поперечные перемещения (выгиб) снимались при помощи установленного на штативе индикатора часового типа с ножкой-удлинителем.

Теоретические расчеты несущей способности сжатой стойки проводились согласно СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»¹ (таблица).

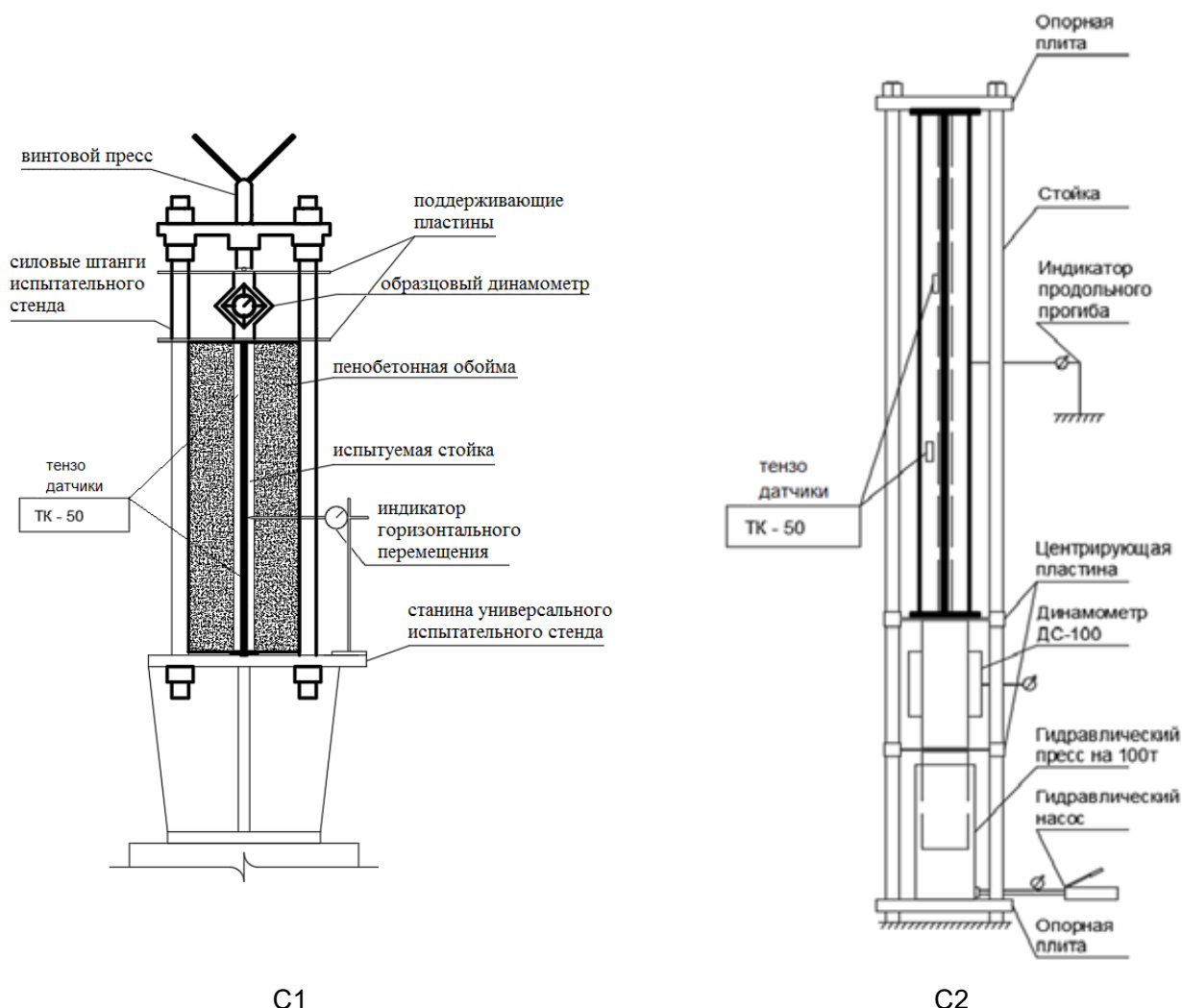


Рис. 2. Схемы стендов для испытания стоек
Fig. 2. Schemes of stands for testing racks

¹СП 16.13330.2017 Стальные конструкции // Кодекс. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456069588> (дата обращения: 20.09.2023).

Теоретические расчеты несущей способности сжатой стойки
Theoretical calculations of the bearing capacity of a compressed rack

Параметр	Центрально сжатая стойка С1	Центрально сжатая стойка С2
Площадь сечения	$A = 1,86 * 2 = 3,72 \text{ см}^2$	$A = 4,8 * 2 = 9,6 \text{ см}^2$
Радиус инерции	$i_x = 0,74 \text{ см}$	$i_x = 1,53 \text{ см}$
Расчетное сопротивление	$R_y = 24,5 \text{ кН/см}^2$	$R_y = 25,5 \text{ кН/см}^2$
Условная гибкость $\bar{\lambda} = \frac{\mu l}{i} \sqrt{R_y/E}$	$\bar{\lambda} = \frac{81}{0,74} \sqrt{24,5/20600} = 3,77$	$\bar{\lambda} = \frac{120}{1,53} \sqrt{25,5/20600} = 2,8$
Коэффициент устойчивости	$\varphi = 0,43$	$\varphi = 0,598$
Несущая способность по условию устойчивости $N = R_y A \varphi$	$N = 3,72 * 24,5 * 0,43 = 39,19 \text{ кН}$	$N = 9,6 * 25,5 * 0,598 = 146,4 \text{ кН}$
Несущая способность по условию прочности $N = R_y A$	$N = 3,72 * 24,5 = 91,14 \text{ кН}$	$N = 9,6 * 25,5 = 245 \text{ кН}$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Стойка С1 L – 81 см, обойма – 29 см.

Признаком потери устойчивости стоек является резкое увеличение величины продольного выгиба. На рис. 3 видно, что выгиб стойки С1 стал проявляться при 20 кН нагрузки, а при 40 кН поперечные деформации перешли в упруго-пластическую стадию. В пенобетонной обойме та же стойка показала значительно меньшие прогибы (рис. 5), отношение прогибов в точке теоретической потери устойчивости для стойки С1 составило

$$\frac{f_{св}}{f_{об}} = 46,$$

где $f_{св}$ – выгиб свободной стойки С1; $f_{об}$ – выгиб стойки С1 в обойме. При этом выгиб $f_{об}$

остался минимальным и при увеличении нагрузки проявлялся линейно.

При ступенчатом нагружении прямолинейного стержня, с ростом нагрузки прямолинейная форма и минимум продольного прогиба наблюдался до усилия, соответствующего несущей способности стойки [23]. При достижении этой нагрузки первоначально прямолинейный стержень нелинейно искривляется. Происходит бифуркация форм равновесия, причем прямолинейная форма равновесия будет неустойчивой, а искривленная – устойчивой. Резкое нелинейное нарастание искривления сжатого стержня при достижении нагрузки определенного значения соответствует потере устойчивости [24–29].

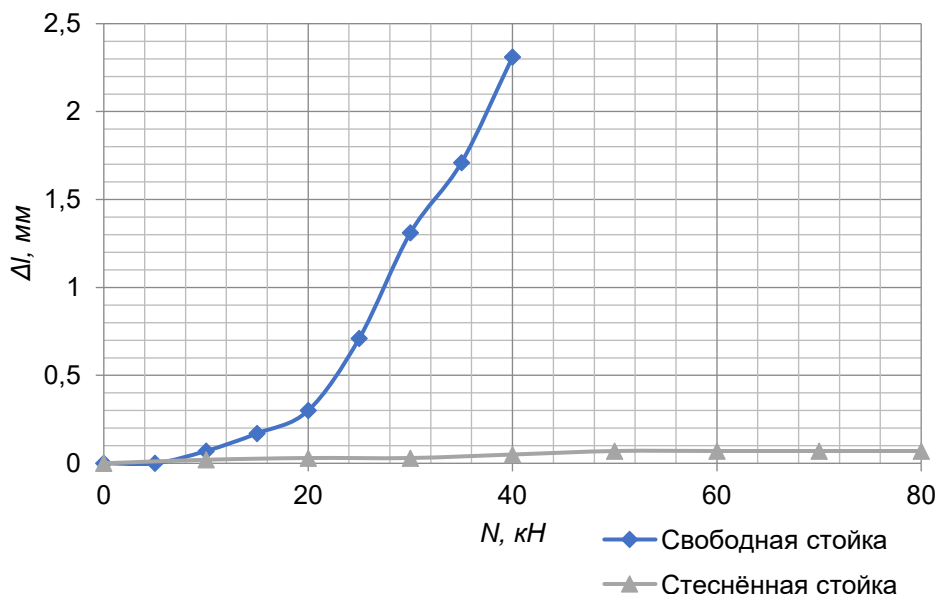


Рис. 3. Выгибы стойки С1 от продольной силы, снятые в центральной точке ее длины, в свободном и стесненном состоянии

Fig. 3. The bends of the rack C1 from the longitudinal force, removed at the central point of its length, in a free and constrained state

Стойка C2L = 1200 мм, обойма = 16 см.

Свободная стойка C2 при нагружении продольной силой потеряла устойчивость при продольной нагрузке 150 кН, что соответствует расчетному значению.

Продольный изгиб стойки в обойме на 28% меньше, в точке потери устойчивости свободной стойки (рис. 4). Стойка в обойме проявила признаки потери устойчивости при 250 кН, это значит, что стойка C2 показала несущую способность такой величины, которая соответствует граничному условию прочности,

но ее выгиб больше, чем у стойки C1.

На рис. 5 показано, что при отношении выгибов стоек в диапазоне теоретической их несущей способности для стойки C1, имеющей малые соотношения $\frac{A_{c1}}{A_{об}}$, влияние величины размеров обоймы очень велико. Для стойки C2 с меньшим соотношением $\frac{A_{c2}}{A_{об}}$ площадей стойки и обоймы, соотношение выгибов свободной и стесненной стоек гораздо меньше, чем у C1.

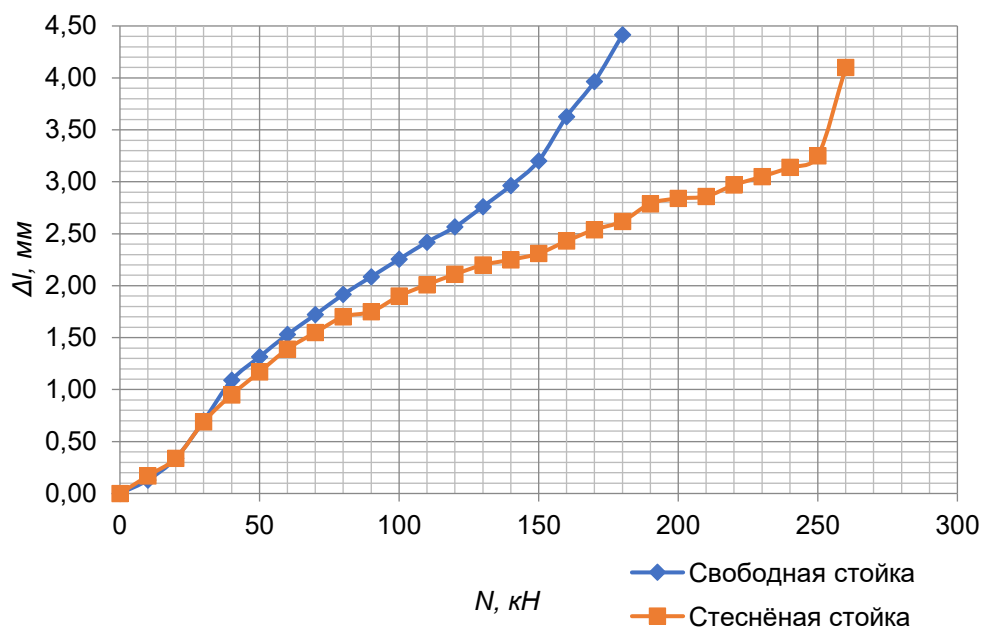


Рис. 4. Выгибы стойки C2 от продольной силы
Fig. 4. Bends of the rack C2 from the longitudinal force

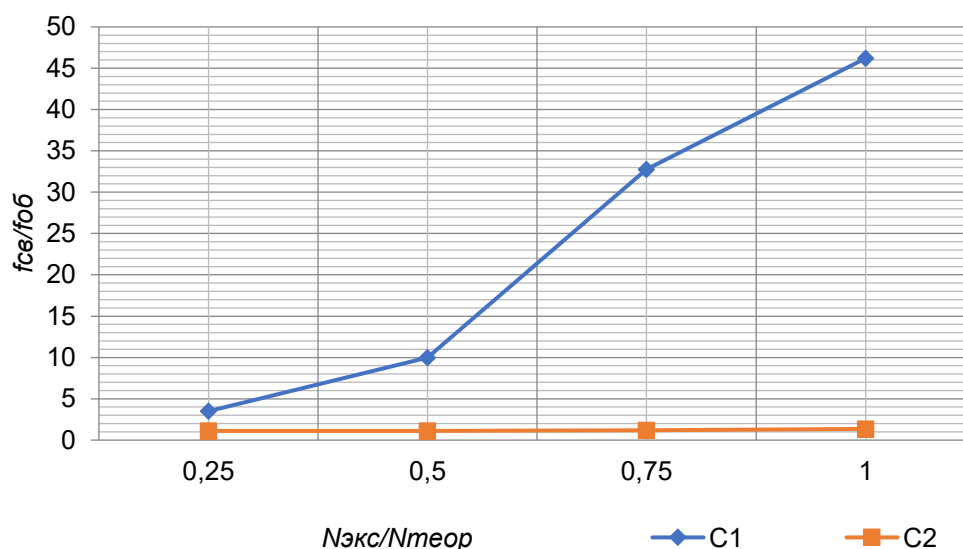


Рис. 5. Соотношение продольных выгибов (поперечных перемещений точек в центральной части) свободных стоек к выгибам стоек в обойме
Fig. 5. The ratio of longitudinal bends (transverse movements of points in the central part) of free racks to the bends of the racks in the cage

Несущая способность стоек зависит от величины размеров охватывающей обоймы (рис. 6).

Для стойки С1 прирост несущей способности в обойме составил 132% от свободной. Для стойки С2 прирост несущей способности

составил 67%.

При уменьшении размеров пенобетонной обоймы снижается ее влияние на величину продольного изгиба и несущей способности. Отсюда можно вычислить минимальные ее размеры.

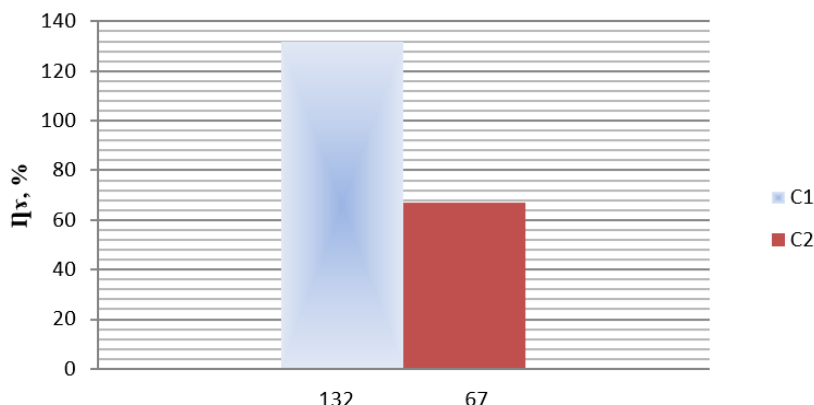


Рис. 6. Прирост несущей способности стоек в пенобетонных обоймах по отношению к несущей способности свободных стоек

Fig. 6. The increase in the load-bearing capacity of racks in foam concrete clips in relation to the load-bearing capacity of free racks

Расчет минимального значения размеров обоймы для стойки С2 открытого сечения.

$$A_{c1} = 9,6 \text{ см}^2;$$

$$\text{площадь обоймы: } A_{об} = \frac{9,6}{0,112} = 85,73 \text{ см}^2;$$

$$\text{размеры стороны: } a = \sqrt{85,73} = 9,3 \text{ см.}$$

Минимальное значение размеров обоймы для стойки открытого сечения С2 = 9,3 см. Это означает, что при ее стороне менее 9 см, влияние на выгиб и устойчивость становятся незначительны. Экономия металла можно вывести из равенства несущих способностей стесненной стойки, имеющей некоторый резерв по нагрузке благодаря обойме, и свободной стойки большего сечения, имеющей аналогичную величину несущей способности.

Уравнение равенства несущих способностей:

$$N = A_1 R_y = A_2 R_y \varphi,$$

где A_1 – сечение стойки в обойме, A_2 – сечение свободной стойки большей площади равно устойчивой данной.

Отсюда соотношение площадей сечения:

$$A_1 = A_2 \varphi, A_2 = \frac{A_1}{\varphi}.$$

$$\text{Для С1 } \varphi = 0,43, A = 3,72 \text{ см}^2,$$

$$A_{эк} = A \varphi = 3,72 \cdot 0,43 = 1,6 \text{ см}^2.$$

Экономия металла для С1 составила

$$\frac{3,72 - 1,6}{3,72} \cdot 100\% = 57\%.$$

$$\text{Для С2 } \varphi = 0,598, A = 9,6 \text{ см}^2;$$

$$A_{эк} = A \varphi = 9,6 \cdot 0,598 = 5,74 \text{ см}^2.$$

Экономия металла для С2 составила:

$$\frac{9,6 - 5,74}{9,6} \cdot 100\% = 40,2\%.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате экспериментов по статическому центральному сжатию стоек открытого сечения определено, что стойки в обоймах показали повышение несущей способности. При этом выявлено, что размеры обоймы влияют на величину и характер продольного изгиба. Тем самым стало возможным обеспечить экономию металла за счет уменьшения сечения стоек при их несущей способности, аналогичной таковой у свободных стоек. Показано, что чем больше соотношение площади обхватывающей пенобетонной обоймы к площади сечения сжатой стойки, тем больше экономия металла.

Предложены пути совершенствования расчетов центрально сжатых стержней на основании анализа испытаний в соответствии с исследованием [30]. Можно утверждать, что повышенная устойчивость элементов каркаса, обеспеченная наличием пенобетонного обхвата, служит основанием проектировать здания с таким техническим решением. Данная строительная система с совмещением преимуществ несущих и ограждающих конструкций может получить широкое распространение.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Suzuki Yu., Lignos Dimitrios G. Development of collapse-consistent loading protocols for experimental testing of steel columns // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2019. Vol. 49. Iss. 2. P. 114–131. <https://doi.org/10.1002/eqe.3225>.
2. Yogesh Tambe, Pravin Nemade. Physical and mechanical properties of foamed concrete, a literature review // *Songklanakarin journal of science and technology*. 2022. Vol. 44. Iss. 4. P. 936–944. <https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2022.125>.
3. Yonggui Chen, Leilei Guan, Shen-Yi Zhu, Wei-Jia Chen. Foamed concrete containing fly ash: Properties and application to backfilling // *Construction and building materials*. 2020. Vol. 273. P. 121685. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121685>.
4. Kozłowski M., Kadela M. Mechanical characterization of lightweight foamed concrete // *Advances in materials science and engineering*. 2018. Vol. 2018. P. 6801258. <https://doi.org/10.1155/2018/6801258>.
5. Hui Jin, Qing Chun. Research on fire-resistance capacities of steel columns with partial-damaged fire protection coating // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2020. Vol. 24. P. 1893–1902. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-1795-2>.
6. Савенков А.И., Заенец Е.О., Кетнер А.В. Устойчивость элементов металлического каркаса при работе в стесненных условиях // *Современные технологии и научно-технический прогресс*. 2021. № 8. С. 199–200. EDN: KNRTFY.
7. Савенков А.И., Заенец Е.О., Кетнер А.В. Деформации внецентренно-сжатой стойки в пенобетонной обойме // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2021. Т. 1. № 18. С. 130–133. EDN: FZWWHA.
8. Артемьев Е.А. Несущая способность центрально сжатых коррозионно-поврежденных в результате огневого воздействия железобетонных элементов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 6. С. 35–39. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.06.35-39>. EDN: ZZJHBJ.
9. Бузало Н.А., Гонтаренко И.В., Черныховский Б.А. Снижение силового сопротивления стальных колонн производственных зданий, получивших коррозионные повреждения при эксплуатации // *Строительство и архитектура*. 2020. Т. 8. № 4. С. 9–13. <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2020-8-4-9-13>. EDN: YACKOL.
10. Li J., Wang X., Li Ch., Lu W. Bearing Capacity of Light-Steel Compound Section and Steel Columns under Axial Compression // *Advances in Civil Engineering*. 2022. Vol. 2022. P. 8061015. <https://doi.org/10.1155/2022/8061015>.
11. Sonnenschein R., Gajdosova K., Gramblička Š. Comparison of composite, steel and reinforced concrete columns // *5th World multidisciplinary civil engineering-architecture-urban planning symposium – WMCAUS IOP Conference series materials science and engineering (Prague, 15–19 June 2020)*. 2020. Vol. 960. P. 032093. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/960/3/032093>.
12. Sourabh Dhiman, Nirbhay Thakur, Nitish Kumar Sharma. A Review on behaviour of columns of steel framed structure with various steel sections // *International journal of engineering and technology*. 2019. Vol. 06. Iss. 03. P. 587–590.
13. Савенков А.И., Шустов П.А., Горбач П.С., Плосконосова А.О. Оценка прочности пенобетона при осевом одноосном сжатии // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2020. Т. 10. № 1 (32). С. 100–107. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-1-100-107>. EDN: KYMNTY.
14. Савенков А.И., Плосконосова А.О. Расчет выгиба и несущей способности внецентренно сжатых стоек замкнутого сечения // *Вестник Ангарского государственного технического университета*. 2022. № 16. С. 150–153. EDN: PYODFV.
15. Умнова О.В., Туев Д.С. Метод прямого определения несущей способности стальных тонкостенных холодногнутых профилей на примере расчета центрально сжатой стойки // *Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: материалы 6-ой Междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 40-летию Института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета (г. Тамбов, 22–25 мая 2019 г.)*. Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2019. С. 389–395. EDN: YHGDQZ.
16. Бузало Н.А., Гонтаренко И.В., Черныховский Б.А., Чепизубов И.Г. Влияние механических повреждений на несущую способность стальных колонн производственных зданий // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2020. № 6 (1030). С. 46–50. EDN: VOTIDQ.
17. Савенков А.И., Заенец Е.О., Кетнер А.В. Скрытый каркас из легких стальных тонкостенных конструкций в монолитном пенобетоне // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2022. Т. 1. № 18. С. 134–137. EDN: UZHRXT.
18. Кертбиев А.А., Шугушев М.М. Расчёт рационального сечения сжатой стойки при продольном изгибе // *Перспектива-2022: материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и*

- молодых ученых (г. Нальчик, 22–30 апреля 2022 г.). Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, 2022. Т. 4. С. 174–177. EDN: CHEWUD.
19. Бакушев С.В., Лощинин Н.А. Расчёт внецентренно сжатой стойки на поперечную нагрузку // Моделирование и механика конструкций. 2023. № 17. С. 53–61. EDN: IKCIEK.
20. Sangeetha P., Ashwin Muthuraman R.M., Dachina G., Dhivya M., Janani S., Sai Madumathi. Behaviour of concrete filled steel tubes // Journal of Informatics and Mathematical Sciences. 2018. Vol. 10. No. 1-2. P. 297–304. <https://doi.org/10.26713/jims.v10i1-2.1056>.
21. Li P., Zhang T., Wang Ch. Behavior of concrete-filled steel tube columns subjected to axial compression // Advances in Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 2018. P. 4059675. <https://doi.org/10.1155/2018/4059675>.
22. Барагунова Л.А., Лафишева М.М., Хажироков И.Х. Об оптимальном сечении сжатой стойки // Перспективные научные исследования: опыт, проблемы и перспективы развития: сборник научных статей по материалам IX Международной научно-практической конференции (г. Уфа, 09 декабря 2022 г.). Уфа: Общество с ограниченной ответственностью Научно-издательский центр «Вестник науки», 2022. Т. 2. С. 212–219. EDN: YNNYIM.
23. Krishan A. Bearing Capacity of Concrete Filled Steel Tube Columns. In: Sustainability of Concrete With Synthetic and Recycled Aggregates. Eds. Hosam M. Saleh. 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99650>.
24. Жолдошов Б.М., Шералиева С.Т. Исследования прочности и устойчивости металлических колонн // Известия Омского технологического университета. 2019. № 2. С. 185–189. EDN: TKAGHQ.
25. Никитина А.Э., Михайлов Б.В. Углы поворота узлов критических точек мониторинга металлической стойки при потере устойчивости // Вестник науки. 2021. Т. 5. № 5-1 (38). С. 120–125. EDN: BAPPKB.
26. Муцанов А.В., Цепляев М.Н. Новые подходы к оценке устойчивости элементов пространственных металлических конструкций // Наука и творчество вклад молодежи: сборник материалов Всероссийской молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Махачкала, 10–11 ноября 2022 г.). Махачкала: Типография «Формат», 2022. С. 196–200. EDN: NEWMKM.
27. Фисенко Е.Н., Сабиров Р.А. Анализ устойчивости центрально сжатых тонкостенных стержней // Механика: исследования и инновации. 2022. № 15. С. 283–285.
28. Вяткин Ю.А., Каныгин Р.И., Каныгин И.И., Пухов М.А. Определение фактического напряжения в сжатой стойке // Математика и математическое моделирование: сборник материалов XV Всероссийской молодежной научно-инновационной школы (г. Саров 07–09 апреля 2021 г.). М.: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2020. С. 91. EDN: DIUBTH.
29. Арушонов Ю.Ю. Об ошибках проектирования строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2021. № 11 (83). С. 488–498. EDN: IAKKDK.
30. Конин Д.В. Экспериментальные исследования стальных стержней на центральное и внецентренное сжатие // Вестник НИЦ. Строительство. 2021. № 1. С. 16–37. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1\(28\)-16-37](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1(28)-16-37). EDN: JSWWYL.

REFERENCES

1. Suzuki Yu., Lignos Dimitrios G. Development of collapse-consistent loading protocols for experimental testing of steel columns. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2019;49(2):114-131. <https://doi.org/10.1002/eqe.3225>.
2. Yogesh Tambe, Pravin Nemade. Physical and mechanical properties of foamed concrete, a literature review. *Songklanakarin journal of science and technology*. 2022;44(4):936-944. <https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2022.125>.
3. Yonggui Chen, Leilei Guan, Shen-Yi Zhu, Wei-Jia Chen. Foamed concrete containing fly ash: Properties and application to backfilling. *Construction and building materials*. 2020;273:121685. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121685>.
4. Kozłowski M., Kadela M. Mechanical characterization of lightweight foamed concrete. *Advances in materials science and engineering*. 2018;2018:6801258. <https://doi.org/10.1155/2018/6801258>.
5. Hui Jin, Qing Chun. Research on fire-resistance capacities of steel columns with partial-damaged fire protection coating. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2020;24:1893-1902. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-1795-2>.
6. Savenkov A.I., Zaenets E.O., Ketner A.V. Stability of metal frame elements when working in cramped conditions. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress*. 2021;8:199-200. (In Russ.). EDN: KNRTFY.
7. Savenkov A.I., Zaenets E.O., Ketner A.V. Deformations of an off-center compressed rack in a foam concrete cage. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2021;1(18):130-133. (In Russ.). EDN: FZWWHA.

8. Artemyev E.A. Bearing capacity of centrally compressed reinforced concrete elements corrosion-damaged as a result of fire exposure. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and civil engineering*. 2019;6:35-39. (In Russ.). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.06.35-39>. EDN: ZZJHBJ.
9. Buzalo N.A., Gontarenko I.V., Chernykhovsky B.A. Reducing the force resistance of steel columns in industrial buildings with corrosion damage during operation. *Stroitel'stvo i arkhitektura = Construction and Architecture*. 2020. T. 8. № 4. S. 9–13. <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2020-8-4-9-13>. EDN: YACKOL.
10. Li J., Wang X., Li Ch., Lu W. Bearing Capacity of Light-Steel Compound Section and Steel Columns under Axial Compression. *Advances in civil engineering*. 2022;2022:8061015. <https://doi.org/10.1155/2022/8061015>.
11. Sonnenschein R., Gajdosova K., Gramblička Š. Comparison of composite, steel and reinforced concrete columns. In: *5th World multidisciplinary civil engineering-architecture-urban planning symposium – WMCAUS IOP Conference series materials science and engineering*. 15-19 June 2020, Prague. 2020. Vol. 960. p. 032093. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/960/3/032093>.
12. Sourabh Dhiman, Nirbhay Thakur, Nitish Kumar Sharma. A Review on behaviour of columns of steel framed structure with various steel sections. *International journal of engineering and technology*. 2019;06(03):587-590.
13. Savenkov A.I., Shustov P.A., Gorbach P.S., Ploskonosova A.O. Evaluation of the strength of foam concrete under axial uniaxial compression. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2020;10(1):100-107. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-1-100-107>. EDN: KYMNTY.
14. Savenkov A.I., Ploskonosova A.O. Calculation of bending and bearing capacity of non-centrally compressed closed-section racks. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2022;16:150-153. (In Russ.). EDN: PYODFV.
15. Umnova O.V., Tuev D.S. Method of direct determination of the bearing capacity of thin-walled cold-bent steel profiles on the example of calculating a centrally compressed rack. In: *Ustoichivoe razvitie regiona: arkhitektura, stroitel'stvo, transport: materialy 6-oi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 40-letnemu yubileyu Instituta arkhitektury, stroitel'stva i transporta TGTU = Sustainable development of the region: architecture, construction, transport. Materials of the 6th International Scientific and Practical Conference dedicated to the 40th anniversary of the Institute of Architecture, Construction and Transport of Tambov State Technical University*. 22-25 May 2019, Tambov. Tambov: Pershina R.V. Publ.; 2019. p. 389–395. (In Russ.). EDN: YHGDQZ.
16. Buzalo N.A., Gontarenko I.V., Chernykhovskiy B.A., Chepizubov I.G. Influence of mechanical damages on the load-bearing capacity of steel columns in industrial buildings. *BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki*. 2020;6:46-50. (In Russ.). EDN: VOTIDQ.
17. Savenkov A.I., Zayenets E.O., Ketner A.V. Concealed frame made of light steel thin-walled structures in monolithic foam concrete. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2022;1(18):134-137. (In Russ.). EDN: UZHRXT.
18. Kertbiev A.A., Shugushev M.M. Calculation of the rational section of a compressed rack with longitudinal bending. In: *Perspektiva–2022: materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh = Perspective–2022: materials of the International scientific conference of students, post-graduates and young scientists*. 22-30 April 2022, Nal'chik. Nal'chik: Kabardino-Balkarian state university named after H.M. Berbekov; 2022. Vol. 4. p. 174-177. (In Russ.). EDN: CHEWUD.
19. Bakushev S.V., Loshchinin N.A. Calculation of an off-center compressed rack for a transverse load. *Modelirovanie i mekhanika konstruktiv*. 2023;17:53-61. (In Russ.). EDN: IKCIEK.
20. Sangeetha P., Ashwin Muthuraman R.M., Dachina G., Dhivya M., Janani S., Sai Madumathi. Behaviour of Concrete Filled Steel Tubes. *Journal of informatics and mathematical sciences*. 2018;10(1-2):297-304. <https://doi.org/10.26713/jims.v10i1-2.1056>.
21. Li P., Zhang T., Wang Ch. Behavior of concrete-filled steel tube columns subjected to axial compression. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018;2018:4059675. <https://doi.org/10.1155/2018/4059675>.
22. Baragunova L.A., Lafisheva M.M., Khazhirokov I.H. On the optimal section of a compressed rack. In: *Perspektivnye nauchnye issledovaniya: opyt, problemy i perspektivy razvitiya: sbornik nauchnykh statei po materialam IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Promising scientific research: experience, problems and prospects of development: collection of scientific articles based on the materials of the IX International scientific and practical conference*. 09 December 2022, Ufa. Ufa: Limited Liability Company Scientific Publishing Center "Bulletin of Science"; 2022. Vol. 2. p. 212-219. EDN: YNNYIM.
23. Krishan A. Bearing Capacity of Concrete Filled Steel Tube Columns. In: *Sustainability of Concrete With Synthetic and Recycled Aggregates*. Eds. Hosam M. Saleh. 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99650>.
24. Zholdoshev B.M., Sheralieva S.T. Esearching the strength and stability of metal columns. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta = Izvestiy Oshskogo tekhnologicheskogo university*. 2019;2:185-189. EDN: TKAGHQ.

25. Nikitina A.E., Mikhailov B.V. Angles of rotation of nodes of critical points of monitoring of a metal rack at loss of stability. *Vestnik nauki*. 2021;5(5-1):120-125. EDN: BAPPKB.
26. Muschanov A.V., Tseplyaev M.N. New approaches to assessing the stability of elements of spatial metal structures. In: *Nauka i tvorchestvo vklad molodezhi: sbornik materialov Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh = Science and creativity contribution of youth: a collection of materials of the All-Russian Youth Scientific and practical Conference of students, postgraduates and young scientists*. 10-11 November 2022, Makhachkala. Makhachkala: Format PH; 2022. p. 196-200. (In Russ.). EDN: NEWMKM.
27. Fisenko E.N., Sabirov R.A. Stability analysis of centrally compressed thin-walled rods. *Mechanics: Researchs and innovations*. 2022;15:283-285. (In Russ.).
28. Vyatkin Yu.A., Kanygin R.I., Kanygin I.I., Pukhov M.A. Determination of the actual voltage in a compressed rack. In: *Matematika i matematicheskoe modelirovanie: sbornik materialov XV Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-innovatsionnoi shkoly = Mathematics and mathematical modeling: collection of materials of the XV All-Russian youth scientific and innovative school*. 07-09 April 2021, Sarov. Moscow: National research nuclear university "MEPHI"; 2020. p. 91. (In Russ.). EDN: DIUBTH.
29. Arushonok Yu.Yu. About errors of design of building constructions. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2021;11:488-498. (In Russ.). EDN: IAKKDK.
30. Konin D.V. Experimental studies of steel rods for central and off-center compression. *Vestnik NITS «Stroitel'stvo» = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2021;1:16-37. (In Russ.). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1\(28\)-16-37](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1(28)-16-37). EDN: JSWWYL.

Информация об авторах

Савенков Андрей Иванович,

к.т.н., доцент, доцент кафедры
промышленного и гражданского строительства,
Ангарский государственный технический
университет,
665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, Россия,
e-mail: savenkov_andrey@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-6711-1119>
Author ID: 426253

Бессонова Алена Олеговна,

учебный мастер кафедры
промышленного и гражданского строительства,
ассистент,
Ангарский государственный технический
университет,
665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, Россия,
e-mail: ploskonosova96@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-3465-9099>
Author ID: 1163989

Шустов Павел Александрович,

к.т.н., доцент, доцент
кафедры строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: shustovpa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2547-3579>
Author ID: 683279

Information about the authors

Andrey I. Savenkov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Industrial
and Civil Engineering,
Angarsk State Technical University,
60 Tchaikovsky St., Angarsk 665835, Russia,
e-mail: savenkov_andrey@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-6711-1119>
Author ID: 426253

Alena O. Bessonova,

Educational Master of the Department
of Industrial and Civil Engineering,
Assistant,
Angarsk State Technical
University,
60 Tchaikovsky St., Angarsk 665835, Russia,
e-mail: ploskonosova96@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-3465-9099>
Author ID: 1163989

Pavel A. Shustov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontova St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: shustovpa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2547-3579>
Author ID: 683279

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в
подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 09.08.2023.
Одобрена после рецензирования 31.08.2023.
Принята к публикации 01.09.2023.

Information about the article

The article was submitted 09.08.2023.
Approved after reviewing 31.08.2023.
Accepted for publication 01.09.2023.



Прогнозирование изменения во времени некоторых переменных параметров состояния автомобильных дорог

Н.А. Слободчикова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы прогнозирования состояния автомобильных дорог во времени. Изменение состояния автомобильной дороги происходит под воздействием внешних факторов на фоне внутренних процессов, происходящих в конструктивных слоях. Большинство математических моделей, прогнозирующих срок службы автомобильных дорог, разработано на основе прочностных характеристик, что в условиях ограниченного финансирования автомобильных дорог регионального и местного значения приводит к определенным трудностям их практического применения. Следовательно, необходима разработка модели изменения состояния дорожных одежд на основе данных об их потребительских свойствах, таких как ровность, коэффициент сцепления и состояние покрытия. Процесс снижения значений ровности, состояния покрытия и коэффициента сцепления во времени можно описать с использованием распределения Вейбулла. В работе приведены математические модели изменения во времени состояния покрытия, коэффициента сцепления и продольной ровности. Для оценки эффективности модели выполнено сопоставление данных, полученных с помощью расчета и по результатам ежегодной диагностики автомобильных дорог. Расчетные и фактические значения продольной ровности, коэффициента сцепления и состояния покрытия имеют высокую сходимость. Предложенный подход оценки изменения состояния покрытия, ровности и коэффициента сцепления позволяет повысить эффективность управления состоянием автомобильных дорог.

Ключевые слова: прогнозирование сроков службы автомобильных дорог, состояние автомобильных дорог, показатели состояния автомобильных дорог

Для цитирования: Слободчикова Н.А. Прогнозирование изменения во времени некоторых переменных параметров состояния автомобильных дорог // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 677–686. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-677-686>. EDN: HXWKND.

Original article

Forecast of temporal variations in some road condition variables

Nadezhda A. Slobodchikova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The article considers issues of forecasting temporal variations in the condition of roads. The road condition is affected by external factors against the background of internal processes, occurring in construction layers. Most mathematical models, forecasting the service life of roads, are developed on the basis of strength characteristics, which, in conditions of limited financing of regional and local significance roads, leads to certain difficulties in their practical application. Therefore, it is necessary to develop a model of variations in the condition of road pavements based on data about their consumer properties, such as evenness, adhesion coefficient and pavement condition. The process of reducing the evenness values, pavement condition, and adhesion coefficient over time can be described using the Weibull distribution. The paper presents mathematical models of temporal variations in the condition of the road pavement, adhesion coefficient and longitudinal evenness. The data of the model and annual road diagnostics, compared for assessing the model effectiveness, demonstrated high

convergence. The proposed approach to assessing the variations in the pavement condition, evenness and adhesion coefficient makes it possible to increase the efficiency of managing the road condition.

Keywords: forecasting the service life of highways, the condition of highways, indicators of the condition of highways

For citation: Slobodchikova N.A. Forecast of temporal variations in some road condition variables. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):677-686. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-677-686>. EDN: HXWKND.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие отрасли дорожного хозяйства является одним из условий роста экономики Российской Федерации.

Дорожное хозяйство является сложной системой, управление которой должно обеспечивать безопасное, непрерывное, комфортное и эффективное движение транспортных средств.

Важным элементом эффективного управления дорожным хозяйством и, в частности, состоянием автомобильных дорог, является возможность прогнозировать состояние дорожных одежд во времени.

Прогнозирование состояния дорожных одежд во времени позволяет своевременно назначить проведение диагностических и ремонтных мероприятий для обеспечения расчетного срока эксплуатации.

Оценке состояния автомобильных дорог, методам приведения их в нормативное состояние и разработке различных моделей прогнозирования сроков службы автомобильных дорог посвящены работы различных ученых [1–38]. В качестве примера можно привести следующие модели.

1. Модель Ю.М. Яковлева¹. Динамика снижения прочности оценивается по коэффициенту эксплуатационной прочности:

$$K_{э.пр} = \frac{A+B \left(\lg \frac{q^{T_{сл}+1}-q^t}{q^{T_{сл}+1}-1} N-1 \right)}{A+B(\lg N-1)}, \quad (1)$$

где A – параметр, зависящий от типа покрытия, МПа; B – параметр, характеризующий в основном влияние повторяемости нагрузок, МПа; N – перспективная на последний год приведенная к расчетной нагрузке интенсивность движения, ед/сут; q – показатель ежегодного прироста интенсивности грузового движения; $T_{сл}$ – проектный срок службы дорожной одежды; t – год от начала эксплуата-

ции дорожной одежды, на который вычисляется $K_{э.пр}$.

2. Метод М.Г. Горячева². Для оценки степени отклонения прочности дорожной одежды предлагается использовать коэффициент запаса прочности:

$$K_{э.пр} = \frac{K_{э.пр(факт)}}{K_{э.пр(тр)}}, \quad (2)$$

где $K_{э.пр}$ (факт), $K_{э.пр}$ (тр) – фактический на период оценки и требуемый коэффициент эксплуатационной прочности, соответственно.

3. Графоаналитический метод прогнозирования долговечности асфальтобетонных покрытий на основе их усталостной прочности В.А. Осинской [31].

Метод основан на учете свободных затухающих колебаний, возникающих в конструкции автомобильной дороги при воздействии колес транспортных средств:

– рассчитывается теоретическая кривая усталости асфальтобетонного покрытия:

$$\Sigma N_{p15} = \left(\alpha K_2 (1 - v_R t) \frac{R_0}{R_N} \right)^m, \quad (3)$$

где R_0 – нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе; R_N – предельное растягивающее напряжение; K_2 – коэффициент, учитывающий влияние погодноклиматических факторов ($K_2 = 0,8$); N_{p15} – коэффициент вариации прочности на растяжение ($v_R = 0,1$); t – коэффициент нормативного отклонения ($t = 1,71$); α – коэффициент уточнения; m – показатель, зависящий от свойств материала.

– рассчитываются кривые нагружения конкретных спроектированных дорожных конструкций:

$$\Sigma N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{T-1}} T_{р.д.г.} K_n; \quad (4)$$

¹Яковлев Ю.М. Оценка и обеспечение прочности дорожных одежд нежесткого типа в процессе эксплуатации: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1985. 435 с.

²Горячев М.Г. Прогнозирование эксплуатационного состояния нежестких дорожных одежд с учетом процесса накопления остаточных деформаций: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2017. 388 с.

$$K_c = \frac{q^T - 1}{q - 1}, \quad (5)$$

где N_p – интенсивность движения на конец срока службы, авт/сут; $\sum N_p$ – сумма нагрузок за весь период работы, авт.; K_c – коэффициент суммирования; q – показатель приращения интенсивности по годам; $T_{р.д.г.}$ – число расчетных климатических дней в году, дн.; K_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого.

– строится номограмма определения сроков усталостного разрушения дорожного покрытия.

4. Модель П.Б. Рапопорт, Ю.Э. Васильева, А.В. Кочеткова, Н.Е. Кокодевой [33]. Авторами предложена формула изменения эквивалентного модуля упругости во времени:

$$E_{ЭТ(t)} = E_{ЭТ} \left(1 - \frac{C_V^{ЭТ}}{C_V^{ЭТ(t)}} \cdot \gamma \cdot t \right), \quad (6)$$

где $E_{ЭТ}$ – приведенное к расчетной температуре среднее значение эквивалентного модуля упругости на участке обследования, установленное методами математической статистики, МПа; $C_V^{ЭТ}$ – коэффициент вариации приведенного к расчетной температуре эквивалентного модуля упругости на момент обследования; $C_V^{ЭТ(t)}$ – коэффициент вариации приведенного к расчетной температуре эквивалентного модуля упругости в t -м году; γ – коэффициент, учитывающий снижение однородности эквивалентного модуля упругости во времени, 1/годы; t – период времени, спустя который эквивалентный модуль упругости принимает значение $E_{ЭТ(t)}$, годы. В основе большинства моделей лежит принцип прогно-

зирования состояния на основе значений прочностных характеристик: модуля упругости, коэффициента прочности, угла внутреннего трения и др.

Для автомобильных дорог регионального и местного значения в условиях ограниченного финансирования применение указанных моделей является затруднительным в практической реализации.

Учитывая, что основной задачей дорожного хозяйства является обеспечение спроса пользователей для повышения эффективности управления состоянием автомобильных дорог, необходима разработка модели прогнозирования потребительских свойств дорожных одежд: ровность, коэффициент сцепления и состояние покрытия (наличие дефектов).

МЕТОДЫ

В качестве исходных данных принимаются данные о состоянии автомобильной дороги по материалам ежегодной диагностики: геометрические параметры, интенсивность движения и состав потока, коэффициент сцепления, состояние покрытия, продольная ровность и др.

Изменение состояния покрытия, ровности и коэффициента сцепления во времени является убывающей функцией (рис. 1):

$$\Delta J = f(t_0 + \Delta t) - f(t_0) < 0. \quad (7)$$

Ухудшение состояния автомобильной дороги происходит в результате внешних воздействий и внутренних процессов, развивающихся в конструктивных слоях.

К внешним воздействиям относятся:

- колебания температуры, влажности и солнечной радиации;
- интенсивность движения и состав транспортного потока.

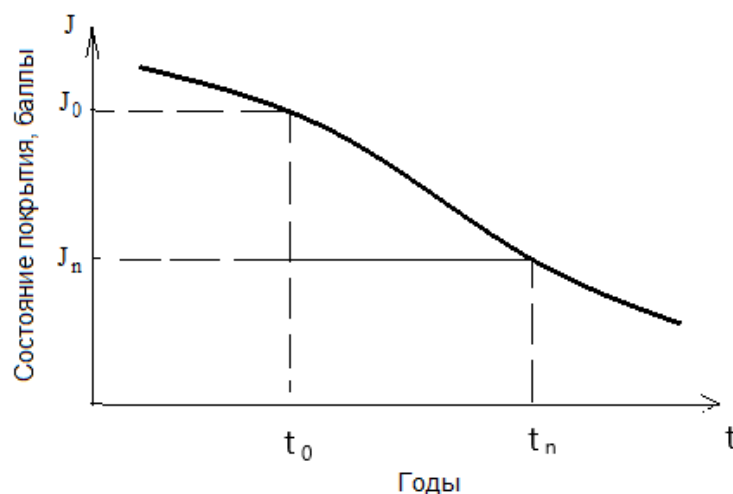


Рис. 1. Изменение состояния покрытия во времени
Fig. 1. Changing the state of coverage over time

К внутренним процессам относятся:

- развитие пластических деформаций материалов и грунтов;
- деградация материалов.

Процесс ухудшения состояния автомобильной дороги можно описать с использованием распределения Вейбулла, которое часто применяют для решения задач теории надежности.

Функция плотности вероятности имеет вид

$$f(t) = \beta \frac{t^{\beta-1}}{\eta^\beta} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}, \quad (8)$$

где t – наработка, рассматриваемая как переменная; η – параметр масштаба (ресурс); β – параметр формы. Для построения графика вероятностей проведено ранжирование данных о наработке до отказа.

На основании полученных данных производится построение графика вероятностей для распределения Вейбулла путем нанесения данных на вероятностную бумагу. График вероятностей представлен на рис. 2. Близость данных к прямой линии указывает на их соответствие распределению Вейбулла.

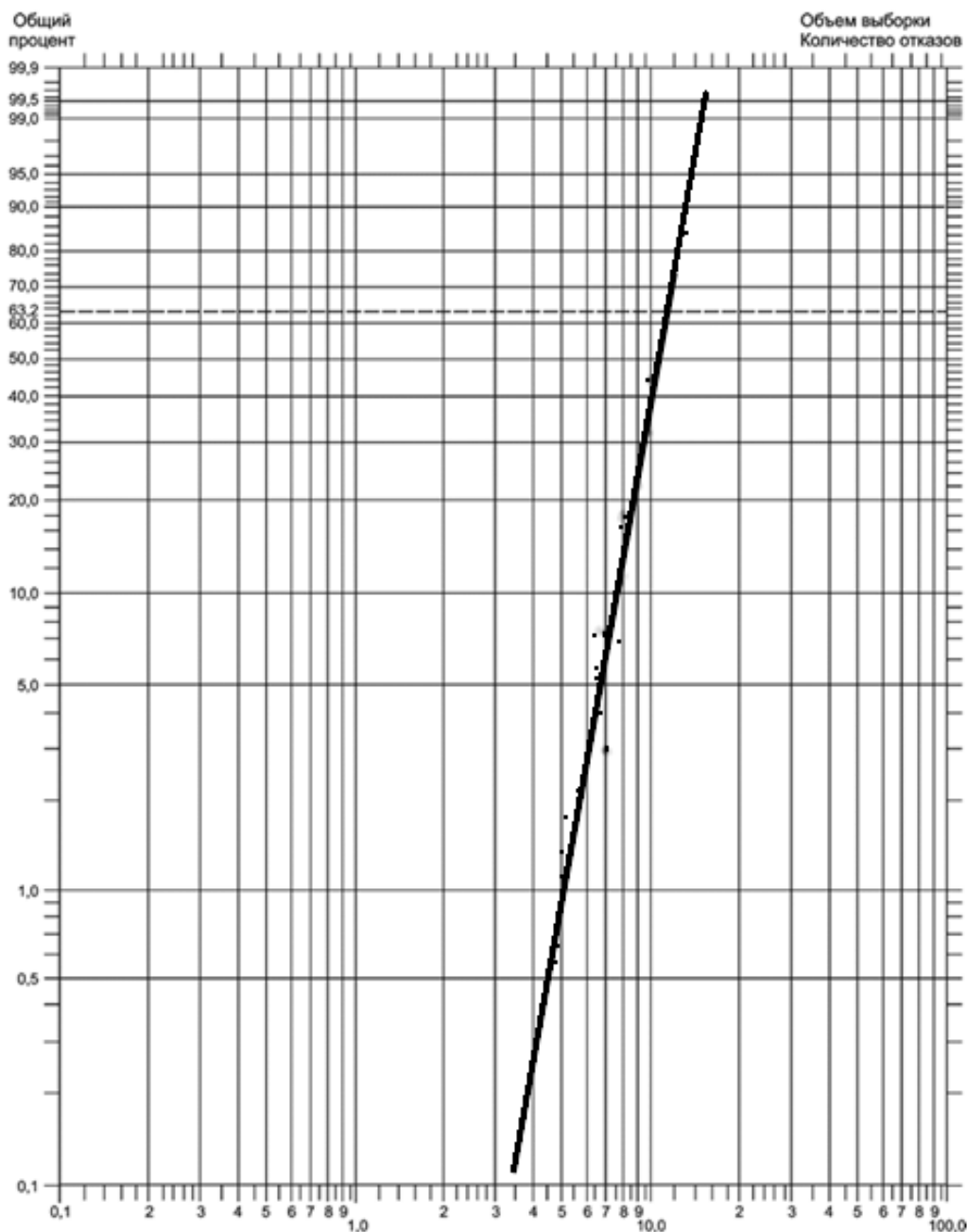


Рис. 2. График вероятностей
Fig. 2. Probability graph

Если принять одинаковым влияние внешних воздействий на параметры состояния автомобильной дороги, то

$$DJ = \beta \frac{t_n^{\beta-1}}{\eta_J^\beta} e^{-\left(\frac{t_n}{\eta_J}\right)^\beta} - \frac{t_0^{\beta-1}}{\eta_J^\beta} e^{-\left(\frac{t_0}{\eta_J}\right)^\beta} = \frac{\beta}{\eta_J^\beta} \left(t_n^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_n}{\eta_J}\right)^\beta} - t_0^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_0}{\eta_J}\right)^\beta} \right). \quad (9)$$

Тогда состояние покрытия в момент времени n можно определить по формуле

$$J_n = J_0 - \frac{\beta}{\eta_J^\beta} \left(t_n^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_n}{\eta_J}\right)^\beta} - t_0^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_0}{\eta_J}\right)^\beta} \right), \quad (10)$$

где J_0 – состояние покрытия на текущий год эксплуатации, баллы; t_0 – текущий год эксплуатации; t_n – год эксплуатации, на который производится прогноз; η_J – параметр ресурса по показателю состояние покрытия.

Аналогично можно определить изменение ровности и коэффициента сцепления:

$$IRI_n = IRI_0 - \frac{\beta}{\eta_{IRI}^\beta} \left(t_n^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_n}{\eta_{IRI}}\right)^\beta} - t_0^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_0}{\eta_{IRI}}\right)^\beta} \right); \quad (11)$$

$$C_n = C_0 - \frac{\beta}{\eta_C^\beta} \left(t_n^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_n}{\eta_C}\right)^\beta} - t_0^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_0}{\eta_C}\right)^\beta} \right), \quad (12)$$

где IRI_0 , C_0 – значения ровности и коэффициента сцепления на текущий год эксплуатации; η_{IRI} , η_C – параметры ресурса для ровности и коэффициента сцепления. Для оценки статистической взаимосвязи использован коэффициент корреляции Пирсона, позволяющий измерить линейную корреляцию между двумя наборами данных (расчетных и фактических):

$$r_{XY} = \frac{\sum(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})}{\sqrt{\sum(X-\bar{X})^2 \sum(Y-\bar{Y})^2}}, \quad (13)$$

где X – расчетные значения показателя; Y – фактические значения показателя; $\bar{Y}$, $\bar{X}$ – средние значения выборок X и Y .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенный подход апробирован на участке автомобильной дороги Р-255 «Сибирь». В качестве исходных данных использованы материалы ежегодной диагностики за 2018–2022 гг. Ввод в эксплуатацию участка автомобильной дороги – 2010 г. Значения параметра масштаба $\eta_{IRI, J, C}$ и параметра формы β определены методом регрессии медиан рангов. Результаты определения значений ровности, коэффициента сцепления и состояния покрытия приведены в таблице.

Результаты сопоставления данных, полученных при расчете и по результатам ежегодной диагностики
Results of comparison of data obtained during the calculation and according to the results of the annual diagnosis

Показатель	ФЗ*	ФЗ	РЗ**	ФЗ	РЗ	ФЗ	РЗ	ФЗ	РЗ	КК*** Пирсона
	2018 г.	2019 г.		2020 г.		2021 г.		2022 г.		
Состояние покрытия J, баллы	3,23	3,2	3,13	3,138	3,03	2,8	2,94	2,03	2,89	0,81
Ровность IRI, м/км	3,49	3,94	3,39	3,935	3,30	3,5	3,22	3,2	3,18	0,92
Коэффициент сцепления C	0,497	0,49	0,42	0,487	0,34	0,45	0,25	0,401	0,18	1,00

*Фактическое значение; **Расчетное значение; ***Коэффициент корреляции.

Для данной автомобильной дороги коэффициент корреляции составил от 0,8 до 1,0, что свидетельствует о высокой сходимости расчетных и фактических значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Прогнозирование состояния дорожных одежд во времени позволяет своевременно назначить проведение ремонтных мероприятий для обеспечения расчетного срока экс-

плуатации.

2. Предложенная в работе математическая модель прогнозирования состояния автомобильных дорог во времени позволит в условиях ограниченного финансирования сети автомобильных дорог регионального и местного значения повысить эффективность принятия управленческих решений при выборе ремонтных мероприятий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Abaza K. A. Empirical Markovian-based models for rehabilitated pavement performance used in a life cycle analysis approach // *Structure and Infrastructure Engineering*. 2017. Vol. 13. Iss. 5. P. 625–636. <https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1187180>.
2. Amador-Jimenez L. E., Mrawira D. Reliability based initial pavement performance deterioration modelling // *International Journal of Pavement Engineering*. 2011. Vol. 12. Iss. 2. P. 177–186. <https://doi.org/10.1080/10298436.2010.535538>.
3. Amin Sh. The pavement performance modeling: deterministic vs. stochastic approaches // *Numerical methods for reliability and safety assessment* / S. Kadry, A. El Hami [Eds.]. Switzerland: Springer, 2015. P. 179–196. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07167-1_5.
4. Hoque J.M., Erhardt G.D., Schmitt D., Chen M., Chaudhary A., Wachs M., et al. The changing accuracy of traffic forecasts // *Transportation*. 2022. Vol. 49. P. 445–466. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10182-8>.
5. Liu L., Gharaibeh N.G. Bayesian model for predicting the performance of pavements treated with thin hot-mix asphalt overlays // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2014. Vol. 2431. Iss. 1. P. 33–41. <https://doi.org/10.3141/2431-05>.
6. Paterson W.D.O. Road deterioration and maintenance effects: models for planning and maintenance. Standards series. Washington: World Bank Group, 1987.
7. Prochazka M., Lehovec F. Pavement management guide// Pavement system: present practice and current research of pavement managing system in the CSSR: 6-th road conference (Budapest, 4-6 October 1988). Budapest: Roads transportation association of Canada, 1988. Vol. 1. P. 232–240.
8. Zhong Sh., Sun D. (J.). Logic-Driven Traffic Big Data Analytics. Singapore: Springer, 2023. p. 280. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-8016-8>.
9. Robinson R., Danielson U., Snaith M. Road maintenance management: concepts and systems. M., 1998. 312 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-14676-5>.
10. Zhang X., Ai T. How to model roads in OpenStreetMap? A method for evaluating the fitness-for-use of the network for navigation / Harvey F., Leung Y. (Eds.). *Advances in spatial data handling and analysis. advances in geographic information science*. Cham: Springer, 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19950-4_9.
11. Батракова А. Г., Урдзик С. Н., Батраков Д. О. Моделирование и оценка состояния дорожных одежд со сквозными трещинами в покрытии // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2019. № 85. С. 49–58. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.49>. EDN: НККТРҮ.
12. Батракова А. Г., Урдзик С. Н., Батраков Д. О. Динамические и эконометрические модели прогнозирования состояния автомобильных дорог // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2019. № 85. С. 59–65. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.59>. EDN: НКRXHN.
13. Бедрин Е. А., Завьялов А. М., Завьялов М. А. Прогнозирование термической (тепловой) устойчивости основания земляного полотна автомобильных дорог // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2012. № 2 (24). С. 30–33. EDN: РВЕНЈХ.
14. Буртыль Ю. В., Солодка М. Г., Ковалев Я. Н. Прогнозирование ровности дорожных покрытий // *Наука и техника*. 2021. № 3. С. 216–223. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-3-216-223>. EDN: KCBUAP.
15. Буртыль Ю. В. Исследования изменения ровности дорожных покрытий // *Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей*. 2020. № 4 (92). С. 145–149. <https://doi.org/10.48081/GKHW9128>.
16. Буртыль Ю. В., Капский Д. В. Моделирование взаимосвязи ровности и прочности нежестких дорожных одежд на основании теоретическо-практических исследований // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2022. Т. 19. № 4 (86). С. 570–582. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-570-583>. EDN: MGXUAY.
17. Веюков Е. В., Салихов М. Г., Толстова А. Г., Тихвинская Д. П. Проектирование дорожных одежд с учетом процессов старения асфальтобетонов // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 4. С. 191–195. EDN: YCDRXB.
18. Гнездилова С. А., Горох Д. Ю., Фотиади А. А. Разработка модели прогнозирования развития поперечных трещин для автомобильных дорог Белгородской области // *Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (г. Белгород, 30 апреля – 20 мая 2021 г.)*. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2021. С. 1951–1956. EDN: SIYYSL.
19. Гриценко Е. А. Прогнозирование колеи износа от воздействия шипованных шин // *Инженерные и*

- социальные системы: сб. науч. тр. института архитектуры, строительства и транспорта Ивановского государственного политехнического университета. Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2022. Вып. 7. С. 124–126. EDN: QNKZJJ.
20. Елшами М. М., Тиратурян А. Н., Углова Е. В. Прогнозирование ухудшения эксплуатационного состояния дорожных одежд с использованием алгоритмов искусственного интеллекта // Инженерный вестник Дона. 2022. № 6 (90). С. 732–741. EDN: AXUTMA.
21. Каменчуков А. В., Кормилицына Л. В., Лопашук В. В., Цупикова Л. С. Влияние сверхнормативной нагрузки на износ и разрушение дорожной одежды // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 4-1 (106). С. 57–63. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.106.4.009>. EDN: WUJPQW.
22. Кириллов А. М., Завьялов М. А. Прогнозирование остаточного срока службы асфальтобетонных покрытий // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 3 (114). С. 356–367. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.3.356-367>. EDN: YWQSED.
23. Ряпухин В. М., Захарова Е. В. Анализ природно-климатических факторов для формирования базы данных ГИС – «Автомобильная дорога» // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2019. № 84. С. 67–74. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.84.0.55>. EDN: QXFHWU.
24. Скоробогатченко Д. А., Забазнов А. С. Прогнозирование ровности покрытия автомобильных дорог с учетом погодного-климатического воздействия и уровня работ по содержанию // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2018. Т. 9. № 2. С. 98–109. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2018.2.09>. EDN: USTOZO.
25. Хасанова Л. Р., Юсупова О. В. Решение задачи прогнозирования загруженности автомобильных дорог с помощью MS EXCEL // Символ науки: международный научный журнал. 2020. № 10. С. 28–32. EDN: RICWGO.
26. Хорошилов К. В., Гаврилов Т. А., Колесников Г. Н. Моделирование и прогнозирование состояния верхнего слоя грунтовых автомобильных дорог в осенне-зимний период // Моделирование сложных процессов и систем: сб. тр. секции № 12 XXIX Международной научно-практической конференции (г. Химки, 21 марта 2019 г.). Химки: Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика, 2019. С. 79–84. EDN: TTMMGC.
27. Шухратзода Д., Попов А. Д., Букус Д. В., Баринов К. А. Разработка веб-приложения для прогнозирования остаточного срока службы автомобильных дорог на основе их характеристик и диагностических данных // Проблемы международной транспортной политики: материалы Международной конференции (г. Москва, 27 марта 2022 г.). Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. С. 96–100. EDN: JTXHRT.
28. Ермошин Н. А., Романчиков С. А., Аверьянов Д. А. Имитационное моделирование риска разрушения дорожных конструкций в межремонтный период // Путевой навигатор. 2022. № 50 (76). С. 30–41. EDN: LNFPKN.
29. Новик А. Н., Исмаилов А. М., Русаков М. Н. Влияние гранулометрического состава асфальтобетонных смесей на качество автодорожного покрытия // Путевой навигатор. 2022. № 51 (77). С. 36–41. EDN: QNGSTL.
30. Лазарев Ю. Г., Талипова Л. В., Черкашин А. В., Гребенюк Е. А., Огурцов Г. Л. Методика создания базы данных ТСОДД на базе PostgreSQL и IndorTrafficPlan // Путевой навигатор. 2022. № 52 (78). С. 26–33. EDN: ZWJJXK.
31. Осинская В. А. Прогнозирование долговечности асфальтобетонных покрытий на основе уровней их вибронегативности // Наука и техника. 2015. № 6. С. 49–53. EDN: VLFWVT.
32. Рапопорт П. Б., Васильев Ю. Э., Кочетков А. В., Кокодеева Н. Е. Уроки прогнозирования // Автомобильные дороги. 2011. № 2. С. 32–34.
33. Гаевская З. А., Вафаева Х. М. Предвидение в строительстве: инженерные задачи // Наука молодых – будущее России: материалы 5-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых (г. Курск, 10–11 декабря 2020 г.). Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. В 4 т. Т. 3. С. 206–209. EDN: WSGYKI.
34. Ilyas I., Zafar A., Afzal M. T., Javed M. F., Alrowais R., Althoey F., et al. Advanced machine learning modeling approach for prediction of compressive strength of frp confined concrete using multiphysics genetic expression programming // *Polymers*. 2022. Iss. 14. P. 1789. <https://doi.org/10.3390/polym14091789>. EDN: EUPEID.
35. Птухина И. С., Кирсанова Т. А. Мультисистемное моделирование и управление с целью повышения точности прогноза в строительстве // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2022. № 5. С. 3. EDN: KUQMBI.
36. Бирюков А. Н., Дудурич Б. Б., Грицук А. П. Применение полимерных футеровочных листов для проведения ремонтов и реконструкций эксплуатируемых объектов военной инфраструктур / Современное состояние эксплуатационного содержания казарменно-жилищного фонда Министерства обо-

роны России и инновационные пути перспектив его развития: сб. докл. круглого стола (г. Кубинка, 23 августа 2018 г.). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2018. С. 261–268. EDN: XZQUDJ.

37. Пат. № 2721663, РФ, С1. Автоматизированная система управления восстановлением объектов инфраструктуры / Ю. А. Бирюков, А. Н. Бирюков, Д. В. Бирюков, Н. А. Бирюков. № 2019134364; заявл. 21.05.2020.

38. Пат. № 2801010, РФ. Способ крепления защитного полимерного покрытия к железобетонному основанию / Д. Л. Сарган, В. Н. Денисов, Н. В. Курашев, А. П. Грицук, Б. Б. Дудурич, А. Н. Иванов, А. Н. Бирюков, И. М. Таутиев. № 2023102751. заявл. 01.08.2023.

REFERENCES

1. Abaza K.A. Empirical Markovian-based models for rehabilitated pavement performance used in a life cycle analysis approach. *Structure and Infrastructure Engineering*. 2017;13(5):625-636. <https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1187180>.
2. Amador-Jimenez L.E., Mrawira D. Reliabilitybased initial pavement performance deterioration modelling. *International Journal of Pavement Engineering*. 2011;12(2):177-186. <https://doi.org/10.1080/10298436.2010.535538>.
3. Amin Sh. The pavement performance modeling: deterministic vs. stochastic approaches. In: Numerical methods for reliability and safety assessment. S. Kadry, A. El Hami [Eds.]. Switzerland: Springer; 2015. P. 179-196. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07167-1_5.
4. Hoque J.M., Erhardt G.D., Schmitt D., Chen M., Chaudhary A., Wachs M., et al. The changing accuracy of traffic forecasts. *Transportation*. 2022;49:445-466. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10182-8>.
5. Liu L., Gharaibeh N.G. Bayesian model for predicting the performance of pavements treated with thin hot-mix asphalt overlays. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2014;2431(1):33-41. <https://doi.org/10.3141/2431-05>.
6. Paterson W.D.O. Road deterioration and maintenance effects: models for planning and maintenance. Standards series. Washington: World Bank Group; 1987.
7. Prochazka M., Lehovec F. Pavement management guide. *Pavement system: present practice and current research of pavement managing system in the CSSR: 6-th road conference*. 4-6 October 1988, Budapest. Budapest: Roads transportation association of Canada; 1988. Vol. 1. p. 232-240.
8. Zhong Sh., Sun D.(J.). Logic-Driven Traffic Big Data Analytics. Singapore: Springer; 2023. p. 280. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-8016-8>.
9. Robinson R., Danielson U., Snaith M. Road maintenance management: concepts and systems. Moscow;1998. 312 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-14676-5>.
10. Zhang X., Ai T. How to Model Roads in OpenStreetMap? A Method for Evaluating the Fitness-for-Use of the Network for Navigation / Harvey, F., Leung, Y. (Eds.) *Advances in Spatial Data Handling and Analysis. Advances in Geographic Information Science*. Cham: Springer; 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19950-4_9
11. Batrakova A.G., Urdzik S.N., Batrakov D.O. Modeling and estimation of the condition of pavements with the through cracks. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta = Bulletin of Kharkov national automobile and highway university*. 2019;85:49-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.49>. EDN: HKKTPY.
12. Batrakova A.G., Urdzik S.N., Batrakov D.O. Dynamic and econometric models for predicting the condition of highways. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta = Bulletin of Kharkov national automobile and highway university*. 2019;85:59-65. (In Russ.). <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.59>. EDN: HKRXHN.
13. Bedrin E. A., Zavyalov A. M., Zavyalov M. A. Prognosis of thermal stability of road basis. *Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj avtomobil'no-dorozhnoj akademii = The Russian automobile and highway industry journal*. 2012;2:30-33. (In Russ.). EDN: PBEHJX.
14. Burtul YU. V., Salodkaya M. G., Kovalev YA. N. Predicting the smoothness of road surfaces. *Nauka i tekhnika = Science and technique*. 2021;3:216-223. (In Russ.). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-3-216-223>. EDN: KCBUAP.
15. Burtul Y. V. Scientific and practical research evenness highways. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima goroda Semej*. 2020;4:145-149. (In Russ.). <https://doi.org/10.48081/GKHW9128>.
16. Burtul Yu. V., Kapsky D. V. Modelling the relationship of smoothness and resistibility in non-rigid pavements based on theoretical and practical studies. *Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj avtomobil'no-dorozhnoj akademii = The Russian automobile and highway industry journal*. 2022;19(4):570-582. (In Russ.). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-570-583>. EDN: MGXUAY.
17. Veiukov E. V., Salikhov M. G., Tolstova A. G., Tikhvinskaia D. P. Design of road pavement taking into

- account the aging processes of asphalt concretes. *Innovatsii i investitsii*. 2022;4:191-195. (In Russ.). EDN: YCDRXB.
18. Gnezdilova S. A., Goroh D. Ju., Fotiadi A. A. Development of a model for predicting the development of transverse cracks for highways in the Belgorod region. In: *materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii molodyh uchenykh Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V. G. Shuhova = materials of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*. 30 April – 20 May 2021, Belgorod. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov; 2021. p. 1951-1956. EDN: SIYYSL.
19. Gritsenko E. A. Predicting the wear track from the impact of studded tires. *Inzhenerye i social'nye sistemy: sbornik nauchnykh trudov instituta arhitektury, stroitel'stva i transporta Ivanovo State Polytechnic University*. 2022;7:124-126. (In Russ.). EDN: QNKZJJ.
20. Elshamy M. M. M., Tiraturyan A. N., Uglova E. V. Forecasting the deterioration of the operational state of pavements using artificial intelligence algorithms. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2022;6:732-741. (In Russ.). EDN: AXUTMA.
21. Kamenchukov A. V., Kormilitsyna L. V., Lopashuk V. V., TSupikova L. S. Influence of excess load on the wear and tear of the road surface. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2021;4-1:57-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.106.4.009>. EDN: WUJPQW.
22. Kirillov A. M., Zavyalov M. A. Prediction of remaining service life of asphalt pavements. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2018;13(3):356-367. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.3.356-367>. EDN: YWQSED.
23. Riapukhin V. M., Zakharova E. V. Analysis of nature and climate factors to form the GIS – Automobile Roads database. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta = Bulletin of Kharkov national automobile and highway university*. 2019;84:67-74. (In Ukrain.). <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.84.0.55>. EDN: QXFHWU.
24. Skorobogatchenko D. A., Zabaznov A. S. Forecasting the smoothness of the coverage of motor roads, taking into account the weather and climate impact and the level of work on the content. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2018;9(2):98-109. (In Russ.). <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2018.2.09>. EDN: USTOZO.
25. Khasanova L. R., Iusupova O. V. Solving the problem of forecasting traffic congestion using MS EXCEL. *Simvol nauki: Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal = Symbol of science: International scientific journal*. 2020;10:28-32. EDN: RICWGO.
26. Khoroshilov K. V. Modeling and forecasting the condition of the top layer of dirt roads in the autumn-winter period. *Modelirovanie slozhnykh processov i sistem: sbornik trudov sekcii № 12 XXIX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii = Modeling of complex processes and systems: proceedings of Section No. 12 of the XXIX International Scientific and Practical Conference*. 21 March 2019, Khimki. Khimki: Academy of Civil Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters named after Lieutenant General D. I. Mikhailik; 2019. p. 79-84. (In Russ.). EDN: TTMMGC.
27. Shuhratzoda D., Popov A. D., Bukus D. V., Barinov K. A. Development of a web application for forecasting the remaining service life of highways based on their characteristics and diagnostic data. In: *Problemy mezhdunarodnoj transportnoj politiki: materialy Mezhdunarodnoj konferencii = Problems of international transport policy: materials of the International conference*. 27 March 2022, Moscow. Moscow: Moscow automobile and road construction state technical university (MADI); 2022. p. 96–100. (In Russ.). EDN: JTXXT.
28. Ermoshin N. A., Romanchikov S. A., Averianov D. A. Simulation modeling of the risk of destruction of road structures during the inter-repair period. *Putevoj navigator*. 2022;50:30-41. (In Russ.). EDN: LNFPKN.
29. Novik A N Ismailov A M Rusakov M N. The influence of the particle size distribution of asphalt concrete mixtures on the quality of road pavement. *Putevoi navigator*. 2022;51:36-41. (In Russ.). EDN: QNGSTL.
30. Lazarev Iu. G., Talipova L. V., Cherkashin A. V. Methodology for creating a TSODD database based on PostgreSQL and IndorTrafficPlan. *Putevoi navigator*. (In Russ.). 2022;52:26-33. EDN: ZWJJXK.
31. Osinovskaya V. A. Forecasting of durability of asphalt-concrete pavement on the basis of their vibration loading rate. *Nauka i tekhnika = Science and technique*. 2015;6:49-53. (In Russ.). EDN: VLFWVT.
32. Rapoport P. B., Vasiliev Yu. E., Kochetkov A. V., Kokodeeva N. E. Lessons of forecasting. *Avtomobil'nye dorogi*. 2011;2:32-34. (In Russ.).
33. Gaevskaja Z. A., Vafaeva H. M. Foresight in construction: engineering tasks. In: *Nauka molodyh – budushhee Rossii: materialy 5-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii perspektivnykh razrabotok molodyh uchenykh = Science of the young – the future of Russia: materials of the 5th International scientific conference of promising developments of young scientists*. 10-11 December 2020, Kursk. Kursk: Southwestern State University; 2020. In 4 vols. Vol. 3. p. 206-209. (In Russ.). EDN: WSGYKI.
34. Ilyas I., Zafar A., Afzal M. T., Javed M. F., Alrowais R., Althoey F., et al. Advanced machine learning modeling approach for prediction of compressive strength of frp confined concrete using multiphysics genetic

- expression programming. *Polymers*. 2022;14:1789. <https://doi.org/10.3390/polym14091789>. EDN: EUPEID.
35. Ptuhina I. V., Kirsanova T. A. Multi-system modeling and management in order to improve the accuracy of the forecast in construction. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh nauk i tekhnologii Integral = International journal of applied sciences and technology Integral*. 2022;5:3. (In Russ.). EDN: KUQMBI.
36. Biryukov A. N., Dudurich B. B., Gritsuk A. P. The use of polymer lining sheets for repairs and reconstructions of operated military infrastructure facilities. In: *Sovremennoe sostojanie jekspluacionnogo sodержaniya kazarmenno-zhilishhnogo fonda Ministerstva obo-rony Rossii i innovacionnye puti perspektiv ego razvitija: sbornik dokladov kruglogo stola = The current state of operational maintenance of the barracks and housing stock of the Ministry of Defense of Russia and innovative ways of its development prospects: collection of the round table*. 23 August 2008, Kubinka. Saint Petersburg: Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University; 2018. p. 261-268. (In Russ.). EDN: XZQUDJ.
37. Biryukov Yu. A., Biryukov A. N., Biryukov D. V., Biryukov N. A. Automated control system for the restoration of infrastructure facilities. Patent RF, no. 2721663; 2020. (In Russ.).
38. Sargan D. L., Denisov V. N., Kurashev N. V., Gritsuk A. P., Dudurich B. B., Ivanov A. N., Biryukov A. N., Tautiev I. M. A method of fastening a protective polymer coating to a reinforced concrete base. Patent RF, no. 2801010; 2023. (In Russ.).

Информация об авторе

Слободчикова Надежда Анатольевна,
к.т.н., доцент,
доцент кафедры
автомобильных дорог,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: NSlobodcikova@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7845-2969>
Author ID: 518380

Information about the author

Nadezhda A. Slobodchikova,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Automobile Roads,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: NSlobodcikova@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7845-2969>
Author ID: 518380

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил
рукопись к печати и несет ответственность
за плагиат.

Contribution of the author

Autor has conducted the study, prepared the man-
uscript for publication and bears the responsibility
for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта инте-
ресов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regard-
ing the publication of this article.

Автор прочитал и одобрил окончательный ва-
риант рукописи.

The final manuscript has been read and approved
the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 02.10.2023.
Одобрена после рецензирования 20.10.2023.
Принята к публикации 23.10.2023.

Information about the article

The article was submitted 02.10.2023.
Approved after reviewing 20.10.2023.
Accepted for publication 23.10.2023.



Обеспечение экологической безопасности техногенных объектов на основе «зеленых» стандартов

Е.Э. Смирнова

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Сертификация в соответствии с ISO 14 001 и EMAS позволяет понимать и оценивать воздействие экономической деятельности на экологические системы, а также устанавливать экологические цели и задачи. Эффекты от систем экологического управления и аудита (EMS) во многом зависят от того, как компании решают их использовать после сертификации. В связи с этим автор исследует вопросы, связанные с использованием стандартов ISO 14 000 и EMAS для повышения экологической безопасности компаний. Методология представлена в виде модели экологической стандартизации и различных уровней экологической сертификации организации. Объясняется важность экологического образования сотрудников и позитивного организационного климата. Внедрение систем управления экологией не всегда приводит к улучшению экологической эффективности компаний. Некоторые компании фокусируются на формальных критериях. Тем не менее EMS, экологический аудит и принципы ISO 14 000 могут помочь компаниям снизить отрицательное влияние на окружающую среду и повысить их конкурентоспособность. В ситуации неопределенности организационный климат, особенно отношение сотрудников к окружающей среде и экологическим ценностям, имеет приоритетное значение для реализации целей EMS. Выявлены проблемы, связанные с неоднозначной интерпретацией требований стандартов. Рекомендуется обратить внимание на создание позитивного организационного климата для успешной экологической сертификации. Кроме того, необходима более точная оценка эффективности экологической деятельности с четкой формулировкой требований к стандартам и контролем над их исполнением.

Ключевые слова: организационный климат, экологическая безопасность, экологическая сертификация, система экологического управления и аудита, EMAS, EMS, ISO 14 000

Для цитирования: Смирнова Е.Э. Обеспечение экологической безопасности техногенных объектов на основе «зеленых» стандартов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 687–701. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-687-701>. EDN: KJOKDW.

Original article

Ensuring the environmental safety of technogenic objects based on green standards

Elena E. Smirnova

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint Petersburg, Russia

Abstract. A certification in accordance with ISO 14 001 and EMAS allows the impact of economic activities on ecosystems to be understood and assessed, as well as environmental goals and objectives to be set. The effects of environmental management systems (EMS) largely depend on how companies decide to use them after certification. In this regard, the author explores issues, related to the use of ISO 14 000 and EMAS standards for improving the environmental safety of companies. The methodology is presented in the form of an environmental standardisation model and various levels

of the company environmental certification. The importance of environmental education of employees and a positive organisational climate is explained. However, the introduction of environmental management systems does not always lead to improved environmental performance of companies. Some companies focus on formal criteria. Nevertheless, EMS, environmental auditing and the principles of ISO 14 000 can help companies reduce their negative impact on the environment and increase their competitiveness. In a situation of uncertainty, the organisational climate, especially the attitude of employees towards the environment and environmental values, is of a priority importance for the implementation of the EMS objectives. Problems, associated with an ambiguous interpretation of standard requirements, were identified. It is recommended to pay attention to the creation of a positive organisational climate for successful environmental certification. In addition, there is a need for a more accurate assessment of the environmental activity effectiveness with a clear formulation of the requirements to standards and a control over their implementation.

Keywords: organizational climate, environmental safety, eco-certification, environmental management and audit system, EMAS, EMS, ISO 14 000

For citation: Smirnova E.E. Ensuring the environmental safety of technogenic objects based on green standards. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):687-701. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-687-701>. EDN: KJOKDW.

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивые продукты и услуги становятся более востребованными среди потребителей [1]. Инвесторы придают большое значение данным по вопросам развития устойчивости для обеспечения финансовых обязательств [2]. Заинтересованные компании учитывают экологические оценки в процессе принятия решений [3]. D.C. Broadstock, et al. [4] заявляют, что для достижения высоких результатов по экологическому компоненту компании должны проводить сертификацию экологических систем управления (EMS, environmental management systems). EMS (СЭМ) – всемирный инструмент, потенциально применимый любой организацией для улучшения управления своими экологическими аспектами и достижения постоянного улучшения экологической безопасности. Внедряя EMS, компании могут получить конкурентное преимущество за счет повышения экологических показателей, что позволяет улучшить внутреннюю эффективность организации. Существует два основных эталонных стандарта, устанавливающих требования к EMS: международный стандарт ISO 14 001, разработанный некоммерческой организацией под названием «Международная организация по стандартизации» (ISO), и схема экологического менеджмента и аудита (EMAS, environmental management and audit scheme), регулируемая Европейским регламентом ЕС 1221/2009. Успех обоих стандартов зависит от их очень гибких требований, которые позволяют любой организации настроить EMS в соответствии со своими внутренними характеристиками и определить наиболее эффективные решения для повышения их производи-

тельности. Внедрение EMS помогает в управлении окружающей средой, делая доступными такие аспекты, как регистрация и использование информации, знание и выполнение требований авторизации, техническое обслуживание предприятия, управление и обучение, а также эксплуатация процессов.

Сегодня в мире более 57 000 компаний используют стандартизированные EMS (environmental management and audit scheme), и ожидается, что это число будет неуклонно расти [5]. Многие компании, органы власти и частные лица считают сертификацию в соответствии с ISO 14 001 и EMAS гарантией высоких экологических показателей, так как она позволяет понять и оценить воздействие хозяйственной деятельности на экосистемы, а также установить экологические цели и задачи. Данные стандарты позволяют компаниям на систематической и структурированной основе разрабатывать экологическую политику и осуществлять управление окружающей средой. Так, EMAS и ISO 14 001 позволяют сократить выбросы углерода энергоемких предприятий в краткосрочной и, особенно, долгосрочной перспективе [6].

Несмотря на актуальное значение стандартов EMS среди исследователей и практиков, до сих пор ведутся споры об их эффективности с точки зрения улучшения экологических показателей. Результаты исследований указывают как на положительные, так и на отрицательные примеры реализации стандартов.

Исследование J. Álvarez-García, et al. [7] направлено на выявление мотивов, побуждающих компании внедрять EMS, барьеров, которые необходимо преодолеть в процессе, труд-

ностей с соблюдением требований стандарта ISO 14 001. F.F. Fagioli et al. [8] обсуждают преимущества от его внедрения.

Практика СЭМ приводит к различным экологическим преимуществам: сокращению и более эффективному использованию ресурсов [9], внедрению передовых методов управления окружающей средой в отношении экологического дизайна продукции, закупок, производства, логистики и упаковки [10]. Кроме того, EMS позволяет компаниям снизить выбросы [11] и риск экологических аварий, повысив безопасность хозяйственной деятельности [12], развивать возможности экологических инноваций [13], решать проблемы, связанные с технологиями и процедурами [14, 15].

В работе N.M. Todaro, et al. (2020) определены основные теоретические основы, применяемые для изучения как ISO 14 001, так и EMAS [16]. Ученые обсуждают недостатки внедрения данных стандартов в практику компаний. В статье A. Erauskin-Tolosa, et al. (2020) рассмотрены вопросы, связанные с принятием ISO 14 001 и EMAS с целью улучшения экологических показателей компаний [17]. I. Heras-Saizarbitoria, et al. (2020) указывают на символическое принятие стандартов и ставят под сомнение их воздействие на экологические показатели и обновление организационного климата компании [18]. Ряд исследований (например, J.A. Valenciano-Salazar, et al., 2021) подчеркивает важность и необходимость изучения организационной атмосферы в компании для интеграции нормативов экологической устойчивости [19].

Изучая воздействия сертифицированных компаний на окружающую среду (использование природных ресурсов, к примеру, топлива и воды, образование твердых отходов и сброс сточных вод) Arimura, et al. (2008) приходят к выводу о том, что ISO 14 001 со временем снижает негативное воздействие на экосистемы. При командно-административном подходе улучшение экологических показателей маловероятно, если только правила не будут год от года ужесточаться. Авторы отмечают, что у предприятий может быть больше стимулов для принятия ISO 14 001, если они экспортируют в ЕС, США или Канаду, где ISO-сертификация предпочтительна. Вот почему увеличение или уменьшение воздействия на окружающую среду не зависит напрямую от масштабов рынка. Предприятия имеют более сильный стимул для сертификации, если их основные клиенты требуют от поставщиков ее принятия с целью улучшить «зеленый» имидж. Однако клиенты редко обращаются к предприятиям с просьбой снизить воздействие на окру-

жающую среду. Точно так же осуществление контроля качества (QMS, quality management systems) не оказывает прямого влияния на экологические показатели, поскольку оно не предназначено для улучшения управления окружающей средой. Там, где реализуется программа по контролю качества ISO 9000:2015, есть все условия для принятия нормативов ISO 14 001. Это связано с тем, что и контроль качества QMS и ISO 14 001 включают аналогичные циклы PDCA (Plan-Do-Check-Act, «планируй–делай–проверяй–воздействуй»).

Внедрение цикла PDCA влечет за собой некоторые затраты на адаптацию, поскольку сотрудники должны быть обучены и ознакомлены с системой контроля и постоянного улучшения процессов и продуктов. Поскольку аналогичный цикл уже существует при контроле качества, затраты на корректировку снижаются, и предприятию легче внедрить систему ISO 14 001 [20].

Что касается системы управления качеством, в рамках сертификации она может сократить количество отходов и привлечь инновации для решения экологических проблем, особенно для управления устойчивыми цепочками поставок [21]. Управление качеством способствует достижению более высоких показателей эффективности в области экологической безопасности. QMS и EMS позволяют компаниям достигать улучшенных экологических, социальных и управленческих показателей, являясь подходящими бизнес-инструментами для удовлетворения требований заинтересованных сторон в сфере стандартов устойчивости. Их внедрение приводит к позитивным изменениям в отношениях экологической безопасности организаций [22]. Схемы сертификации и экомаркировки направлены на изменение природоохранной практики, но они могут привести к негативным результатам из-за определенных различий между сертификацией продукции посредством экомаркировки и экологической сертификацией компаний. Внедрение экомаркировки дает возможность получать более крупные выигрыши, но с более высокой стоимостью на продукцию. Экологическую сертификацию компаний относительно легко получить, но впоследствии у организации может быть меньшая прибыль.

Являются ли процессы сертификации движущей силой экологически чистого производства? Как быть, например, если при длительной перевозке использование сертифицированных ингредиентов в продукте ведет к уменьшению прибыли. Ясно, что сертификация помогает создать «зеленый» организационный климат и повышает осведомленность сотрудников об окружающей среде, но ее рутинный и порой

бюрократический характер связан с противоречивыми результатами экологической устойчивости. Наилучшее экологическое решение, как правило, остается за рамками стандартизации [23]. Анализируя выборку из 306 немецких производственных фирм, М. Wagner (2002) не обнаружил существенных различий в энергоэффективности между фирмами с EMS (EMAS и ISO 14 001) и без нее ни в 2001 г., ни в 1991–2001 гг. [24]. Для отходов внедрение системы экологического менеджмента в краткосрочной перспективе может иметь как положительный эффект (например, путем немедленно продвижения и организации повторного использования и переработки отходов внутри компании), так и негативный, ухудшая экологические показатели.

Последний эффект парадоксален, но он часто обнаруживается в утвержденных EMAS-отчетах: зафиксированные показатели, связанные с отходами, ухудшались, потому что благодаря внедрению систем управления у компаний появлялась возможность больше идентифицировать, классифицировать и управлять отходами материалов и продуктов. Контрольные индикаторы неизбежно показывали большее количество производимых отходов [25].

Таким образом, с одной стороны, сертификацию EMS можно использовать для структурирования и укрепления экологических усилий компаний снизить воздействие на окружающую среду. С другой стороны, формулировки указанных стандартов весьма расплывчаты, и их можно интерпретировать и применять по-разному.

Сертификация приводит к различным результатам. К тому же стандартизированная EMS не гарантирует сиюминутного улучшения экологических показателей. Следует даже отметить – она определенно не снижает негативное воздействие на окружающую среду. Разумеется, можно пройти сертификацию и зарегистрироваться, не претендуя на особые улучшения, но эко-эффекты EMS в очень большой степени зависят от того, как компании решат их использовать после сертификации [26].

Несмотря на обширную литературу академическим исследованиям по ISO 14 001 и EMAS не хватает адекватных теоретических обобщений, которые имеют решающее значение для оценки текущего состояния знаний и определения путей для будущих исследований.

Таким образом, цель исследования заключается в том, чтобы показать важность организационного климата фирмы в качестве одного из решающих средств для реализации EMS. Основная цель работы также заключается в ис-

следовании проблем, связанных с использованием стандартов ISO 14 001 и EMAS для повышения экологической эффективности компаний.

В связи с этой целью решаются следующие задачи: анализируются возможные проблемные аспекты, связанные с использованием данных стандартов; дается осмысление необходимости в организации позитивного организационного климата.

МЕТОДЫ

В данной работе используется следующая модель экологической стандартизации и различных уровней экологизации организации. В центре модели по важности развития организационного климата находится (1) сотрудник со своими ценностями и установками как условиями его производственной деятельности [27]. Следующий уровень – (2) микросистема, включающая в себя его коллег и руководителя по работе. Далее, корпоративная система (3) включает в себя организационный климат, обязанности и стратегию, а в крупных компаниях к этому уровню относятся еще высшее руководство и другие аспекты функционирования фирмы (время, ресурсы).

В сертифицированных компаниях нормативы экологической сертификации являются частью корпоративной системы. Однако в несертифицированных компаниях это часть (4) макросистемы, включающей заинтересованные стороны в качестве акционеров, сотрудников, поставщиков, клиентов или членов более широкого сообщества, которые могут быть затронуты экологическими последствиями деятельности организации.

Когда экологические ценности и отношение сотрудника к окружающей среде соответствуют практике, предписанной системой сертификации, и гармонируют с организационным климатом и «зеленой» стратегией, сертификация способствует экологизации организации. Напротив, когда сотрудник сталкивается с конфликтом между своими ценностями и сертификационными требованиями, возникшее напряжение приводит к разочарованию и препятствует экологизации.

Рассматриваемый диссонанс – это не просто отрицание или полное отсутствие гармонизации, но привативная ее форма, т.е. не достаточная, чтобы сотрудник принял ценности сертификации в качестве собственных и не способствующая изменению экологической практики фирмы.

Соответственно, (1) пассивная (фоновая), (2) низкая и (3) эффективная (успешная) экологизация являются различными результатами стандартизации.

Центростремительное становление организационного климата отвечает целям максимальной экологизации. Напротив, центробежное стремление сохранить консервативную направ-

ленность в области показателей экологической деятельности не способствует экологизации, выступая источником противоречивого и возрастающего организационного диссонанса (рис. 1).



Рис. 1. Системный подход к модели экологической сертификации
Fig. 1. A systematic approach to the environmental certification model

Процесс экологизации фирмы предполагает следующие этапы. На уровне пассивной (фоновой) экологизации у сотрудников имеют место конфликтующие убеждения и ожидания, приводящие к когнитивному несоответствию и дефициту желания поместить систему сертификации на системный (центральный) уровень, преобладает стремление перенести ее реализацию на более поздний срок, возникают условия для внутренней дисгармонии (1); данное обстоятельство приводит к эмоциональному дискомфорту – диссонансу, что сказывается на принятых ценностях и установках (происходит что-то не то, время растрачивается не так, как следует, личные убеждения не соответствуют требованиям схемы сертификации) (2); персонал, все же, благодаря эко-

логическому обучению и лидерству мотивирован уменьшить диссонанс, преодолеть разочарование и принять ценность экологических нормативов, которая всякий раз непосредственным образом сообщая (публично) воспринимается всеми присутствующими работниками с целью создания оптимального организационного климата (3); применяются различные стратегии для уменьшения несоответствия и диссонанса посредством развития образования и предоставления соответствующей информации, сотрудники убеждаются на практике, что они с пользой распоряжаются временем с целью достичь максимальной экологизации компании: их время потрачено не зря, их текущая деятельность отвечает актуальным задачам принятой стандартизации (4) [28].

Очевидно, что вложенные ресурсы, затраченное время, ответственность и деятель-

ность работников должны приводить к усилению рыночных эффектов. Любой разрыв между ними порождает диссонанс и фрустрацию у персонала фирмы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

EMAS. В 1993 г. Европейская комиссия выпустила документ под названием «Схема экологического управления и аудита» (EMAS I) как шаг к цели устойчивого развития в Европейском Союзе. Данный регламент можно рассматривать как проявление политической воли в отношении устойчивого развития. В 1995 г. этот регламент был предложен для сертификации организаций.

С тех пор EMAS была принята более чем 3900 европейскими организациями, в частности, в Германии, Италии и Испании. В 2001 г. был принят пересмотренный Регламент N761/2001 (EMAS II). Наконец, в 2010 г. вступил в силу Регламент N1221/2009 (EMAS III). В 2017 г. в приложения I, II и III Регламента EMAS были внесены поправки, включающие изменения, связанные с пересмотром стандарта ISO 14 001:2015.

Обычно EMS реализуется на добровольной основе, даже если есть примеры, когда компании в большей или меньшей степени были вынуждены его внедрять. Основная идея состоит в том, чтобы создать систему управления, которая поддерживает организацию в выполнении обязательств по экологической политике, достижению экологических и экономических целей. Это часть общей системы управления, которая включает организационную структуру, деятельность по планированию, обязанности, методы, процедуры, процессы и ресурсы для разработки, достижения, пересмотра и поддержания экологической политики [29].

Для компаний, зарегистрированных в EMAS, регламент требует ежегодной публикации экологического отчета, в котором показаны основные данные и экологические показатели организации, проверенные и подтвержденные независимой третьей стороной.

Стандарт и регламент должны обеспечивать элементы эффективной системы управления, и они содержат требования в отношении каждого элемента. Например, компании должны подготовить экологическую политику (один из элементов), и как ISO 14 001, так и EMAS требует, чтобы эта политика была подходящей, доступной, задокументированной и т.д.

Схема сертификации по своей сути включает категориальное мышление и дихотомический взгляд на компании или продукты как

на «зеленые» или «незеленые». По словам T. Daddi, et al, через 2 г. после регистрации EMAS у 50% компаний показатели экологической эффективности имели худшие значения, чем за 2 г. до принятия EMAS, в то время как показатели улучшились только в 39% компаний [30]. M. Wagner, как уже отмечалось, не обнаружил существенных различий в энергоэффективности между фирмами с EMAS и ISO 14 001 и без них ни в 2001 г., ни в 1991–2001 гг. [24].

ISO 14 001. В начале 1990-х гг. Всемирный совет предпринимателей по устойчивому развитию (WBCSD) опубликовал Декларацию о связи между охраной окружающей среды, экономическим ростом и удовлетворением человеческих потребностей. В этом документе поставлен вопрос о далеко идущих сдвигах в корпоративных подходах, а также новых способах ведения бизнеса с целью достижения устойчивости.

Были предприняты инициативы по изучению возможностей разработки стандартов в области рационального использования окружающей среды. Неправительственная организация ISO создала группу под названием Стратегическая консультативная группа по окружающей среде (SAGE) для изучения того, как разработка международных стандартов может быть полезна для делового сообщества. SAGE рекомендовала ISO создать технический комитет, который мог бы разработать международные стандарты управления окружающей средой. Соответственно, был учрежден такой комитет.

Сегодня существует целая серия ISO 14 000 гармонизированных стандартов экологического менеджмента, в основе которой лежит стандарт ISO 14 001, опубликованный в 1996 г. В нем содержатся около 50 требований к EMS организаций, желающих, чтобы их система управления окружающей средой была сертифицирована независимой третьей стороной.

Чтобы получить регистрацию ISO 14 001, предприятие сначала соглашается уменьшить воздействие на окружающую среду и выполнять свои обязательства, т.е. провести экологическую экспертизу для определения воздействия на окружающую среду, определить, какие из экологических аспектов являются значимыми. Затем компания должна продемонстрировать, что ее самоуправляющаяся EMS соответствует требованиям пяти основных компонентов PDCA (Plan–Do–Check–Act): определения экологической политики объекта, планирования проекта (Plan, «Планирова-

ние»), реализации и поддержки (Do, «Выполнение»), оценки (Check, «Проверка»), корректирующих действий для улучшения (Act, «Действие») и анализа со стороны руководства. После регистрации в соответствии с

ISO 14 001 предприятие должно следовать циклу PDCA, чтобы управление было эффективным. Считается, что внедрение ISO 14 001 позволит снизить воздействие на окружающую среду в течение нескольких лет [25] (рис. 2).



Рис. 2. PDCA-модель как основа для успешной экологизации организаций
Fig. 2. PDCA-model as a basis for successful greening of organizations

Поскольку PDCA-модель основана на лидерских качествах, каждый ее элемент позитивно воздействует на внутреннюю практику, ранее оставшуюся неизменной, и вынуждает компании устранять расхождение между ежедневными практиками и письменной документацией, требуемой экологическим стандартом. Отметим также, что в организациях, стремящихся к достижению истинной устойчивости, управление окружающей средой и создание «зеленого» климата предшествуют долгосрочной экологической сертификации. В небольших фирмах именно руководители как лидеры, реализуя ценности «зеленого» курса, инициируют первоначальные меры по экологической безопасности. Сформированное таким образом понимание важности защиты экосистемы – прямо или косвенно – способствует диалогу сотрудников и менеджеров, совместному строительству «зеленого» климата.

Таким образом, до сертификации частые личные взаимодействия внутри центростремительной микросистемы руководителей и сотрудников имеют решающее значение для создания оптимального организационного климата. Иначе говоря, хотя экологизация компаний испытывает определенное давление заинтересованных сторон, конкурентов, распоряжений правительства и др., общее восприятие сотрудниками экологической политики и практики с желанием поместить систему сертификации на системный (центральный) уровень, а также высокая степень согласия среди коллег относительно климата определяют дальнейшие успешные шаги экологической сертификации [31].

В соответствии с ISO 14 001 предприятие может публиковать отчеты, в которых описываются его экологическая политика, цели и достижения, текущее состояние управления

окружающей средой и воздействие на нее, стратегия смягчения последствий.

Причинами публикации экологического отчета являются организационные моменты реализации управления: социальная ответственность, экологическое просвещение сотрудников и т.д. Фирма также публикует отчеты для улучшения связи с заинтересованными сторонами – сотрудниками, акционерами, финансовыми учреждениями, инвесторами, потребителями, экологическими неправительственными организациями, правительствами и местными жителями с целью улучшить свой корпоративный имидж, что, в свою очередь, положительно влияет на решения заинтересованных сторон: например, потребителей, покупающих продукцию предприятия, и инвестирующих в него деловых кругов. Затем предприятие может установить новые цели, достижение которых связано с получением дополнительных бенефиций. Полагают, что нарастающая публикация отчетов со временем приводит к снижению воздействия на окружающую среду [25].

Собственные требования организации к своей системе EMS должны быть верифицированы посредством внутреннего аудита. Данный инструмент экологической сертификации компании показывает, насколько требования международного стандарта результативно внедрены и надлежащим образом функционируют. Благодаря аудиту, появляется возможность ответить на вопрос, гарантирует ли стандартизированная EMS приемлемые экологические показатели, и определить, снижает ли система негативное воздействие на окружающую среду [20]. Без сомнения, аудит можно использовать для структурирования и укрепления экологических усилий компании. Многие предприятия добились значительного снижения воздействия на окружающую среду.

Поскольку требования стандартов сформулированы неточно (например, не существует заранее определенных правил, касающихся того, какие химические вещества и материалы могут использоваться, или не совсем ясно, требуется ли соблюдение требований законодательства и т.д.).

Компаниям и внешним аудиторам, которые должны проверять постоянное улучшение экологических показателей, остается только договариваться о конкретных оценках экологизации.

В данных условиях программа внутреннего аудита помогает определить ключевые приоритеты.

Необходимо выделить несколько проблемных зон экологизации согласно сертификации ISO 14 001 и регистрации EMAS:

Во-первых, имеет место несоответствие между требованиями стандартов ISO 14 001 и EMAS реальным экологическим показателям компаний. Стандарты не регулируют все аспекты их хозяйственной деятельности, которые могут оказывать негативное влияние на окружающую среду. Поскольку общепринятый метод измерения и оценки экологических показателей отсутствует, неточность формулировок стандартов – одна из причин недостаточной прозрачности процесса экологического аудита [6].

Во-вторых, каждое требование может быть интерпретировано по-разному, что приводит к диссонансу среди персонала и препятствует экологизации компании [23].

В-третьих, проблема постоянного улучшения экологических показателей затрудняет оценку и аудит результатов сертификации. Компании могут улучшать формальные показатели (например, коэффициенты), при неизменном (или даже ухудшившемся) воздействии на окружающую среду. Не существует общепринятого метода измерения или оценки экологических показателей, а это усложняет проблему оценки параметров, касающихся не только экологической эффективности, но и управленческих усилий. В конце концов, воздействие объекта на окружающую среду в целом часто остается под вопросом [8].

В-четвертых, компании проводят аудиты без должного понимания реальных экологических проблем, с которыми они сталкиваются, а аудиторы часто не обладают необходимыми знаниями и опытом в области экологии и аудита [16, 17].

В-пятых, независимые аудиторы должны быть действительно независимы и объективны. Однако это не всегда выполняется, что приводит к недостаточной прозрачности результатов проверки [26].

В-шестых, необходимо правильное обучение персонала, чтобы создать позитивный организационный климат и поддерживать экологические и устойчивые процессы. Если у сотрудников преобладают конфликтующие убеждения и ожидания, это приведет к когнитивному несоответствию и фрустрации, что препятствует экологизации компании [28].

В-седьмых, незначительная разница между компаниями, которые улучшили один показатель, и компаниями, которые интегрировали экологические вопросы в свои бизнес-стратегии и смогли снизить общее воздей-

ствие на окружающую среду, может быть несправедливо оценена при использовании только ISO-сертификации или регистрации EMAS.

Также важно учитывать другие факторы, такие как эффективный отвод основных загрязняющих веществ, информацию о балансе водопотребления и водоотведения за год, составе, содержании и весе отходов производства и потребления за год, годовом отчете о выполнении природоохранных мероприятий, нормативных и сверхнормативных расчетах платы за загрязнения экологической системы, достижении устойчивости производства и др. [32].

Таким образом, использование стандартов ISO 14 001 и EMAS может представлять некоторые сложности, которые нужно учитывать при их применении. Отметим также, что указанные проблемы до сих пор не позволяют принять Федеральный закон по экологическому аудиту в России [33]. Экологический аудит исключен из понятия «аудиторская деятельность», а значит не имеет никакого отношения к финансовому аудиту, как, впрочем, и к аудиту как таковому¹. Преобладание в стране командно-административных способов управления экономикой не способствует развитию добровольного экологического аудита в отдельных хозяйствующих субъектах, в которых он худо-бедно был внедрен (Москва, Башкирия, Татарстан, Томская обл. и др.).

Следует отметить следующее. Стандарты требуют постоянного улучшения экологических характеристик. Это означает непрерывный, год за годом, процесс совершенствования измеримых результатов EMS, связанных с контролем значимых экологических аспектов, на основе экологической политики организации, ее целей и задач. Очевидно, что усилия компании сконцентрированы на улучшении общей производительности. В стандартах не упоминается, должны ли проводимые мероприятия быть направлены на существенные аспекты экологической сертификации.

Стандарт ISO 14 031 из серии ISO 14 000, включающий руководство по оценке экологических показателей и в большей степени связанный с реализацией EMS, предлагает использование показателей эффективности управления (management performance indicators, MPis) и показателей эффективности деятельности (operational performance indicators, OPis). Целью ISO 14 031 является

помощь в оценке экологической эффективности (environmental performance evaluation, EPE), определяемой как процесс, облегчающий принятие управленческих решений в отношении экологической эффективности организации путем выбора показателей, сбора и анализа данных, оценки информации по критериям экологической эффективности, отчетности и обмена информацией, периодически пересматривая и улучшая этот процесс.

Стоит еще раз отметить, что не существует общепринятого метода измерения или оценки экологических показателей. Это неудивительно, так как оценки и аудит очень сложны и зависят от стоимости (особенно проблематично положение малых и средних фирм, для которых индивидуальная сертификация не по карману). Например, при подсчете рентабельности часто выбираются показатели в виде коэффициентов, где количество сырья делится на показатели прибыли. Следовательно, ухудшение воздействия на окружающую среду может быть компенсировано улучшением бизнеса (стоимостью активов, капитала, инвестиций и т.д.).

Формулировки стандартов на самом деле могут быть истолкованы так, что улучшаться должны именно системы управления, а не экологические показатели. Поскольку цели часто формулируются в виде соотношений (коэффициентов), постольку можно объявить, что постоянное улучшение достигнуто. Парадокс состоит в том, что при достигнутом улучшении увеличивается общее негативное воздействие на окружающую среду (!). Поэтому представляется крайне важным прояснить требование постоянного улучшения.

На практике аудиторы должны иметь возможность сравнивать определенные улучшения с некоторыми ухудшениями и решать, является ли общее развитие положительным или нет. Ситуация очень похожа на этап взвешивания в оценке жизненного цикла (LCA). Взвешивание в LCA означает, что результаты всех видов воздействия преобразуются в одно число. Точно так же аудиторам необходимо обобщить информацию, полученную по показателям, выбранным в каждой фирме, чтобы решить: имеет место улучшение или нет. Затруднение состоит в том, чтобы оценить параметры, касающиеся не только экологической эффективности, но и управленческих усилий. Это крайне усложняет проблему взвешивания. Примером служит следующий вопрос: сколько часов экологического

¹Письмо Минфина России от 20.08.2002 г. N04-02-06/2/65 «Экологический аудит» // Главбух.ру. Режим доступа: https://www.glavbukh.ru/npd/edoc/99_902161320?ysclid=lm583924h0143331278 (дата обращения: 03.09.2023).

обучения (показатель эффективности управления) необходимо для компенсации увеличения выбросов углекислого газа (показатель эффективности эксплуатации)?

С экологической точки зрения, разработка индикаторов для освещения и оценки природоохранных мероприятий кажется привлекательной и достойной похвалы. В то же время представляется актуальным вопрос о том, какое постоянное улучшение, если оно вообще есть, EMS гарантирует?

Принимая во внимание общую цель ISO 14001, заключающуюся в поддержке защиты окружающей среды и предотвращении загрязнения, основное внимание следует уделять характеристикам, тесно связанным с воздействием на окружающую среду. В частности, отношение сотрудника к окружающей среде и экологическим ценностям, организационный климат способствуют экологизации фирмы. Применяются различные стратегии для уменьшения несоответствия и диссонанса. Среди них экологический аудит с целью достичь максимальной экологизации компании и создать надлежащий организационный климат для сотрудников как важнейшее условие улучшения экологической деятельности компании.

Экологический аудит ISO 14010 «Руководство по экологическому аудиту – Общие принципы экологического аудита» включает следующие этапы: определение целей и области применения аудита; планирование аудита; разработку программы аудита и выбор методов; проведение аудита; оценку результатов аудита; подготовку отчета об аудите; систематизацию и управление полученной информацией.

Однако имеются некоторые общие проблемные места, касающиеся аудита, например, на крупных предприятиях. Поскольку последние обычно работают с ограниченным числом целей, они контролируют лишь очень небольшую часть экологических показателей. Как следствие, некоторые компании проводят аудиты без должного понимания реальных экологических проблем, с которыми они сталкиваются.

Например, они могут сосредоточиться на соблюдении нормативных требований по утилизации отходов, тогда как на самом деле главной проблемой может быть уменьшение объема отходов в принципе.

Кроме того, экологические показатели часто имеют форму коэффициентов и могут быть улучшены в свете требования о постоянном улучшении при неизменном (или даже

ухудшившемся) воздействии на окружающую среду. Другие компании ориентируются исключительно на формальные критерии, которые не отражают всего многообразия проблем и перспектив улучшения экологической деятельности [6].

Принципы экологического аудита помогают малым фирмам проводить более эффективный контроль за своей деятельностью и уменьшать отрицательное влияние на экосистемы.

Скажем, что многие из мелких фирм не пытаются предпринять систематические усилия по охране окружающей среды, а некоторые вообще не рассматривают вопросы своей экологизации. Но малые и средние предприятия могут объединиться в сети для проведения сертификации (модель *Hackefors*) [25]. Если они перейдут на централизованное теплоснабжение, это позволит сократить выбросы углекислого газа, оксидов азота и диоксида серы в атмосферу.

Ключевые принципы экологического аудита помогают небольшим компаниям повысить свою конкурентоспособность и сделать более осознанный выбор при планировании своей деятельности.

Хотя принципы ISO 14 010 направлены на улучшение качества экологического аудита и контроля деятельности компаний и организаций, они не всегда однозначны и могут быть интерпретированы по-разному экспертами в области экологического аудита, что приводит к недостаточной прозрачности процесса.

Они охватывают только экологический аудит и не регулируют другие негативные аспекты деятельности компаний, такие как промышленные выбросы, отходы и загрязнение воды. Отсюда очевидно, что принципы ISO 14 010 не гарантируют, что результаты аудита будут использоваться для улучшения экологической деятельности: компании могут не реагировать на оценки аудиторов или игнорировать их рекомендации.

Таким образом, для понимания сути EMS нужно выйти за рамки того факта, что компания имеет ту или иную соответствующую сертификацию. Возможно по-разному интерпретировать каждое требование ISO 14 001, 14 010, 14 031 и EMAS, особенно в отношении постоянных улучшений. ISO-сертификация или EMAS-регистрация фактически не делают различия между компанией, улучшившей один показатель, и компанией, интегрировавшей вопросы охраны окружающей среды в свои основные бизнес-стратегии и снизившей общее воздействие на окружающую среду.

Поэтому важно обратить внимание на изменение инфраструктуры EMS, сутью которой выступает позитивный организационный климат. Именно он позволяет устранить несоответствие относительно того, разрешены ли только экологические параметры или также классические бизнес-параметры оценки, чтобы определить, какие аспекты являются значимыми. Если на уровне пассивной (фоновой) экологизации у сотрудников преобладают конфликтующие убеждения и ожидания, приводящие к когнитивному несоответствию и фрустрации, то при наличии желания поместить систему сертификации на системный (центральный) уровень заложенный в EMS потенциал экологизации будет полностью раскрыт.

Если персонал понимает, какие экологические аспекты определила компания и связанные с ними воздействия на экосистему, какие аспекты считаются значительными и почему, какие индикаторы были отобраны для мониторинга каждого существенного аспекта и развития стратегии экологических показателей, то экологизация компании обеспечит «зеленую» практику [15].

Экологические ценности сотрудников, а также их экологическое образование, пожалуй, выступают главными и четкими мотивами того, было ли или будет ли выполнено требование постоянного улучшения.

Возможности сертификационной модели диссонанса и созвучия в процессе экологизации компании представлены на рис. 3.



Рис. 3. Процесс экологизации компании
Fig. 3. Company greening process

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный подход представляет собой анализ требований стандарта EMS и экологического аудита, а также проблем, связанных с их внедрением компаниями. Результаты исследования показывают, что сертификация EMS и прохождение экологического аудита являются важными инструментами для компаний в направлении устойчивого развития и повышения экологической эффективности своей деятельности. Для обеспечения эффективности и улучшения экологических показателей, необходимо уделять внимание не только выполнению требований стандартов, но и созданию внутренней инфраструктуры компаний, которая сможет обеспечить позитивный организационный климат и вовлеченность персонала в процессы экологической деятельности. Это является ключевым фактором, который определяет успешность внедрения стандарта EMS и прохождение экологического аудита.

Также анализ указывает на проблемы, связанные с неоднозначностью и интерпретацией требований стандартов, что требует более ясной формулировки и уточнения со стороны регулирующих органов. Другой проблемой является возможность игнорирования компаниями результатов экологического аудита или отсутствие реакции на рекомендации аудитора.

Таким образом, из анализа следует, что сертификация EMS и прохождение экологического аудита могут быть эффективными методами для компаний в направлении устойчивого развития и повышения экологической эффективности. Однако для достижения целей улучшения экологических показателей необходимо обращать внимание на создание внутренней инфраструктуры компаний, которая будет обеспечивать позитивный организационный климат и вовлеченность персонала. Нужно больше внимания уделить ясному

формулированию требований стандартов и контролю за их выполнением, чтобы обеспечить более точную оценку эффективности экологических мероприятий компаний. Для улучшения эффективности EMS, следует учи-

тывать организационный климат фирмы, а также проводить дополнительные исследования для определения текущего состояния знаний и дальнейших путей развития в этой области.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Magistris T., Gracia A. Consumers' willingness-to-pay for sustainable food products: The case of organically and locally grown almonds in Spain // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 118. P. 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.050>.
2. Van Duuren E., Plantinga A., Scholtens B. ESG integration and the investment management process: Fundamental investing reinvented // *Journal of Business Ethics*. 2016. Vol. 138. Iss. 3. P. 525–533. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2610-8>.
3. Rajesh R. Exploring the sustainability performances of firms using environmental, social, and governance scores // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 247. P. 119600. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119600>.
4. Broadstock D.C., Chan K., Cheng L.T.W., Wang X. The role of ESG performance during times of financial crisis: Evidence from COVID-19 in China // *Finance Research Letters*. 2021. Vol. 38. P. 101716. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101716>.
5. Ammenberg J., Sundin E. Products in environmental management systems: drivers, barriers and experiences // *Journal of Cleaner Production*. 2005. Vol. 13. P. 405–415. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2003.12.005>.
6. Testa F., Rizzi F., Daddi T., Gusmerotti M., Frey M., Iraldo F. EMAS and ISO 14001: the differences in effectively improving environmental performance // *Journal of Cleaner Production*. 2014. Vol. 68. P. 165–173. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.12.061>.
7. Álvarez-García J., Del Río Rama M.D.I.C., Saraiva M., Pires A.R. The influence of motivations and barriers in the benefits. An empirical study of EMAS certified business in Spain // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 185. Iss. 1. P. 62–74. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.023>.
8. Fagioli F.F., Paolotti L., Boggia A. Trends in environmental management systems research. A content analysis // *Environmental and Climate Technologies*. 2022. Vol. 26. Iss. 1. P. 46–63. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2022-0005>.
9. Budi I.Y., Karuniasa M., Nurcahyo R. Effectiveness of ISO 14001:2015 implementation in small and medium enterprises (case study: a laundry machine industry SME in Bantul Yogyakarta) // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 423. Iss. 1. P. 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/423/1/012010>.
10. Wong C.W., Wong C.Y., Boonitt S. Environmental management systems, practices and outcomes: Differences in resource allocation between small and large firms // *International Journal of Production Economics*. 2020. Vol. 228. P. 107734. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107734>.
11. Russo M.V. Explaining the impact of ISO 14001 on emission performance: A dynamic capabilities perspective on process and learning // *Business Strategy and the Environment*. 2009. Vol. 18. Iss. 5. P. 307–319. <https://doi.org/10.1002/bse.587>.
12. Bravi L., Santos G., Pagano A., Murmura F. Environmental management system according to ISO 14001:2015 as a driver to sustainable development // *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. 2020. Vol. 27. Iss. 6. P. 2599–2614. <https://doi.org/10.1002/csr.1985>.
13. Montobbio F., Solito I. Does the eco-management and audit scheme foster innovation in European firms? // *Business Strategy and the Environment*. 2018. Vol. 27. Iss. 1. P. 82–99. <https://doi.org/10.1002/bse.1986>.
14. Younis H., Sundarakani B. The impact of firm size, firm age and environmental management certification on the relationship between green supply chain practices and corporate performance // *Benchmarking: An International Journal*. 2020. Vol. 27. Iss. 1. P. 319–346. <https://doi.org/10.1108/BIJ-11-2018-0363>.
15. Смирнова Е.Э. Анализ и управление рисками в российских и международных стандартах безопасности // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2023. Т. 13. Iss. 2. С. 336–347. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-336-347>. EDN: EARQBL.
16. Todaro N.M., Daddi T., Testa F., Iraldo F. Organization and management theories in environmental management systems research: A systematic literature review // *Business Strategy and Development*. 2020. Vol. 3. Iss. 1. P. 39–54. <https://doi.org/10.1002/bsd2.77>.
17. Erauskin-Tolosa A., Zubeltzu-Jaka E., Heras-Saizarbitoria I., Boiral O. ISO 14001, EMAS and environmental performance: A meta-analysis // *Business Strategy and the Environment*. 2020. Vol. 29. Iss. 3. P. 1145–1159. <https://doi.org/10.1002/bse.2422>.
18. Heras-Saizarbitoria I., Boiral O., Díaz de Junguitu A. Environmental management certification and environ-

- mental performance: greening or green washing? // *Business Strategy and the Environment*. 2020. Vol. 29. Iss. 6. P. 2829–2841. <https://doi.org/10.1002/bse.2546>.
19. Valenciano-Salazar J. A., Andre F. J., Martín-de Castro G. Sustainability and firms' mission in a developing country: the case of voluntary certifications and programs in Costa Rica // *Journal of Environmental Planning and Management*. 2021. Vol. 65. Iss. 6. P. 1–25. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1950658>.
20. Arimura T. H., Hibiki A., Katayama H. Is a voluntary approach an effective environmental policy instrument? A case for environmental management systems // *Journal of Environmental Economics and Management*. 2008. Vol. 55. Iss. 3. P. 281–295. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2007.09.002>.
21. Zimon D., Madzik P., Dellana S., Sroufe R., Ikram M., Lysenko-Ryba K. Environmental effects of ISO 9001 and ISO 14001 management system implementation in SSCM // *The TQM Journal*. 2021. Vol. 34. Iss. 3. P. 418–447. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2021-0025>.
22. Ronalter L. M., Bernardo M., Romani J. M. Quality and environmental management systems as business tools to enhance ESG performance: a cross-regional empirical study // *Environment Development and Sustainability*. 2023. Vol. 25. P. 9067–9109. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02425-0>.
23. Flagstad I., Hauge A. L., Johnsen S. Å. K. Certification dissonance: Contradictions between environmental values and certification scheme requirements in small-scale companies // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 358. P. 132037. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132037>.
24. Wagner M. The influence of ISO 14001 and EMAS certification on environmental and economic performance of firms: An empirical analysis. In: Bennett, M., Rikhardsson, P.M., Schaltegger, S. (Eds.). *Environmental Management Accounting – Purpose and Progress. Eco-Efficiency in Industry and Science. Ser.: Eco-Efficiency in Industry and Science*. Dordrecht: Springer, 2003. Vol. 12. P. 367–386. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0197-7_16.
25. Ammenberg J. Do standardised environmental management systems lead to reduced environmental impacts? // *Ser.: Linköping Studies in Science and Technology. Dissertations*. Linköping: Linköping University, 2003. 109 p.
26. García-Álvarez M., de Junguitu A. D. Shedding light on the motivations and performance of the eco-management and audit scheme (EMAS) // *Environmental Impact Assessment Review*. 2023. Vol. 99. P. 107045. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107045>.
27. Slesarev M., Kovrigin A., Kafanova J. Mathematical and mental modeling for ecological reconstruction of the environment of construction objects // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 869. Iss. 1. P. 062017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/6/062017>.
28. Hinojosa A.S., Gardner W.L., Walker H.J., Coglisier C., Gullifor D. A review of cognitive dissonance theory in management research // *Journal of Management*. 2017. Vol. 43. Iss. 1. P. 170–199. <https://doi.org/10.1177/0149206316668236>.
29. Martins F., Fonseca L., Comparison between eco-management and audit scheme and ISO 14001:2015 // *Energy Procedia*. 2018. Vol. 153. P. 450–454. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.023>.
30. Daddi T., Magistrelli M., Frey M., Iraldo F. Do environmental management systems improve environmental performance? Empirical evidence from Italian companies // *Environment, development and sustainability*. 2011. Vol. 13. P. 845–862. <https://doi.org/10.1007/s10668-011-9294-8>.
31. Flagstad I., Johnsen S. Å. K., Rydstedt L. The process of establishing a greenclimate: Face-to-face interaction between leaders and employees in the microsystem // *The Journal of Values-Based Leadership*. 2021. Vol. 14. Iss. 1. P. 5. <https://doi.org/10.22543/0733.141.1343>.
32. Гаджиев Н. Г., Ахмедова Х. Г., Коноваленко С. А., Гаджиев М. Н. Организационно-методологические механизмы осуществления экологического аудита в Российской Федерации // *Юг России: экология, развитие*. 2020. Т. 15. № 2 (55). С. 6–16. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-6-16>. EDN: DXLWMB.
33. Кванина В. В. Экологический аудит: анализ, проблемы и перспективы // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Право*. 2020. Т. 20. № 1. С. 33–45. <https://doi.org/10.14529/law200106>.

REFERENCES

1. Magistris T., Gracia A. Consumers' willingness-to-pay for sustainable food products: The case of organically and locally grown almonds in Spain. *Journal of Cleaner Production*. 2016;118:97–104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.050>.
2. Van Duuren E., Plantinga A., Scholtens B. ESG integration and the investment management process: Fundamental investing reinvented. *Journal of Business Ethics*. 2016;138(3):525–533. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2610-8>.
3. Rajesh R. Exploring the sustainability performances of firms using environmental, social, and governance scores. *Journal of Cleaner Production*. 2020;247:119600. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119600>.
4. Broadstock D.C., Chan K., Cheng L.T.W., Wang X. The role of ESG performance during times of financial crisis: Evidence from COVID-19 in China. *Finance Research Letters*. 2021;38:101716.

<https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101716>.

5. Ammenberg J., Sundin E. Products in environmental management systems: drivers, barriers and experiences. *Journal of Cleaner Production*. 2005;13:405-415. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2003.12.005>.
6. Testa F., Rizzi F., Daddi T., Gusmerotti M., Frey M., Iraldo F. EMAS and ISO 14001: the differences in effectively improving environmental performance. *Journal of Cleaner Production*. 2014;68:165-173. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.12.061>.
7. Álvarez-García J., Del RíoRama M.D.I.C., Saraiva M., Pires A.R. The influence of motivations and barriers in the benefits. An empirical study of EMAS certified business in Spain. *Journal of Cleaner Production*. 2018;185(1):62-74. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.023>.
8. Fagioli F. F., Paolotti L., Boggia A. Trends in environmental management systems research. A content analysis. *Environmental and Climate Technologies*. 2022;26(1):46-63. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0005>.
9. Budi I. Y., Karuniasa M., Nurcahyo R. Effectiveness of ISO 14001:2015 implementation in small and medium enterprises (case study: a laundry machine industry SME in Bantul Yogyakarta). *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2020;423(1):012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/423/1/012010>.
10. Wong C. W., Wong C. Y., Boonitt S. Environmental management systems, practices and outcomes: Differences in resource allocation between small and large firms. *International Journal of Production Economics*. 2020;228:107734. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107734>.
11. Russo M. V. Explaining the impact of ISO 14001 on emission performance: A dynamic capabilities perspective on process and learning. *Business Strategy and the Environment*. 2009;18(5):307-319. <https://doi.org/10.1002/bse.587>.
12. Bravi L., Santos G., Pagano A., Murmura F. Environmental management system according to ISO 14001:2015 as a driver to sustainable development. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. 2020;27(6):2599-2614. <https://doi.org/10.1002/csr.1985>.
13. Montobbio F., Solito I. Does the eco-management and audit scheme foster innovation in European firms? *Business Strategy and the Environment*. 2018;27(1):82-99. <https://doi.org/10.1002/bse.1986>.
14. Younis H., Sundarakani B. The impact of firm size, firm age and environmental management certification on the relationship between green supply chain practices and corporate performance. *Benchmarking: An International Journal*. 2020;27(1):319-346. <https://doi.org/10.1108/BIJ-11-2018-0363>.
15. Smirnova E.E. Risk analysis and management according to Russian and international safety standards. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):336-347. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-336-347>. EDN: EARQBL.
16. Todaro N.M., Daddi T., Testa F., Iraldo F. Organization and management theories in environmental management systems research: A systematic literature review. *Business Strategy and Development*. 2020;3(1):39-54. <https://doi.org/10.1002/bsd2.77>.
17. Erauskin-Tolosa A., Zubeltzu-Jaka E., Heras-Saizarbitoria I., Boiral O. ISO 14001, EMAS and environmental performance: A meta-analysis. *Business Strategy and the Environment*. 2020;29(3):1145-1159. <https://doi.org/10.1002/bse.2422>.
18. Heras-Saizarbitoria I., Boiral O., Díaz de Junguitu A. Environmental management certification and environmental performance: greening or green washing? *Business Strategy and the Environment*. 2020;29(6):2829-2841. <https://doi.org/10.1002/bse.2546>.
19. Valenciano-Salazar J. A., Andre F. J., Martín-de Castro G. Sustainability and firms' mission in a developing country: the case of voluntary certifications and programs in Costa Rica. *Journal of Environmental Planning and Management*. 2021;65(6):1-25. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1950658>.
20. Arimura T. H., Hibiki A., Katayama H. Is a voluntary approach an effective environmental policy instrument? A case for environmental management systems. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2008;55(3):281-295. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2007.09.002>.
21. Zimon D., Madzik P., Dellana S., Sroufe R., Ikram M., Lysenko-Ryba K. Environmental effects of ISO 9001 and ISO 14001 management system implementation in SSCM. *The TQM Journal*. 2021;34(3):418-447. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2021-0025>.
22. Ronalter L. M., Bernardo M., Romani J. M. Quality and environmental management systems as business tools to enhance ESG performance: a cross-regional empirical study. *Environment development and sustainability*. 2023;25:9067-9109. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02425-0>.
23. Flagstad I., Hauge A. L., Johnsen S. A. K. Certification dissonance: Contradictions between environmental values and certification scheme requirements in small-scale companies // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 358. P. 132037. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132037>.
24. Wagner M. The influence of ISO 14001 and EMAS certification on environmental and economic performance of firms: An empirical analysis. In: Bennett, M., Rikhardsson, P.M., Schaltegger, S. (Eds.). *Environmental Management Accounting – Purpose and Progress. Eco-Efficiency in Industry and Science. Eco-Efficiency in*

Industry and Science. Dordrecht: Springer; 2003. Vol. 12. P. 367–386. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0197-7_16.

25. Ammenberg J. Do standardised environmental management systems lead to reduced environmental impacts? *Linköping Studies in Science and Technology*. Dissertations. Linköping: Linköping University; 2003. 109 p.

26. García-Álvarez M., de Junguitu A. D. Shedding light on the motivations and performance of the eco-management and audit scheme (EMAS). *Environmental Impact Assessment Review*. 2023;99(107045). <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107045>.

27. Slesarev M., Kovrigin A., Kafanova J. Mathematical and mental modeling for ecological reconstruction of the environment of construction objects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;869(1):062017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/6/062017>.

28. Hinojosa A. S., Gardner W. L., Walker H. J., Coglisier C., Gullifor D. A review of cognitive dissonance theory in management research. *Journal of Management*. 2017;43(1):170-199. <https://doi.org/10.1177/0149206316668236>.

29. Martins F., Fonseca L., Comparison between eco-management and audit scheme and ISO 14001:2015. *Energy Procedia*. 2018;153:450-454. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.023>.

30. Daddi T., Magistrelli M., Frey M., Iraldo F. Do environmental management systems improve environmental performance? Empirical evidence from Italian companies. *Environment, development and sustainability*. 2011;13:845-862. <https://doi.org/10.1007/s10668-011-9294-8>.

31. Flagstad I., Johnsen S. Å. K., Rydstedt L. The process of establishing a greenclimate: Face-to-face interaction between leaders and employees in the microsystem. *The Journal of Values-Based Leadership*. 2021;14(1):5. <https://doi.org/10.22543/0733.141.1343>.

32. Gadzhiev N. G., Akhmedova Kh. G., Konovalenko S. A., Gadzhiev M. N. Organizational and methodological mechanisms for implementation of environmental auditing in the Russian Federation. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye = South of Russia: ecology, development*. 2020;15(2):6-16. (In Russ.). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-6-16>. EDN: DXLWMB.

33. Kvanina V. V. Environmental audit: analysis, problems and prospects. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pravo = Bulletin of the South Ural State University. Series: Law*. 2020;20(1):33-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/law200106>. EDN: HLQICN.

Информация об авторе

Смирнова Елена Эдуардовна,

к.т.н., доцент, доцент
кафедры техносферной безопасности,
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный
университет,
190005, г. Санкт-Петербург,
2-я Красноармейская ул., 4, Россия,
e-mail: esmirnovae@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9860-9230>
Author ID: 438628

Information about the author

Elena E. Smirnova,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Technosphere Security,
Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
4 Vtoraja Krasnoarmejskaja St., Saint
Petersburg 190005, Russia,
e-mail: esmirnovae@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9860-9230>
Author ID: 438628

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

Contribution of the author

Author has conducted the study, prepared the manuscript for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this article.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 05.09.2023.
Одобрена после рецензирования 21.09.2023.
Принята к публикации 22.09.2023.

Information about the article

The article was submitted 05.09.2023.
Approved after reviewing 21.09.2023.
Accepted for publication 22.09.2023.



Концептуальное моделирование системы прогнозирования вызванных опасными отходами чрезвычайных ситуаций

Э.С. Цховребов^{1✉}, С.З. Калаева²,
В.Б. Петропавловская³, Ф.Х. Ниязгулов⁴

¹Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва, Россия

²Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Россия

³Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

⁴Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

Аннотация. Актуальность проводимого исследования – в проблеме неполной урегулированности правоотношений в области прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Данная проблема служит немаловажным фактором и условием образования непредсказуемых, неконтролируемых процессов формирования и развития экологической опасности, угроз и рисков, способствует предпосылкам возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Цель исследования заключается в системной оценке и выработке путей решения проблем предупреждения неблагоприятных техносферных ситуаций на территориях муниципальных образований в условиях всевозрастающего техногенного воздействия отходов производства и потребления. Акцент в работе делается на поиск методов, организационно-технических систем предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера, сопутствующих им социально-экономических, экологических и иных неблагоприятных последствий для жизнедеятельности населения. Проводится системный анализ количественных и качественных показателей, параметров, факторов, условий, влияющих и воздействующих на события, процессы образования источников экологической опасности в виде завершившей свой срок эксплуатации, использованной, бывшей в употреблении строительной и иной продукции, образовавшейся в процессе жизнедеятельности людей, жизнеобеспечения населенных пунктов. По результатам проведенных совместных исследований настоящей работы авторами сделана попытка сформировать идеализированную концептуальную модель ресурсосберегающей системы экологически безопасного обращения с отходами производства и потребления жизнеобеспечения техносферных территорий.

Ключевые слова: экологическая безопасность, прогнозирование, мониторинг, техносферная опасность, коммунальное хозяйство, жизнеобеспечение, отходы, концептуальная модель

Для цитирования: Цховребов Э.С., Калаева С.З., Петропавловская В.Б., Ниязгулов Ф.Х. Концептуальное моделирование системы прогнозирования вызванных опасными отходами чрезвычайных ситуаций // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 702–715. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-702-715>. EDN: QRLFTM.

Original article

Conceptual modeling of a forecasting system for hazardous waste emergencies

Eduard S. Tshovrebov^{1✉}, Sahiba Z. Kalaeva²,
Victoria B. Petropavlovskaya³, Filyuz Kh. Niyazgulov⁴

¹All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence and Emergencies of the EMERCOM of Russia (Federal Science and High Technology Center), Moscow, Russia

²Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

³Tver State Technical University, Tver, Russia

⁴Russian University of Transport, Moscow, Russia

© Цховребов Э.С., Калаева С.З., Петропавловская В.Б., Ниязгулов Ф.Х., 2023

Abstract. The relevance of the study consists in the problem of incompletely regulated legal relations in the field of emergency forecasting. This problem represents an important factor and condition for the unpredictable and uncontrolled generation and development of environmental hazards, threats and risks, as well as contributes to the preconditions for the occurrence of natural and technogenic emergencies. The study aims to systematically assess and develop ways to solve the problems of preventing unfavorable technospheric situations in municipal territories in the context of an ever-increasing technogenic impact of production and consumption wastes. The study emphasises the search for methods, organisational-technical measures and best available technologies for preventing natural and technogenic emergencies, as well as their socio-economic, natural-resource, environmental and other adverse consequences. A system analysis of quantitative and qualitative indicators, parameters, factors and conditions, affecting events and formation processes of environmental hazard sources, represented by end-of-life, spent, utilised construction and other products, formed in the process of human activity and life support of settlements, is carried out. Based on the results of a joint research, the authors made an attempt to form an idealised conceptual model of a resource-saving system for an environmentally safe management of life support production and consumption wastes in technospheric territories.

Keywords: environmental safety, forecasting, monitoring, technosphere hazard, public utilities, life support, waste, conceptual model

For citation: Tshovrebov E.S., Kalaeva S.Z., Petropavlovskaya V.B., Niyazgulov F.Kh. Conceptual modeling of a forecasting system for hazardous waste emergencies. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):702-715. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-702-715>. EDN: QRLFTM.

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование научной и методической базы в сфере прогнозирования, выявления и предупреждения угроз экологической безопасности определено в Стратегии экологической безопасности России в качестве одной из основ обеспечения экологической безопасности в Российской Федерации.

В ходе исследования обращено внимание на то, что методологической основой прогнозирования служит теория развития объекта, раскрывающая существо закономерностей и содержание основных причинно-следственных связей рассматриваемого процесса. Методы прогнозирования позволяют найти меру влияния отдельных закономерностей и причин на общую тенденцию развития. Это позволяет представить объект прогноза как динамическую систему, поведение которой определяется взаимодействием различных явлений и тем самым представить с определенной степенью вероятности поведение этой системы в будущем.

Проведенные исследования сложных регулятивно-управленческих и организационно-технических систем (одной из которых является прогнозирование ЧС) показали, что при проектировании сложной системы практически в любой предметной области изначально должен быть сформулирован некоторый

определяющий ее замысел – концепция. При этом определяющий замысел для системы в большинстве случаев выражается абстрактно – на стадии общепринятых понятий или уже установленных терминов в законодательстве. Осуществленный в ходе исследования ретроспективный, сопоставительный, сравнительный анализ подобных систем приводит к выводу, что, чем масштабнее и сложнее проектируемая система, тем выше должен быть уровень используемой абстракции.

В связи с этим, в рамках настоящего исследования, осуществлен поиск методов и инструментов научного исследования, позволяющих наиболее оптимально и эффективно решить поставленную исследовательскую задачу в части совершенствования механизмов и методов прогнозирования техногенных ЧС и их неблагоприятных последствий для безопасной, благоприятной жизнедеятельности населения, окружающей среды, объектов экономики.

С учетом всех особенностей предмета и объекта исследования, государственной важности реализуемых МЧС России целей и задач, высокого уровня ответственности за их исполнение перед российским обществом, приоритета выстраивания эффективной отечественной системы предотвращения ЧС, выдвинуто предположение о том, что концепту-

альное моделирование данной системы может позволить наиболее рационально отразить основные направления совершенствования системы прогнозирования как важнейшего механизма предупреждения ЧС, их опасных экологических последствий. Объектом моделирования послужила система обращения с наиболее опасными техносферными объектами, являющимися потенциальным источником возникновения техногенных ЧС - отходами производства и потребления.

МЕТОДЫ

Материалами для проведения исследования послужили опубликованные достигнутые научные результаты отечественных и зарубежных ученых в сфере оценки, анализа рисков угроз ЧС и мер их преодоления¹ [1–4], предотвращения неблагоприятного техносферного воздействия источников экологической опасности на жизнедеятельность населения [5–9], техносферной безопасности [10–14], техногенного воздействия процессов обращения опасных отходов [15–19], ресурсосберегающих систем экологически безопасного обращения вторичных ресурсов [20–24]. В работе использованы результаты собственных исследований авторов [25–29].

В качестве методов и инструментов проведения настоящего исследования выступили: обобщение, систематизация, их композиция, сопоставительный и сравнительный анализ собранных материалов и данных. Материалами для проведения исследования послужили: опубликованные результаты научных исследований отечественных и зарубежных авторов, информационные данные, материалы собственных исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования проведено обобщение и систематизация материалов в области негативного воздействия отходов производства и потребления как источников

возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Основной целью построения концептуальной модели прогнозирования техногенных ЧС и их последствий послужило отображение фундаментальных принципов, приоритетов и основных функциональных возможностей реальной системы прогнозирования, которую она представляет в целях выработки механизмов и методов ее совершенствования, оптимизации, повышения эффективности мер, систем, технологий предотвращения ЧС.

На этапе построения и структурирования модели, определённой как формализованное описание совокупности множества понятий, объектов, предметов и связей между ними, процесс моделирования объекта исследования выполнен на основании алгоритмов концептуального моделирования по методу «сущность-связь». Он увязывал предмет, объект и контекст области исследования в виде системы внешних, внутренних условий существования объекта и факторов, условий, оказывающих на него влияние в изучаемом аспекте. В процессе формирования, структурирования концептуальной модели моделирование перехода между статическими состояниями в рамках динамического описания системы для оценки её поведения, текущих и прогнозных изменений основано на методах системной динамики: построении графических логико-аналитических диаграмм причинно-следственных связей и влияний стадий, факторов, параметров в развитии.

Абстрактное отображение процессов перехода состояний «проблема – замысел – решение - воплощение», реализовано в виде диаграмм (текущих состояний, их трансформации при внешнем воздействии, разрешения ситуации с переходом в конечное состояние). В общем виде схематично этот процесс показан на рис. 1.

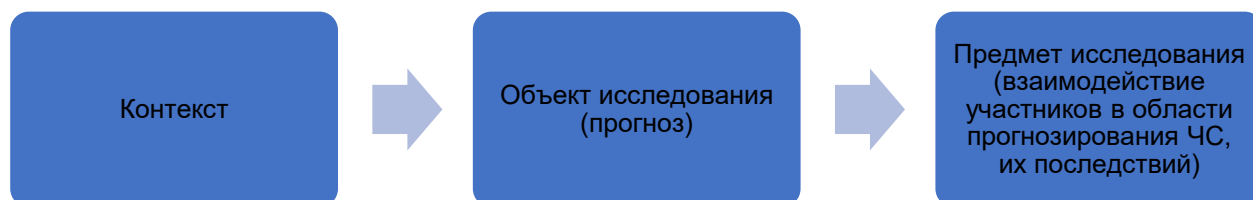


Рис. 1. Логическая структура концептуальной модели
Fig. 1. Logical structure of the conceptual model

¹Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах: учеб. пособие. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с. EDN: PSWVKX.

Основными этапами построения концептуальной модели прогнозирования ЧС определены:

- а) установление цели;
- б) определение входных и выходных переменных;
- в) выявление управляющих и возмущающих воздействий, факторов, условий, ограничений;
- г) установление наиболее характерных свойств;
- д) формирование структуры концептуальной модели.

При разработке концептуальной модели принималось во внимание, что для эффективного применения такого вида. Оптимальное решение в области прогнозирования ЧС, по замыслу разработчиков механизма, должно быть: а. возможным (у субъекта имеются средства и ресурсы); б. реализуемым (внешние ограничения позволяют его реализовать); в. измеримым (результат выполнения решения измерим).

Принято во внимание, что внешняя среда препятствует реализации механизмов, действий, мер, мероприятий. Тогда предотвращение, смягчение, снижение, преодоление угроз, образует конкретные цели процесса прогнозирования. При этом, обстоятельства варьируют: а. угрозы и опасности; б. потенциальные и реальные возможности; планируемые организационно-технические, регулирующие, управленческие мероприятия, действия, принимаемые меры.

Однако достигаемое безопасное состояние представляет собой подмножество системы заблаговременного полноценного, достоверного и объективного прогноза.

Целеполагание переводит систему из опасного состояния в безопасное, приближая ее к стратегическому конечному состоянию безопасности жизнедеятельности, устойчивости социально-экономического развития, изменяя тем самым потенциальные возможности участников, принимаемые меры, действия, виды, состав, уровень опасности угроз. Сформулированная конфигурация нового подхода к системе прогнозирования ЧС, ядром которой служит предупреждение опасности в источнике ее зарождения, задали целеполагание, начальные и конечные граничные условия создания идеализированной концеп-

туальной модели системы прогнозирования ЧС техногенного характера, задачами которой определены:

а) системное описание, интерпретация в символично-графической форме оригинала модели, его элементов, границ, параметров, функциональных зависимостей, их изменения во времени, целевых функций, моделируемых процессов посредством абстрактного отображения динамического механизма запуска недостаточно отлаженной и не в полной мере сбалансированной системы прогнозирования ЧС, не способствующей в полной мере предотвращению неблагоприятных последствий ЧС для окружающей среды, безопасности и благоприятности жизнедеятельности населения, устойчивости объектов экономики;

б) исследование полного состава этапов, периодов, методов прогнозирования ЧС, их связи с функционирующими системами жизнеобеспечения, изучение влияния факторов, условий, ограничений внешней среды на взаимодействующие элементы, процессы, события, явления;

в) установление наиболее существенных причинно-следственных связей моделируемой системы для решения задачи предотвращения возникновения ЧС и их неблагоприятных последствий;

г) определение взаимосвязанных понятий, лежащих в основе выстраиваемой методологии, содержащей основные приоритеты, цели, задачи, методы, алгоритмы прогнозирования ЧС.

В настоящей работе концептуальное моделирование системы прогнозирования ЧС техногенного характера и их опасных последствий реализовано на примере формирования ресурсосберегающей системы экологически безопасной обращения с отходами.

Стратегия концептуального моделирования реализуется на основе идеи о том, что предотвращение экологической опасности отходов может быть достигнуто:

- а) на этапе зарождения такой опасности;
- б) посредством трансформации на данном этапе ресурсных элементов завершившей свой срок эксплуатации, использованной, бывшей в употреблении продукции во вторичные материальные и энергетические ресурсы.

Тогда целью концептуальной модели прогноза системы экологически безопасного об-

ращения с отходами служит прогнозирование количеств. ресурсного потенциала, степени опасности, условий и возможностей возврата отходов производства и потребления (как потенциальных источников возникновения техногенных ЧС) в виде безопасных вторичных ресурсов в хозяйственный оборот на отраслевом и региональном уровнях.

Поставленная цель предопределила задачи, предшествующие процессу прогнозирования:

- комплексная система мониторинга источников экологической опасности;
- технико-экономическая оценка этапов жизненного цикла техногенных объектов – продуктов жизнедеятельности человека с точки зрения циклов возврата в хозяйственный оборот без негативного воздействия на окружающую среду при приоритете обеспечения предупреждения негативного воздействия на окружающую среду и здоровье людей;
- сравнительный экономический анализ существующей (экологически опасной) и инновационной (экономически эффективной) систем обращения с отходами и вторичными ресурсами;
- выбор наиболее эффективной системы обращения ВР на уровне региона, в отраслевом разрезе;
- выработку оптимальных управленческих решений на различных уровнях хозяйствования: предприятие – корпорация – отрасль;
- оптимальное размещение объектов инфраструктуры по отдельному сбору, изолированному накоплению, обработке, утилизации отходов;
- оценка предотвращенных экологических рисков, угроз экологической опасности, экологического вреда и сопряженного с ним экономического ущерба;
- оценка экономии стратегического запаса невозобновляемого ресурсного потенциала

региона (полезные ископаемые, лесные и водные ресурсы) в результате замены вторичными ресурсами.

Формирование и системное описание модели базируется на сопоставлении действующей системы обращения с отходами и предлагаемой идеализированной, обеспечивающей состояние экологической безопасности, предотвращение техногенных ЧС и их неблагоприятных экологических, социально-экономических и иных последствий.

Существующая схема обращения с отходами (стадии: использованная продукция – хозяйствующий субъект) схематично показана на рис. 2.

В принципиально новой предлагаемой идеализированной модели инновационной системы схема этапов обращения отходов и вторичных ресурсов при раздельном сборе и внедрении технологий обработки, утилизации, обезвреживания отходов кардинально изменена (рис. 3).

При трансформации системы обращения с вторичными ресурсами существенно претерпевает изменение моделируемые количественные и качественные параметры. Комплекс моделируемых количественных показателей при внедрении инновационной системы обращения с вторичными ресурсами представлен в табл. 1., экономических – в табл. 2.

Сравнение прогнозируемых результатов реализации действующей инерционной и предлагаемой инновационной моделей обращения с отходами и вторичными ресурсами на региональном уровне представлено в табл. 3.

Сформированная на основе метода концептуального моделирования идеализированная модель ресурсосберегающей системы экологически безопасного обращения с отходами жизнеобеспечения территорий представлена в формализованном виде на схеме – рис. 4.

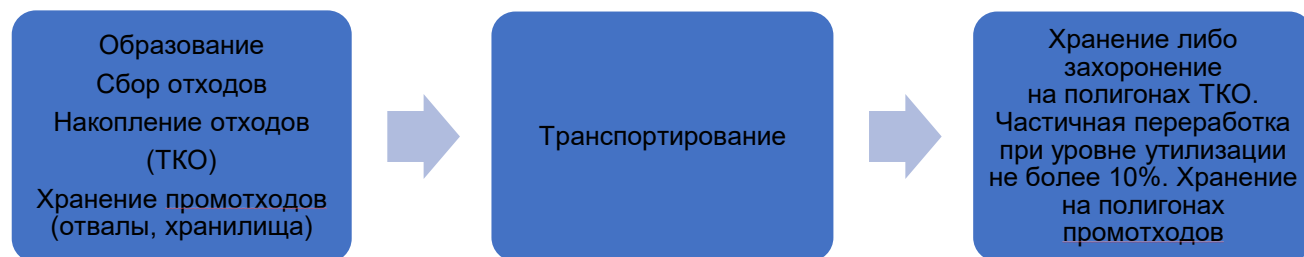


Рис. 2. Существующая схема обращения с отходами
Fig. 2. Existing waste management scheme

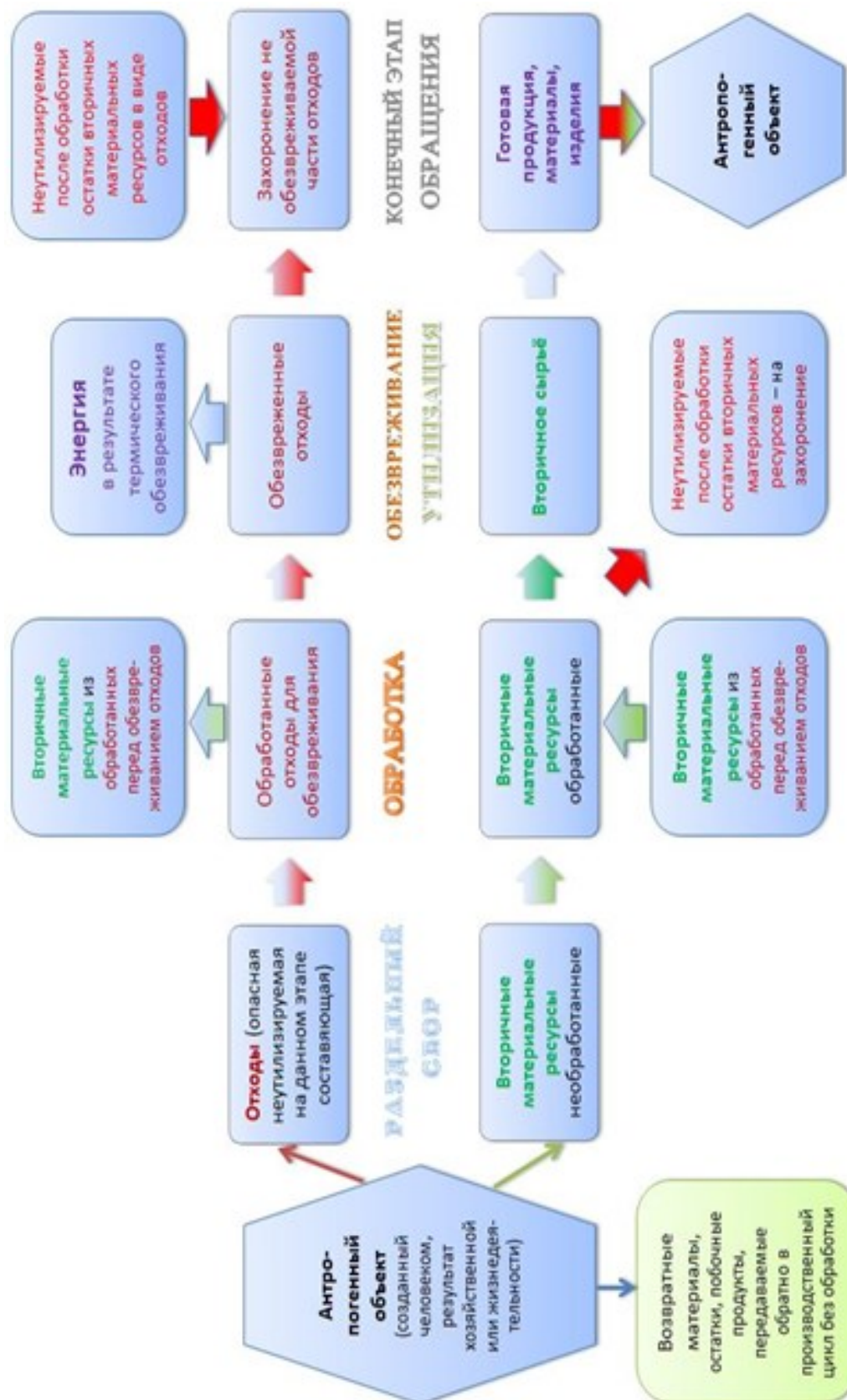


Рис. 3. Предлагаемая схема ресурсосберегающего обращения с отходами
Fig. 3. Proposed scheme for resource-saving waste management

Таблица 1. Комплекс моделируемых количественных показателей при внедрении инновационной системы обращения с вторичными ресурсами

Table 1. A set of simulated quantitative indicators for the implementation of an innovative system for the management of secondary resources

Раздельный сбор	Количество раздельно собранных отходов по видам, агрегатному состоянию, классу опасности (т/год) Количество видов вторичных ресурсов, выделенных и реализованных на стадии раздельного сбора (т/год) Количество выделенного на стадии сбора побочного продукта (возвратного сырья), возвращенного в производство (т/год)
Обработка	Количество транспортируемых отходов на км на мусоросортировочные комплексы, вторсырья – на предприятия по изготовлению продукции, не утилизируемых отходов – на комплексы высокотемпературного обезвреживания Плечо транспортирования Количество обработанных отходов (т/год) Количество полученного в результате обработки вторсырья, ВР по видам (т) Количество не утилизируемых отходов, полученных в результате обработки (т/год)
Утилизация, обезвреживание	Количество обезвреженных отходов по видам, классам опасности и технологиям обезвреживания (т/год) Количество Генерируемой тепловой энергии (Гкал/год) Количество Поступивших на утилизацию обработанных отходов в виде ВР (т/год) Количество видов продукции, сырья, изготовленных из ВР Количество образовавшихся не утилизируемых отходов в процессе Изготовления продукции из ВР (т/год)
Конечный этап обращения	Количество не утилизируемых, не подлежащих обезвреживанию отходов, полученных в результате обезвреживания шлаков (т/год)

Таблица 2. Комплекс моделируемых экономических показателей при внедрении инновационной системы обращения с вторичными ресурсами

Table 2. A set of simulated economic indicators in the implementation of an innovative system for the management of secondary resources

Раздельный сбор	Капитальные вложения на оборудование, технику для организации системы раздельного сбора (тыс. руб). Текущие затраты на раздельный сбор отходов по видам, агрегатному состоянию, классу опасности (руб). Стоимость погрузочно-разгрузочных работ. Стоимость вторичных ресурсов, выделенных и реализованных на стадии раздельного сбора отходов (руб/т). Стоимость возвращенного в производство возвратного сырья
Обработка	Инвестиции в строительство сортировочных комплексов, мусороперегрузочных станций, парк автомобильной и погрузочно-разгрузочной техники, устройств. Эксплуатационные расходы на обработку 1 т отходов. Стоимость транспортировки 1 т отходов на 1 км на сортировочные комплексы вторсырья – на предприятия, не утилизируемых отходов – на обезвреживание
Утилизация, обезвреживание	Обезвреживание: Инвестиции в строительство комплексов Эксплуатационные расходы на обезвреживание (пиролиз, высокотемпературное сжигание, нейтрализация, плазменная обработка) Стоимость производства и реализации 1 Гкал тепловой энергии (тыс. руб/1 Гкал) Утилизация: Капитальные вложения в строительство комплекса или модернизацию действующего производства Эксплуатационные расходы на утилизацию (тыс. руб/год) Цена закупки 1 т ВР (руб) Стоимость реализуемого вторсырья (тыс. руб.)
Конечный этап обращения	Тариф на захоронение не утилизируемых, не подлежащих обезвреживанию отходов, полученных в результате обезвреживания шлаков. Платежи за негативное воздействие на окружающую среду Затраты на эксплуатацию спецполигонов размещения таких отходов Экономический ущерб Налоги: имущественный, земельный

Таблица 3. Сравнительные характеристики инерционной и инновационной системы обращения отходов

Table 3. Comparative characteristics of inertial and innovative waste management system

Инерционная модель	Отсутствие комплексных мероприятий по ресурсосбережению, внедрению безотходных, малоотходных технологий, снижению количеств образующихся отходов; раздельному сбору отходов с хозяйствующих субъектов и населения; Устройство пунктов низкотехнологичной полуавтоматической сортировки отходов на полигонах ТКО с уровнем извлечения ценных компонентов из общей массы поступающих отходов до 10% Дальнейшая эксплуатация существующих полигонов ТКО и открытие новых; рост количества несанкционированных свалок Низкий уровень эффективности организационно-технических мероприятий и технологической инфраструктуры обработки, утилизации и обезвреживания отходов Отсутствие региональной поддержки и мер экономического стимулирования выпуска продукции, проведения работ, получения энергии с использованием вторичных материальных и энергетических ресурсов Потери земельных ресурсов в результате их изъятия и уничтожения плодородного слоя почвы под полигоны и свалки, отвалы и хвостохранилища промышленных отходов Рост экономического ущерба (размера экологического вреда) в результате загрязнения почв, недр, лесных и водных ресурсов, атмосферного воздуха Увеличение финансовой нагрузки на хозяйствующие субъекты региона в виде средств экологического сбора, платежей за НВОС, штрафных санкций, взысканий экологического вреда за размещение отходов и нарушение правил их обращения Увеличение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций с негативными экологическими, социально-экономическими последствиями, вызванные нарушением требований законодательства в области обращения с отходами, неразвитости и низкой технологичности, экологической опасности инфраструктуры по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов
Инновационная модель	Внедрение системы раздельного сбора отходов на предприятиях и в системе ЖКХ, включая стационарные и передвижные пункты, с извлечением вторичных ресурсов и побочных продуктов (возвратного сырья) на стадии образования отходов не менее 10–20% – уменьшение количеств образования отходов и соответственно платежей предприятий за негативное воздействие на окружающую среду (размещение отходов) Внедрение системы многофункциональных сортировочных комплексов и мусороперегрузочных станций с оптимальным плечом транспортирования не более 25 км – с извлечением различных видов вторичных ресурсов на стадии обработки отходов – не менее 30–40% Модернизация, расширение, реконструкция действующей промышленной базы и/или строительство производственно-технических комплексов, эко-индустриальных парков по утилизации отходов, использованию вторичных ресурсов для изготовления продукции, проведения работ, оказания услуг, получения энергии – создание научно-промышленных кластеров – концентрация и повышение эффективности производства Региональная государственная поддержка и меры экономического стимулирования выпуска продукции, проведения работ, генерации энергии с использованием ВР Строительство комплексов по обезвреживанию не утилизируемых отходов с получением тепловой энергии - в целях достижения уровня захоронения не более 10-15% от общего количества образующихся в регионе отходов Снижение экологического вреда на 85-90%; высвобождение и рекультивация земель, их возвращение в хозяйственный оборот Рост выпуска и потребления продукции и генерации энергии из ВР; ВВП в регионе; снижение цен на товары и энергоносители, обеспечение рабочими местами Предупреждение техногенных ЧС с опасными экологическими последствиями

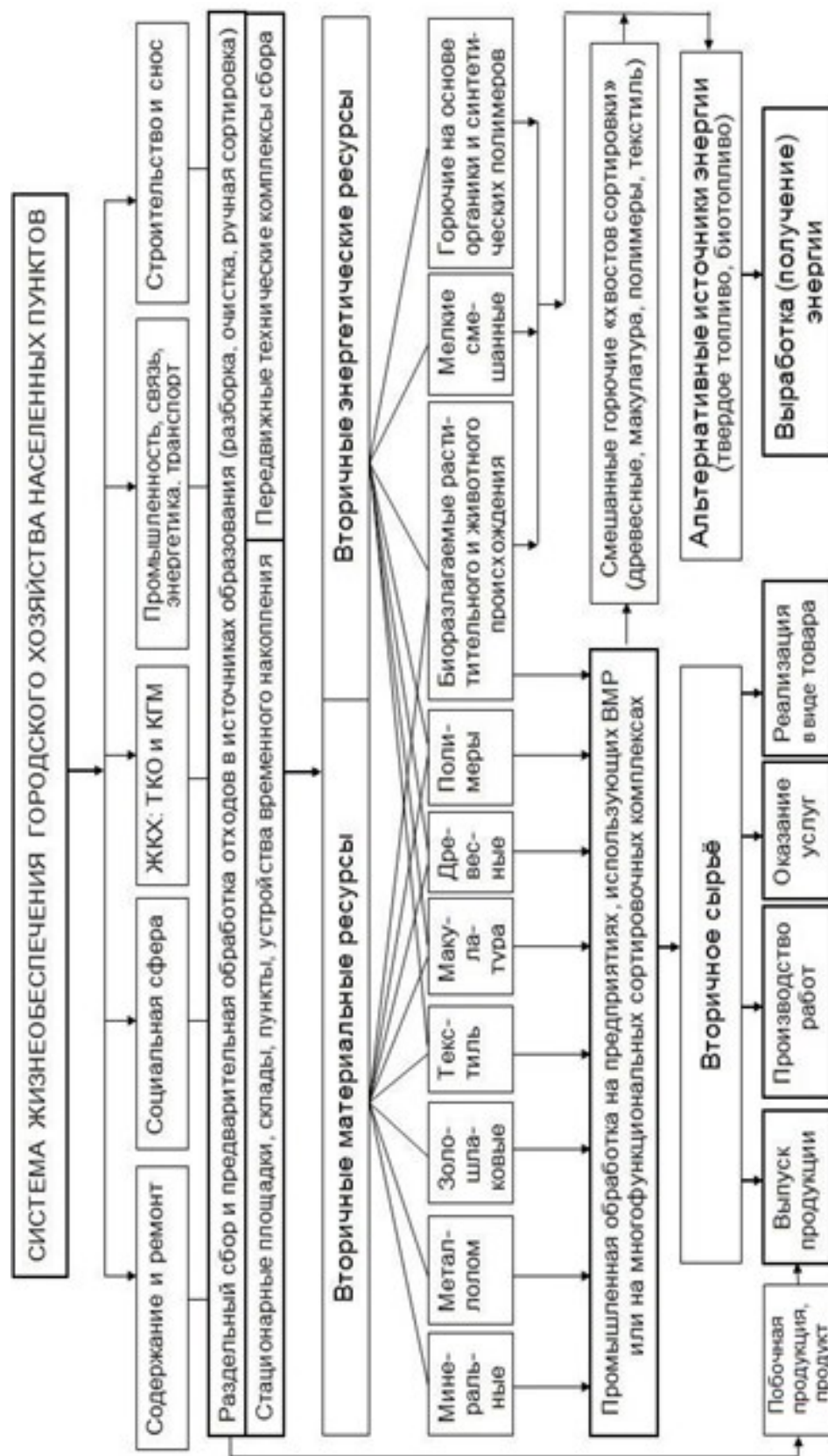


Рис. 4. Идеализированная концептуальная модель ресурсосберегающей системы экологически безопасного обращения с отходами жизнеобеспечения технософферных территорий
Fig. 4. Idealized conceptual model of a resource-saving system for environmentally safe management of waste from the life support of technospheric territories

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Примененные в работе методы концептуального моделирования и системного анализа предоставили возможность разработать идеализированную концептуальную модель ресурсосберегающей системы экологически безопасного обращения с отходами жизнеобеспечения техносферных территорий в рамках поставленных целей и задач исследования и в интересах участников РСЧС.

Одним из основных направлений реализации концептуальной модели в формате со-

вершенствования механизмов прогнозирования техногенных ЧС, ее апробации предлагается формирование системы методов раннего предупреждения ЧС в период ее зарождения в источнике опасности. Сформированная концептуальная модель усовершенствованной системы прогнозирования ЧС нашла свое воплощение в разработанных, в рамках выполнения настоящей научно-исследовательской работы, Методических рекомендациях по прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Oltyan I.Y., Arefyeva E.V., Kotosonov A.S. Remote assessment of an integrated emergency risk index // International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2020). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Sochi, 06–12 September 2020). IOP Publishing Ltd, 2020. Vol. 962. Iss. 4. P. 042053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042053>. EDN: XJGGYQ.
3. Арефьева Е.В., Олтян И.Ю. Роль международного сотрудничества в области совершенствования прогнозирования рисков бедствий с учетом глобальных климатических изменений // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2017. № 2 (33). С. 7–9. EDN: ZBGXSB.
4. Лapidус А.А., Макаров А.Н. Применение риск-ориентированного подхода при выполнении функций строительного контроля технического заказчика // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 2. С. 232–241. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.2.232-241>. EDN: ARPPKP.
5. Фалеев М.И., Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Болгов М.В. Методология и технология дистанционной оценки риска // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 4. С. 6–19. EDN: YCNCAP.
6. Акимов В.А., Олтян И.Ю., Иванова Е.О. Методика ранжирования чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера по степени их катастрофичности // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. № 1 (67). С. 4–7. <https://doi.org/10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.1.4>. EDN: IOGGXC.
7. Ломакин М.И., Докукин А.В., Мошков В.Б., Олтян И.Ю., Ниязова Ю.М. Оценка ущерба от чрезвычайной ситуации в условиях неполных данных // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 3 (73). С. 32–36. <https://doi.org/10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73>. EDN: ZUSCWO.
8. Стась Г.В., Чистяков Я.В., Калаева С.З., Муратова К.М. К вопросу защиты окружающей среды от мелкодисперсной пыли горных предприятий // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2019. Вып. 1. С. 92–109. EDN: OSZESO.
9. Petropavlovskii K., Ratkevich E., Novichenkova T., Petropavlovskaya V. The use of technogenic carbon in gypsum compositions for green building // Environmentally Sustainable Cities and Settlements: Problems and Solutions: XII International Scientific and Practical Forum (ESCP-2023). E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 403. P. 03013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340303013>.
10. Petropavlovskaya V.B., Artamonova S.V., Shchipanskaya E.O., Ratkevich E.A., Petropavlovskii K.S. Environmental management in ash and slag waste management in Russia // Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science: International scientific and practical conference (AEES-2021). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (London, Virtual, 27–29 October 2021). London: IOP Publishing Ltd, 2022. T. 1010. Iss. 1. P. 012135. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012135>. EDN: WEUBVX.
11. Суздалева А.Л. Экологическая глобалистика и устойчивое развитие на этапе техногенной трансформации биосферы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2020. № 1. С. 6–11. <https://doi.org/10.31857/S0869780920010196>. EDN: HKJMPL.
12. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of buildings and the built environment / M. Hauschild, R. Rosenbaum, S. Olsen (Eds.). In book: Life Cycle Assessment. Theory and Practice. Cham: Springer, 2018. P. 695–722. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28.
13. Теличенко В.И., Ройтман В.М., Слесарев М.Ю., Щербина Е.В. Основы комплексной безопасности строительства: монография. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2016. 168 с. EDN: SAQAFF.

14. Графкина М.В., Потапов А.Д. Оценка экологической безопасности строительных систем как природно-техногенных комплексов (теоретические основы) // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 23–28. EDN: MVHAJP.
15. Теличенко В.И., Бенуж А.А., Глотова Е.П. Экологическая безопасность строительства в России: реальность и перспективы // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году: сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2022. Т. 2. С. 441–449. EDN: CBIYVG.
16. Владимиров С.Н. Проблемы переработки отходов строительной индустрии // Системные технологии. 2016. № 2 (19). С. 101–105. EDN: WCNXNV.
17. Лунев Г.Г. Развитие методологии комплексного использования вторичных строительных ресурсов. М.: ООО «Научтехиздат», 2019. 284 с.
18. Олейник С.П., Чулков В.О. Управление обращением с отходами строительства и сноса // Отходы и ресурсы. 2016. Т. 3. № 1. С. 5. <https://doi.org/10.15862/03RRO116>. EDN: XBGYPZ.
19. Волюнкина Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017;2:43–49. EDN: YTOUCP.
20. Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study // Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. P. 1306–1313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.168>.
21. Ehresman T.G., Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy // International environmental agreements. 2015. Vol. 15. P. 13–27. <https://doi.org/10.1007/s10784-014-9265-2>.
22. Chernykhivska A. Modern perspectives of development of «green» economy // Economic processes management. 2015. Iss. 1. P. 108–115.
23. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition towards a resource efficient circular economy in europe: policy lessons from the eu and the member states // Ecological Economics. 2019. Vol. 155. P. 7–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001>.
24. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions // Resources, Conservation & Recycling. 2017. Iss. 127. P. 9. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3037579>.
25. Hart J., Adams K., Giesekam J., Densley D.T., Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment // Procedia CIRP. 2019. Vol. 80. P. 619–624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>.
26. Цховребов Э.С. Формирование региональных стратегий управления обращением с вторичными ресурсами // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 4 (127). С. 450–463. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.4.450-463>. EDN: EPNQHR.
27. Цховребов Э.С. Эколого-экономические аспекты планирования размещения и проектирования промышленных объектов по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 11 (122). С. 1326–1340. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.11.1326-1340>. EDN: YQNVNJ.
28. Кожуховский И.С., Величко Е.Г., Цыльковский Ю.К., Цховребов Э.С. Организационно-экономические и правовые аспекты создания и развития производственно-технических комплексов по переработке золошлаковых отходов в строительную и иную продукцию // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 6 (129). С. 756–773. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.6.756-773>. EDN: UGGWQH.
29. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex // Materials science forum. 2019. Vol. 945. P. 988–994. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.988>. EDN: DROTAP.
30. Цховребов Э.С. Новый подход к оценке параметров устойчивого развития в формате предотвращения экологической опасности // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 3. С. 50–68. EDN: EHNHBO.

REFERENCES

1. Oltyan I.Y., Arefyeva E.V., Kotosonov A.S. Remote assessment of an integrated emergency risk index. *International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2020)*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 06–12 September 2020, Sochi. IOP Publishing Ltd; 2020. Vol. 962 (4). p. 042053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042053>. EDN: XJGGYQ.
3. Aref'eva E.V., Oltyan I.Yu. The role of international cooperation for better disaster risk forecast in the context of ongoing climate change. *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoi zashchity*. 2017;2:7–9. (In Russ). EDN: ZBGXSB.

4. Lapidus A.A., Makarov A.N. Application of a risk-based approach when performing the functions of construction control of a technical customer. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*. 2022;17(2):232-241. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.2.232-241>. EDN: ARPPKP.
5. Faleev M.I., Oltyan I.Yu., Arefyeva E.V., Bolgov M.V. Methodology and technology of remote risk assessment. *Problemy analiza riska = Issues of risk analysis*. 2018;15(4):6-19. (In Russ.). EDN: YCNCAP.
6. Akimov V.A., Oltyan I.Yu., Ivanova E.O. Natural, anthropogenic and biological and social emergency situations ranking technique by catastrophic degree. *Tehnologii grazhdanskoi bezopasnosti = Civil security technology*. 2021;18(1):4-7. (In Russ.). <https://doi.org/10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.1.4> EDN: IOGGXC.
7. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Moshkov V.B., Oltyan I.Yu., Niyazova Yu.M. Emergency Situation Damage Assessment in the Conditions of Incomplete Data. *Tehnologii grazhdanskoi bezopasnosti = Civil security technology*. 2022;19(3):32-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73>. EDN: ZUSCWO.
8. Stas' G.V., Chistyakov Ya.V., Kalaeva S.Z., Muratova K.M. On the question of environmental protection from fine dust of mining enterprises. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*. 2019;1:92-109. (In Russ.). EDN: OSZESO.
9. Petropavlovskii K., Ratkevich E., Novichenkova T., Petropavlovskaya V. The use of technogenic carbon in gypsum compositions for green building. In: *Environmentally Sustainable Cities and Settlements: Problems and Solutions: XII International Scientific and Practical Forum (ESCP-2023)*. E3S Web of Conferences. 2023;403:03013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340303013>.
10. Petropavlovskaya V.B., Artamonova S.V., Shchipanskaya E.O., Ratkevich E.A., Petropavlovskii K.S. Environmental management in ash and slag waste management in Russia. In: *Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science: International scientific and practical conference (AEES-2021)*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 27-29 October 2021, London (Virtual). London: IOP Publishing Ltd; 2022. Vol. 1010 (1). p. 012135. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012135>. EDN: WEUBVX.
11. Suzdaleva A.L. Ecological globalistics and sustainable development at the stage of technogenic transformation of the biosphere. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2020;1:6-11. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780920010196>. EDN: HKJMPL.
12. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of buildings and the built environment. In: M. Hauschild, R. Rosenbaum, S. Olsen (Eds.). *Life Cycle Assessment. Theory and Practice*. Cham: Springer; 2018. p. 695-722. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28.
13. Telichenko V.I., Roitman V.M., Slesarev M.Yu., Shcherbina E.V. Fundamentals of integrated construction safety. Moscow: PH of the Association of construction universities; 2016. 168 p. (In Russ.). EDN: SAQAFF.
14. Grafkina M.V., Potapov A.D. The analysis of ecologic safety of building systems is a nature-technical complex (theoretical basis). *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2008;1:23-28. (In Russ.). EDN: MVHAJP.
15. Telichenko V.I., Benuzh A.A., Glotova E.P. Environmental safety of construction in Russia: reality and prospects. Fundamental, exploratory and applied research of the RAASN on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2021. Collection of scientific papers of the RAASN. Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Moscow, 2022. pp. 441-449. (In Russ.).
16. Vladimirov S.N. Problems of waste processing in the construction industry. *Sistemnye tekhnologii*. 2016;2:101-105. EDN: WCNXNV.
17. Lunev G.G. Development of methodology for the integrated use of secondary construction resources. Moscow: LLC "Nauchtekhizdat"; 2019. 284 p.
18. Oleynik P.P., Chulkov V.O. Waste management, construction and demolition. *Otkhody i resursy = Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2016;3(1):5. <https://doi.org/10.15862/03RRO116>. EDN: XBGYPZ.
19. Volynkina E.P. Analysis of the state and problems of processing technogenic waste in Russia. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta = Bulletin of the Siberian state industrial university*. 2017;2:43-49. EDN: YTOUCP.
20. Elgizawy S., El-Haggag S., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. *Procedia Engineering*. 2016;145:1306-1313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.168>.
21. Ehresman T.G., Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy. *International environmental agreements*. 2015;15:13-27. <https://doi.org/10.1007/s10784-014-9265-2>.
22. Chernykhivska A. Modern perspectives of development of «green» economy. *Economic processes management*. 2015;1:108-115.

23. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition towards a resource efficient circular economy in europe: policy lessons from the eu and the member states. *Ecological Economics*. 2019;155:7-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001>.
24. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*. 2017;127:9. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3037579>.
25. Hart J., Adams K., Giesekam J., Densley D.T., Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*. 2019;80:619-624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>.
26. Tskhovrebov E.S. Formation of regional management strategies of secondary resource handling. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2019;14(4):450-463. (In Russ). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.4.450-463>. EDN: EPNQHR.
27. Tshovrebov E.S. Ecological and economic aspects of planning the placement and design of industrial facilities for the processing, disposal, disposal of waste. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2018;13(11):1326-1340. (In Russ). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.11.1326-1340>. EDN: YQNVNJ.
28. Kozhukhovskiy I.S., Velichko E.G., Tselykovskiy Yu.K., Tshovrebov E.S. Organizational, economic and legal aspects of the creation and development of industrial and technical complexes for the processing of ash and slag waste into construction and other products. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2019;14(6):756-773. (In Russ). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.6.756-773>. EDN: UGGWQH.
29. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex. *Materials science fo-rum*. 2019;945:988-994. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.988>. EDN: DROTAP.
30. Tskhovrebov E.S. A new approach to assessing the parameters of sustainable development in the format of the magnitude of the prevented environmental hazard. *Izvestiya Tulkogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*. 2023;3:50-68. (In Russ). EDN: EHNHBO.

Информация об авторах**Цховребов Эдуард Станиславович,**

к.э.н., доцент, старший научный сотрудник,
Всероссийский научно-исследовательский
институт по проблемам гражданской обороны
и чрезвычайных ситуаций МЧС России
(федеральный центр науки и высоких
технологий),
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, 7,
Россия,
e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>
Author ID: 470064

Калаева Сахиба Зияддиновна,

д.т.н., заведующая кафедрой
охраны труда и природы,
Ярославский государственный технический
университет,
150023, г. Ярославль, Московский проспект,
88, Россия,
e-mail: kalaevasz@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9889-8669>

Петропавловская Виктория Борисовна,

д.т.н., профессор кафедры
производства строительных изделий
и конструкций,
Тверской государственный технический
университет,
170026, г. Тверь, Набережная Аф. Никитина,
22, Россия,
e-mail: victoria_petrov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5412-5576>
Author ID: 407660

Information about the authors**Eduard S. Tshovrebov,**

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
All-Russian Scientific Research Institute
for Civil Defence and Emergencies
of the EMERCOM of Russia
(Federal Science and High Technology
Center),
7 Davydkovskaya St., Moscow 121352,
Russia,
e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>
Author ID: 470064

Sahiba Z. Kalaeva,

Dr Sci. (Tech.), Head of the Department
of Labor and Nature Protection,
Yaroslavl State
Technical University,
88 Moskovsky Prospekt, Yaroslavl 150023,
Russia,
e-mail: kalaevasz@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9889-8669>

Victoria B. Petropavlovskaya,

Dr Sci. (Tech.), Professor of the Department
of Production of Building Products
and Structures,
Tver State Technical
University,
22 Embankment Af. Nikitina, Tver 170026,
Russia,
e-mail: victoria_petrov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5412-5576>
Author ID: 407660

Ниязгулов Филюз Хайдарович,
старший преподаватель кафедры геодезии,
геоинформатики и навигации,
Российский университет транспорта,
127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9,
Россия,
e-mail: filyuz1989@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6901-3318>
Author ID: 993100

Filyuz Kh. Niyazgulov,
Senior Lecturer of the Department
of Geodesy, Geoinformatics and Navigation,
Russian University of Transport,
9 page 9 Obraztsova St., Moscow 127994,
Russia,
e-mail: filyuz1989@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6901-3318>
Author ID: 993100

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 30.08.2023.
Одобрена после рецензирования 20.09.2023.
Принята к публикации 22.09.2023.

Information about the article

The article was submitted 30.08.2023.
Approved after reviewing 20.09.2023.
Accepted for publication 22.09.2023.



Сравнительная предельная растяжимость бетона и фибробетона

Т.Ф. Шляхтина^{1✉}, А.М. Курицына²^{1,2}Братский государственный университет, г. Братск, Россия

Аннотация. Цель исследования – сравнительная оценка предельных растягивающих напряжений по критерию трещиностойкости бетона и фибробетона на основе теоретических и экспериментальных данных. Устойчивость бетона к разрушению определяется способностью сопротивляться образованию и росту трещин. Если деформации для бетона по критерию трещиностойкости лимитируются предельной растяжимостью бетонной матрицы, незначительной для тяжелого бетона, то введение дисперсной арматуры способно существенно повысить предел прочности на растяжение и трещиностойкость. Рекомендуются методы расчета на трещиностойкость фибробетонных конструкций базируются на методах, применяемых для расчета трещиностойкости конструкций, армированных стержневой арматурой, и не в полной мере учитывают особенности фибробетона как конструкционного материала. Также общепринятые методы расчета фибробетонных конструкций не допускают образования трещин, хотя даже образование трещин со значительным раскрытием не приводит к потере несущей способности фибробетонных конструкций. В статье рассмотрены разные варианты расчета максимальных растягивающих напряжений в бетоне и фибробетоне для обеспечения трещиностойкости на основе справочно-нормативных и экспериментальных данных. Установлено, что дисперсное армирование металлическими фибрами как минимум вдвое повышает предельную растяжимость по критерию трещиностойкости, и даже низко модульные волокна эффективно повышают трещиностойкость, что позволит обеспечить более надежную работу конструкций, в том числе при зимнем бетонировании.

Ключевые слова: дисперсно-армированные бетоны, предельные растягивающие напряжения, трещиностойкость, предельная растяжимость, прочность на растяжение при раскалывании, зимнее бетонирование

Для цитирования: Шляхтина Т.Ф., Курицына А.М. Сравнительная предельная растяжимость бетона и фибробетона // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 716–725. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-716-725>. EDN: ZHKRFE.

Original article

Comparative ultimate tensile strength of concrete and fibre concrete

Tatiana F. Shlyahatina^{1✉}, Anna M. Kuricyna²^{1,2}Bratsk State University, Bratsk, Russia

Abstract. The study is aimed at comparing the ultimate tensile stresses with respect to the crack resistance criteria of concrete and fibre concrete based on theoretical and experimental data. The resistance of concrete to cracking is determined by the ability to resist the formation and growth of cracks. According to the cracking resistance criterion, concrete deformations are limited by the ultimate tensile strength of the concrete matrix, insignificant for heavy concrete, and the introduction of dispersed reinforcement can significantly increase its tensile strength and crack resistance. Recommended methods for calculating the crack resistance of fibre concrete structures are based on the procedures, used to calculate the crack resistance of structures, reinforced with bars, and incompletely account the features of a fibre concrete as a structural material. In addition, although even a significant crack opening cause no effect on the bearing capacity of fibre concrete structures, generally accepted methods for calculating fibre concrete structures exclude cracking. The article discusses various options for calculating the ultimate tensile stresses of concrete and fibre concrete for ensuring crack resistance based on refer-

ence normative and experimental data. Dispersed reinforcement with metal fibres was established at least doubling the ultimate tensile strength according to the crack resistance criterion with even low-modulus fibres effectively improving the crack resistance, which ensures a more reliable operation of structures, including during winter concreting.

Keywords: dispersed reinforced concrete, ultimate tensile stresses, crack resistance, ultimate extensibility, tensile strength during splitting, winter concreting

For citation: Shlyahatina T.F., Kuritsyna A.M. Comparative ultimate tensile strength of concrete and fibre concrete. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):716-725. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-716-725>. EDN: ZHKRFE.

ВВЕДЕНИЕ

Дисперсное армирование значительно повышает прочность на растяжение и трещиностойкость по сравнению с традиционным армированием бетона. Допустимо предположить, что, кроме преимущества на растяжение, фибробетон сможет воспринимать большие температурные градиенты, возникающие при выдерживании и тепловой обработке конструкций, особенно в зимних условиях. Под воздействием отрицательной температуры разрушение бетона может происходить вследствие одного или нескольких факторов [1, 2]:

- замерзающая в порах и капиллярах цементного камня вода за счет увеличения в объеме создает растущее гидростатическое давление;
- давление растущих кристаллов льда на стенки пор и капилляров;
- в процессе прогрева и охлаждения (замораживания и оттаивания) бетона за счет массотеплопереноса в капиллярах и порах цементного камня нарастает осмотическое давление;
- напряжения, возникающие в бетоне из-за различных коэффициентов температурных деформаций составляющих бетона и льда.

Указанные факторы вызывают растягивающие напряжения в твердеющем бетоне и могут быть восприняты именно дисперсной арматурой, равномерно распределенной в бетонной матрице. Температурные градиенты, возникающие в процессе твердения бетона, по критерию трещиностойкости лимитируются предельной растяжимостью бетонной матрицы, весьма незначительной для тяжелого бетона, а введение дисперсной арматуры способно существенно повысить предел прочности на растяжение и трещиностойкость [3–8].

Применяемые для дисперсного армирования волокна делят на высокомодульные и низкоимодульные по отношению к модулю упругости бетона, который в зависимости от класса бетона составляет от 19 до $40 \cdot 10^3$ МПа. Применение высокоимодульных волокон способствует увеличению прочности бетона при растяжении, жесткости и сопротивлении динамическим воздействиям. Использование низкоимодульных волокон приводит к уменьшению усадочных деформаций, повышает морозостойкость, сопротивление динамическим нагрузкам, усталости и истиранию¹ [9].

Многочисленные исследования установили, что эффективность дисперсно-армированных бетонов в значительной степени определяется параметрами армирования, включая степень насыщения матрицы волокнами (μ), диаметр и длину фибр (d, l) с учетом ориентации и анкеровки. Рабочий диапазон объемного содержания фибр в фибробетонных конструкциях изменяют, как правило, в пределах 1–1,5%. С повышением процента армирования увеличивается трудоемкость изготовления конструкции, но при этом должного повышения прочностных показателей не происходит, а меньшее объемное содержание волокон не обеспечивает полного раскрытия возможностей дисперсного армирования.

Устойчивость бетона к разрушению определяется способностью сопротивляться образованию и росту трещин. В тяжелом бетоне появившееся трещины не встречают на своем пути препятствий, что позволяет им распространяться в теле бетона. В дисперсно-армированных бетонах волокна препятствуют распространению и раскрытию трещин. Под воздействием напряжений в конструкции первая трещина, образовавшаяся в фибробетоне, не приводит к катастрофическому разрушению, но способствует перераспреде-

¹Телешев В.И. Конструктивно-технологические решения по обеспечению трещиностойкости и монолитности массивных бетонных сооружений: учеб. пособие. ЛПИ, 1983. 90 с.

нию нагрузки между бетонной матрицей и волокнами. Таким образом, нагрузка, действующая на зону возникновения трещин, перераспределяется на волокна, и края трещин освобождаются от напряжений, что может привести к затуханию трещины. Это явление возможно за счет силы сцепления фибры с бетонной матрицей и механизмов заанкеривания волокон в бетоне [10–21].

При достижении предела растрескивания матрица разделяется бесчисленными параллельными трещинами, а воздействие дополнительного растягивающего напряжения приводит к растяжению волокон. С точки зрения механики разрушения работу дисперсно-армированных композитов можно представить в виде трех этапов:

- упругий диапазон до точки возникновения первой трещины;
- этап множественного растрескивания, когда деформации композита превышают максимально возможные деформации матрицы;
- далее в зависимости от модуля и прочности сцепления начинается этап растягивания или выдергивания волокон из матрицы.

Анализ методов расчета на трещиностойкость фибробетонных конструкций показал, что базируются они на методах, применяемых для расчета трещиностойкости конструкций, армированных стержневой арматурой¹ и при этом не учитывают особенностей фибробетона как конструкционного материала.

Рекомендованные методы расчета фибробетонных конструкций не допускают образования трещин в фибробетоне, хотя образование даже трещин со значительным раскрытием не приводит к разрушению конструкции.

Такая работа фибробетона позволяет использовать при расчетах линейную механику разрушения как для квазиоднородного материала.

Далее предполагается оценить предельную растяжимость и трещиностойкость бетонов и фибробетонов на основе справочно-нормативных и экспериментальных данных.

МЕТОДЫ

В научных работах отечественных и зарубежных авторов проблема трещиностойкости бетона рассматривается с разной степенью упрощений и эмпирических зависимостей. Если для железобетона расчет по второй группе предельных состояний на образование трещин осложняется наличием, кроме упругих, еще пластических деформаций бетона, то для фибробетона теоретические подходы только разрабатываются и требуют уточнения и совершенствования.

Российские и зарубежные исследователи предложили ряд критериев температурного трещинообразования на основе сравнения возникающих в возводимой конструкции растягивающих напряжений с допустимыми значениями. При этом возможен учет ряда граничных условий.

В практике проектирования и возведения бетонных сооружений используется критерий термической трещиностойкости, основанный на теории прочности бетона. Обычно критерий термической трещиностойкости является безразмерной величиной, которую физически можно трактовать как наибольшее возможное относительное удлинение бетона, наблюдаемое в результате тепловыделения. Во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева установлен критерий трещиностойкости массивного бетона, учитывающий пластические деформации в значении предельной растяжимости [6]:

$$\sigma = \frac{\varepsilon_{\text{пр}} \cdot E}{k}, \quad (1)$$

где σ – максимальное растягивающее напряжение в бетонном массиве; E – модуль упругости бетона, принят $E = 30 \cdot 10^3$ МПа.

Модуль упругости для фибробетона определяется по формуле

$$E_{fb} = E + (E_f - E) \cdot \mu_f, \quad (2)$$

где E_f – модуль упругости фибры (для стальной $E_f = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, а для полимерной – $0,35 \cdot 10^5$ МПа); μ_f – коэффициент объемного армирования фиброй, принимаемый $\mu_f = 0,01$; k – коэффициент запаса $k = 1,2$ [6].

Расчет максимального растягивающего напряжения для оценки термической трещиностойкости бетонного массива П.И. Васильев предложил производить по формуле [10]:

$$\sigma = \gamma_{b3} \cdot \gamma_{b6} \cdot \varepsilon_{\text{пр}} \cdot \varphi \cdot E, \quad (3)$$

где σ – максимальное растягивающее температурное напряжение в бетонном массиве; γ_{b3} – коэффициент условий работы для массивных сооружений (принимается, равным 1,15 для массивных сооружений и равным 1 – для остальных); γ_{b6} – коэффициент условий работы бетонных конструкций, учитывающий влияние на прочность растянутого бетона градиента деформаций по сечению, принят на основании предварительных расчетов – $\gamma_{b6} = 1,1$; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – предельная растяжимость бетона и фибробетона; φ – коэффициент, учитывающий зависимость предельной растяжимости от возраста бетона, принято значение $\varphi(\tau) = 0,77$ бетона в возрасте 14 сут, исходя из традиционных сроков выдерживания конструкций в построечных условиях.

В зарубежной практике возведения мас-

сивных бетонных сооружений также используются аналогичные критерии оценки возможного температурного трещинообразования. Так, в СП 52-104-2006 «Сталефибробетонные конструкции»² для приближенной оценки возможности трещинообразования предлагается использовать выражение, аналогичное выражению (2), но записанное с использованием не предельной растяжимости бетона, а предельно допустимого температурного перепада ΔT .

Для предотвращения температурного трещинообразования величина температурных растягивающих напряжений σ не должна превосходить допустимую величину:

$$\sigma = k_3 \cdot k_p \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta T, \quad (4)$$

где k_3 – коэффициент заземления, принят $k_3 = 0,0007$; k_p – коэффициент релаксации, принят $k_p = 340$; α – коэффициент линейного температурного расширения бетона и фибробетона; ΔT – предельно допустимый темпе-

ратурный перепад в бетонном массиве, принят 20°C согласно Руководству⁴, а для фибробетона ориентировочно – 30°C .

Коэффициент линейного температурного расширения для фибробетона определяется по формуле

$$a_{fbt} = a_{bt} \cdot (1 - \mu_f) + a_{ft} \cdot \mu_f, \quad (5)$$

где a_{fbt} – коэффициент температурного расширения бетона ($13 \cdot 10^{-6}$); a_{ft} – коэффициент линейной температурной деформации стали, принят равным $12 \cdot 10^{-6}$, а для полипропилена – $11 \cdot 10^{-5}$.

Для сравнения теоретически рассчитанных и экспериментальных значений предельной растяжимости фибробетонов в сопоставлении с неармированным мелкозернистым бетоном в лаборатории «Технологии бетона» кафедры СМиТ БрГУ были изготовлены образцы балочки с размерами $7 \times 7 \times 23$ см. Составы бетонов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Расход материалов на 1 м^3 бетона
Table 1. Material consumption per 1 m^3 of concrete

№ серии	Вид волокон и % армирования по массе	Состав матрицы Ц:П	Расход материалов на 1 м^3 , кг			
			цемент	песок	вода	фибры
1	Без волокон	1:2	660,3	1320,6	264,1	–
2	Без волокон	1:3	489,3	1467,8	229,9	–
3	Металлическая фибра, 5%	1:2	687,4	1374,5	274,9	103,1
4	Полипропиленовое волокно, 1%	1:3	474,8	1424,5	213,6	19,0

После формования на виброплощадке образцы хранились в нормальных условиях и испытывались в возрасте 28 сут на растяжение при раскалывании и сжатие на гидравлическом пресс ПСУ-10 (дата последней поверки: 21.10.2022 г.). При расчете максимальных растягивающих напряжений для бетона, предельную растяжимость определяли по формуле [4]

$$\varepsilon_{пр} = \frac{2R_{tt}}{E_b}, \quad (6)$$

где R_{tt} – прочность бетона на растяжение при раскалывании; E_b – модуль упругости бетона. Тогда максимальное растягивающее напряжение в бетоне σ можно рассчитать по формуле³

$$\sigma = \frac{\varepsilon_{пр} E_b}{k}, \quad (7)$$

где k – коэффициент запаса $k = 1,2^5$.

На основе приведенных формул и экспериментально полученных значений предельной растяжимости были рассчитаны максимальные растягивающие напряжения на основе нормативно-справочных и экспериментальных данных для бетонов и фибробетонов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчетов величины растягивающих напряжений до образования трещин для бетона-матрицы и фибробетона со стальными и полипропиленовыми волокнами с использованием нормативно-справочных данных по приведенным выше формулами сведены в табл. 2.

Выполненные по различным методикам расчеты показывают хорошую сходимость результатов, а также значимое увеличение предельной растяжимости при введении даже

¹ СП 52-104-2006 Сталефибробетонные конструкции. М.: Минрегион России, 2006. 67 с.

² СП 360.1325800.2017 Конструкции сталефибробетонные. М.: Минрегион России, 2017. 75 с.

³ Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса. М.: Стройиздат. 1975. 192 с.

⁴ СП 41.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. М.: Минрегион России, 2012. 148 с.

полимерных волокон, хотя общепризнано, что низко модульные волокна существенного увеличения прочностных характеристик не обеспечивают, но способны сдерживать деформации матрицы.

Физико-механические характеристики экспериментально изготовленных образцов для бетонов и фибробетонов приведены табл. 3.

Экспериментально полученная прочность на растяжение при раскалывании для стале-

фибробетона выше на 75%, а для фибробетона с полимерной фиброй – на 35%, чем для аналогичной мелкозернистой матрицы.

Пластический характер разрушения фибробетонных образцов представлен на рисунке, что подтверждает особый характер работы дисперсной арматуры, сдерживающей трещинообразование и обеспечивающей работоспособность конструкций даже после образования трещин.

Таблица 2. Предельная величина растягивающих напряжений мелкозернистого бетона-матрицы и фибробетонов, МПа

Table 2. Limit value of tensile stresses of fine-grained concrete-matrix and fiber concrete, MPa

Методика расчета	Формулы	Бетон-матрица, Ц:П = 1:2	Стале-фибробетон	Бетон-матрица, Ц:П=1:3	Фибробетон с полимерной фиброй
Методика ВНИИГ	$\sigma = \frac{\varepsilon_{пр} \cdot E}{k}$	1,6	3,05	1,52	2,17
Методика П.И. Васильева	$\sigma = \gamma_{b3} \cdot \gamma_{b6} \cdot \varepsilon_{пр} \cdot \varphi \cdot E$	1,7	3,39	1,61	2,43
Методика СП 41.13330.2012	$\sigma = k_3 \cdot k_p \cdot E \cdot a \cdot \Delta T$	2,11	3,66	1,99	2,61

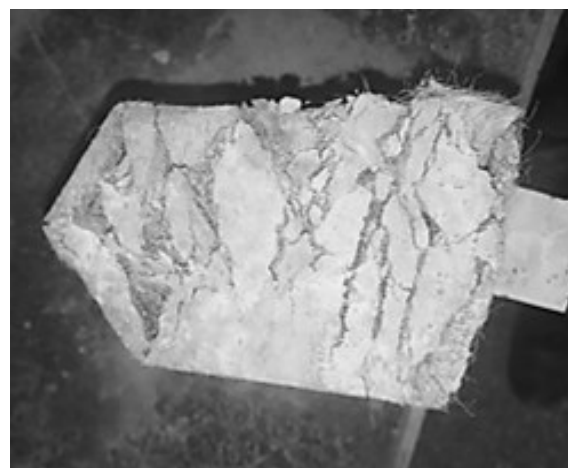
Таблица 3. Экспериментальные физико-механические характеристики бетонов и фибробетонов

Table 3. Experimental physical and mechanical characteristics of concrete and fiber concrete

Состав матрицы	Вид фибры и % армирования по массе	Средняя плотность бетона, кг/м³	Прочность на растяжение при раскалывании, R _{tt} , МПа	
			Прочность отдельных образцов, R _{tt}	Средняя прочность в серии R _{tt}
1:2	–	2245	2,0	2,18
			2,25	
			2,28	
1:3	–	2187	1,30	1,41
			1,48	
			1,44	
1:2	Стальная фибра, 5 %	2371	3,65	3,8
			4,28	
			3,62	
			3,57	
			3,71	
			3,96	
1:3	Полипропиленовая фибра, 1 %	2113	1,88	1,9
			1,87	
			1,75	
			2,22	
			1,810	
			1,85	



a



b

Пластический характер разрушения фибробетонных образцов:

a – сталефибробетонный; b – фибробетонный

Plastic nature of destruction of fiber-concrete samples:

a – steel fiber-reinforced concrete; b – fiber-reinforced concrete

На основе справочно-нормативных и экспериментально полученных данных были рассчитаны максимально допустимые растягивающие напряжения по критерию трещиностойкости для бетона-матрицы, сталефибробетона и фибробетона с полимерной фиброй. Результаты расчетов представлены в табл. 4 и 5 соответственно.

Если для мелкозернистой матрицы расчеты с использованием справочно-нормативных и экспериментальных данных дают достаточно близкие результаты, свидетельствуя о хорошей сходимости теоретических подходов с реальной работой бетона, то для сталефибробетона расхождения весьма значитель-

ны. Удвоение предельной величины растягивающих напряжений для сталефибробетона при использовании в расчетах экспериментально полученных значений предельной растяжимости свидетельствует о необходимости более полного учета особенностей работы дисперсно-армированных бетонов. Полипропиленовая фибра относится к низкомолекулярным волокнам, и не должна оказывать влияния на прочностные характеристики бетона, хотя данные табл. 5 свидетельствуют о значительном повышении предельных растягивающих напряжений для фибробетона с полимерной фиброй, подтверждая особый характер работы дисперсно-армированных бетонов.

Таблица 4. Предельная величина растягивающих напряжений бетона-матрицы и сталефибробетона, МПа

Table 4. Limit value of tensile stresses of concrete matrix and steel fiber concrete, MPa

Наименование методики	Бетон-матрица, Ц:П=1:2		Сталефибробетон	
	Расчет с использованием справочно-нормативных данных	Расчет с использованием экспериментальных данных	Расчет с использованием справочно-нормативных данных	Расчет с использованием экспериментальных данных
Методика ВНИИГ	1,6	1,75	2,65	6,33
Методика П.И. Васильева	1,7	1,78	2,69	11,63
Методика СП 41.13330.2012	2,11	2,48	2,95	7,36

Таблица 5. Предельная величина растягивающих напряжений бетона-матрицы и фибробетона с полимерной фиброй, МПа
Table 5. Limit value of tensile stresses of concrete matrix and fiber concrete with polymer fiber, МПа

Методика	Бетон-матрица, Ц:П=1:3		Фибробетон	
	Расчет с использованием		Расчет с использованием	
	справочно-нормативных данных	экспериментальных данных	справочно-нормативных данных	экспериментальных данных
Методика ВНИИГ	1,52	2,35	2,65	3,17
Методика П.И. Васильева	1,61	4,32	2,69	5,81
Методика СП 41.13330.2012	1,99	2,0	2,95	3,58

Величины предельных растягивающих напряжений, полученные в расчетах с использованием справочно-нормативных и экспериментальных данных (см. табл. 4 и 5), для фибробетонов больше соответствуют неармированной матрице, доказывая еще раз, что стандартные расчеты не учитывают особенностей пластического деформирования дисперсно-армированных бетонов и сохранения несущей способности после образования трещин.

Заниженные значения предельно допустимых растягивающих напряжений для фибробетонов, полученные в результате стандартных расчетов, не в полной мере учитывают возможности дисперсного армирования и приводят к перерасходу ресурсов.

Использование дисперсной арматуры при зимнем бетонировании позволит снизить энергозатраты на обогрев или утепление конструкций за счет увеличения растягивающих напряжений до образования трещин и сохранения несущей способности даже после трещинообразования, характерных для фибробетонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Значительные температурные градиенты, возникающие при зимнем бетонировании, могут приводить к трещинообразованию, для предотвращения которого применяют экономически затратные мероприятия, включая утепление опалубки и дополнительный обогрев боковых поверхностей бетонируемых конструкций.

2. Дисперсное армирование, особенно высокомодульными волокнами, обеспечивает

существенное повышение трещиностойкости, позволяя рекомендовать фибробетоны для зимнего бетонирования.

3. Существующие методы расчета фибробетонов по второй группе предельных состояний предусматривают приведение дисперсной арматуры к стержневой, что способствует занижению реальных прочностных характеристик фибробетонов.

4. Выполненные по различным методикам расчеты величины предельных растягивающих напряжений показывают хорошую сходимость результатов, а также значимое увеличение предельной растяжимости при введении даже полимерных волокон.

5. Экспериментально полученная прочность на растяжение при раскалывании для сталефибробетона выше на 75%, а для фибробетона с полимерной фиброй – на 35%, чем для аналогичной мелкозернистой матрицы, что подтверждает особый характер работы фибробетонов.

6. Заниженные значения предельно допустимых растягивающих напряжений для фибробетонов, полученные в результате стандартных расчетов, не в полной мере учитывают возможности дисперсного армирования и приводят к перерасходу ресурсов.

7. Использование дисперсной арматуры при зимнем бетонировании позволит снизить энергозатраты на обогрев или утепление конструкций за счет увеличения растягивающих напряжений до образования трещин и сохранения несущей способности даже после трещинообразования, характерных для фибробетонов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Колчеданцев Л.М., Васин А.П., Осипенкова И.Г., Ступакова О.Г. Технологические основы монолитного бетона. Зимнее бетонирование: Монография / Под ред. Л.М. Колчеданцева. СПб.: Лань, 2016. 282 с.
2. Батяновский Э.И., Голубев Н.М., Бабицкий В.В., Марковский М.Ф. Технология и методы зимнего монолитного и приобъектного бетонирования. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. 232 с.
3. Трапезников Л.П. Температурная трещиностойкость массивных бетонных сооружений. М.: Энергоатомиздат, 1986. 272 с.
4. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
5. Холмянский М.М. Бетон и железобетон: Деформативность и прочность. М.: Стройиздат, 1997. 576 с.
6. Телешев В.И., Ватин Н.И., Марчук А.Н., Комаринский М.В. Производство гидротехнических работ. М., 2012. Т. 1. 485 с.
7. Иваненко А.Н., Иваненко Н.А., Пересыпкин Е.Н. Трещиностойкость железобетонных конструкций как функция предельной растяжимости бетона // Инженерный вестник Дона. 2014. № 3 (30). С. 80. EDN: TFXFYU.
8. Bamforth P.B. Early-age thermal crack control in concrete. London: CIRIA, 2007. 268 p.
9. Васильев П.И., Кононов Ю.И., Чирков Я.Н. Железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Киев: Высшая школа, 1982. 320 с.
10. Shlyakhtina T.F., Ivankova E.A., Popov N.A. Winter concrete: problems and solutions // Spatial Restructuring of territories: International Baikal investment and construction forum. IOP conference series: earth and environmental science (Irkutsk, 4 December 2020). IOP Publishing Ltd, 2021. Vol. 751. P. 012081.
11. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. 560 с.
12. Рабинович Ф.Н., Романов В.П. О пределе трещиностойкости мелкозернистого бетона, армированного стальными фибрами // Механика композитных материалов. 1985. № 2. С. 277–283.
13. Рабинович Ф.Н. Об оптимальном армировании сталефибробетонных конструкций // Бетон и железобетон. 1986. № 3. С. 17–19.
14. Магдеев У.Х., Морозов В.И., Пухаренко Ю.В. Трещинообразование дисперсно-армированных бетонов с позиций механики разрушения // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 1 (19). С. 110–117. EDN: PASJVV.
15. Шляхтина Т.Ф., Попов Н.А. Повышение эффективности зимнего бетонирования за счет дисперсного армирования // Тр. Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2022. Т. 1. С. 128–134. EDN: PVBVLV.
16. Klyuev S.V., Khezhev T.A., Pukhareno Yu.V., Klyuev A.V. Fiber concrete on the basis of composite binder and technogenic raw materials // Materials science forum. 2018. Vol. 931. P. 603–607. (In Russ.). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.603>. EDN: DHNQPT.
17. Федюк Р.С., Лисейцев Ю.Л., Таскин А.В., Тимохин Р.А., Ключев С.В., Сезар К. Повышение ударной вязкости фиброзобетона // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3. № 6. С. 5–16. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-6-5-16>. EDN: YTZIUC.
18. Пухаренко Ю.В., Жаворонков М.И., Пантелеев Д.А. Совершенствование методов определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости фибробетона // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 3. С. 301–310. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.3.301-310>. EDN: VOYUOL.
19. Колчунов В.И., Кузнецова К.К., Федоров С.С. Модель критерия трещиностойкости и прочности плоскнапряженных конструкций из высокопрочного фибробетона и фиброжелезобетона // Строительство и реконструкция. 2021. Вып. 3 (95). С. 15–26. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-15-26>. EDN: KUEOPV.
20. Жеребцов Ю.В., Ельшаева Д.М., Лухнёва Ю.Н., Доценко Н.А., Самофалова М.С., Курасанов П.Р., и др. Влияние рецептурных факторов на прочностные свойства тяжелых сталефибробетонов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 2. С. 250–259. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-250-259>. EDN: VBAPLY.
21. Парфенов А.А., Сивакова О.А., Гусарь О.А., Балакирева В.В. Работа и разрушение бетона в условиях высокой и низкой температуры // Строительные материалы. 2019. № 3. С. 64–67. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-64-66>. EDN: ZIKFHV.

REFERENCES

1. Kolchedantsev L.M., Vasin A.P., Osipenkova I.G., Stupakova O.G. Technological foundations of monolithic concrete. Winter concreting. In: L. M. Kolchedantsev (Eds.). Saintt Petersburg: Lan; 2016. 282 p. (In Russ.).
2. Batyanovsky E.I., Golubev N.M., Babitsky V.V., Markovsky M.F. Technology and methods of winter monolithic and on-site concreting. Moscow: PH of the Association of Construction Universities; 2009. 232 p. (In Russ.).
3. Trapeznikov L.P. Temperature crack resistance of massive concrete structures. Moscow: Energoatomizdat; 1986. 272 p. (In Russ.).
4. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics. Moscow: Stroyizdat; 1996. 416 p. (In Russ.).
5. Kholmyanskii M.M. Concrete and reinforced concrete: Deformability and strength. Moscow: Stroyizdat; 1997. 576 p. (In Russ.).
6. Teleshev V.I., Vatin N.I., Marchuk A.N., Komarinskii M.V. Production of hydraulic engineering works. Moscow; 2012. Vol.1. 485 p. (In Russ.).
7. Ivanenko A.N., Ivanenko N.A., PERESIPKIN E.N. The crack resistance of concrete structures as a function of the marginal elasticity of concrete. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2014;3:80. (In Russ.). EDN: TFXFYN.
8. Bamforth P.B. Early-age thermal crack control in concrete. London: CIRIA; 2007. 268 p.
9. Vasiliev P.I., Kononov Yu.I., Chirkov Ya.N. Reinforced concrete structures of hydraulic engineering structures. Kiev: Higher School; 1982. 320 p. (In Russ.).
10. Shlyakhtina T.F., Ivankova E.A., Popov N.A. Winter concrete: problems and solutions. In: *Spatial restructuring of territories: International Baikal investment and construction forum. IOP conference series: earth and environmental science*. 4 December 2020, Irkutsk. IOP Publishing Ltd; 2021. Vol. 751. p. 012081. (In Russ.).
11. Rabinovich F.N. Composites based on dispersed reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, construction. Moscow: PH of the Association of construction universities; 2004. 560 p. (In Russ.).
12. Rabinovich F.N., Romanov V.P. On the crack resistance limit of fine-grained concrete reinforced with steel fibers. *Mekhanika kompozitnykh materialov*. 1985;2:277-283. (In Russ.).
13. Rabinovich F.N. On optimal reinforcement of steel-fiber concrete structures. *Beton i zhelezobeton*. 1986;3:17-19. (In Russ.).
14. Magdeev U.Kh., Morozov V.I., Puharenko Iu.V. Cracking of dispersion-reinforced concrete in terms of fracture mechanics. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = News of the Kazan state university of architecture and engineering*. 2012;1:110-117. (In Russ.). EDN: PASJVV.
15. Shlyakhtina T.F., Popov N.A. Improving the efficiency of winter concreting due to dispersed reinforcement. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki = Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences*. 2022;1:128-134. (In Russ.). EDN: PVBVLV.
16. Klyuev S.V., Khezhev T.A., Pukharenko Yu.V., Klyuev A.V. Fiber concrete on the basis of composite binder and technogenic raw materials. *Materials science forum*. 2018;931:603-607. (In Russ.). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.603>. EDN: DHNQPT.
17. Fedyuk R.S., Liseitsev Y.L., Taskin A.V., Timokhin R.A., Klyuev S.V., Cesar C. Increasing in impact viscosity of fiber-ash-concrete. *Stroitel'nye materialy i izdeliya = Construction materials and products*. 2020;3(6):5-16. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-6-5-16>. EDN: YTZIUC.
18. Pukharenko Yu.V., Zhavoronkov M. I., Panteleev D. A. Improvement of methods for determining power and energy characteristics of fibre-reinforced concrete crack resistance. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2019;14(3):301-310. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.3.301-310>. EDN: VOUYOL.
19. Kolchunov V.I., Kuznetsova K.Yu., Fedorov S.S. Crack resistance of prestressed reinforced concrete frame structure systems under special impact. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya = Building and reconstruction*. 2021;3:15-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-15-26>. EDN: KUEOPV.
20. Zherebtsov Yu.V., El'shaeva D.M., Lukhneva Yu.N., Dotsenko N.A., Samofalova M.S., Kurasanov P.R., et al. Effect of recipe factors on mechanical properties of heavyweight steel fibre reinforced concrete. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(2):250-259. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-250-259>.
21. Parfenov A.A., Sivakova O.A., Gusar' O.A., Balakireva V.V. Operation and destruction of concrete at high and low temperatures. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2019;3:64-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-64-66>. EDN: ZIKFHV.

Информация об авторах

Шляхтина Татьяна Федоровна,

к.т.н., доцент,
доцент кафедры
строительных конструкций
и технологии строительства,
Братский государственный университет,
665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40, Россия,
e-mail: t_shlyahatina@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-8091-2212>
Author ID: 588088

Курицына Анна Михайловна,

к.т.н., доцент кафедры
строительных конструкций
и технологии строительства,
Братский государственный университет,
665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40, Россия,
e-mail: tigannet@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-5706-8460>
Author ID: 588089

Information about the authors

Tatiana F. Shlyahatina,

Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Building Structures and Construction
Technologies,
Bratsk State University,
40 Makarenko str., Bratsk, 665709, Russia,
e-mail: t_shlyahatina@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-8091-2212>
Author ID: 588088

Anna M. Kuricyna,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of Departments of Building structures
and construction technologies,
Bratsk State University,
40 Makarenko St., Bratsk 665709, Russia,
e-mail: tigannet@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-5706-8460>
Author ID: 588089

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 01.09.2023.
Одобрена после рецензирования 18.09.2023.
Принята к публикации 19.09.2023.

Information about the article

The article was submitted 01.09.2023.
Approved after reviewing 18.09.2023.
Accepted for publication 19.09.2023.

**Градостроительные аспекты выбора земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов****Е.В. Балабенко^{1✉}, Л.Н. Богак²,
Е.Н. Оберемок³, М.А. Черныш⁴**^{1,2,3,4}Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются основные подходы к выбору земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов с учетом градостроительных особенностей. Проведенный анализ и теоретические исследования показали, что выбор земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов подразумевает междисциплинарное исследование и проектирование планируемой к развитию территории. Основными задачами исследования являются: изучение требований охраны окружающей среды, строительных норм и правил, санитарно-гигиенических, инженерно-экологических и градостроительных правил. В работе проведен анализ основных аспектов к организации земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов. Наибольшее внимание уделено изучению нормативно-правового поля в области градостроительства в части определения законного статуса территорий для расположения объектов размещения твердых коммунальных отходов. В работе сформирована междисциплинарная модель исследования критериев выбора земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов. Выделены потребные отраслевые регламенты, определяющие состав требований к выбору земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов, которые должны совершенствоваться с учетом градостроительного развития.

Ключевые слова: градостроительство, земельный участок, твердые коммунальные отходы, полигон, окружающая среда

Для цитирования: Балабенко Е.В., Богак Л.Н., Оберемок Е.Н., Черныш М.А. Градостроительные аспекты выбора земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 726–738. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-726-738>. EDN: RHBZTB.

Original article**Urban aspects of selecting lands for municipal solid waste disposal facilities****Elena V. Balabenko^{1✉}, Ludmila N. Bogak²,
Elena N. Oberemok³, Marina A. Chernysh⁴**^{1,2,3,4}Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka, Russia

Abstract. The article discusses the main approaches to the selection of a land plot for municipal solid waste disposal facilities, taking into account urban planning features. According to the analysis and theoretical studies, the selection of a land plot for municipal solid waste disposal facilities implies an interdisciplinary study and design of the territory, planned for development. The main objectives of the study include environmental protection requirements, building codes and regulations, sanitary and hygienic, engineering-environmental and urban planning rules. The paper analyses the main aspects of organising a land plot for municipal waste disposal facilities. The greatest attention is paid to the study of the regulatory framework in the field of urban planning in terms of determining the legal status of territories for the location of municipal solid waste disposal facilities. The paper develops an interdisciplinary

nary model for studying the criteria of selecting a land plot for municipal solid waste disposal facilities. The necessary industrial regulations, defining the composition of requirements for the selection of a land plot for municipal solid waste disposal facilities, which should be improved taking into account urban development, are highlighted.

Keywords: urban planning, land plot, municipal solid waste, landfill, environment

For citation: Balabenko E.V., Bogak L.N., Oberemok E.N., Chernysh M.A. Urban aspects of selecting lands for municipal solid waste disposal facilities. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):726-738. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-726-738>. EDN: RHBZTB.

ВВЕДЕНИЕ

Очистка территорий населенных пунктов – одно из важнейших мероприятий, направленных на обеспечение экологического и санитарно-эпидемиологического благополучия населения и охрану окружающей среды.

Проблема выбора места размещения объектов обращения с отходами включает широкий круг участников и необходимость учета множества разнообразных, а порой и противоположных мнений. Необходим механизм, который бы позволял выработать компромиссное и объективное решение, учитывающее интересы всех участников [1].

Анализ публикаций показал, что в отечественной науке вопросы выбора мест размещения объектов обращения с отходами освещены мало.

Работы в большей степени касаются проведения исследований в отношении текущих мест размещения или порядка эксплуатации действующих полигонов отходов [2–7]. При этом отмечается недостаточная обоснованность решений при выборе мест размещения объектов обращения с отходами и необходимость разработки методического подхода к решению данной задачи [8–10]. Также в отдельности рассматриваются проблемы, возникающие при строительстве полигонов твердых коммунальных отходов, которые оказывают значительное воздействие на экологию и социальную сферу деятельности человека [11–14]. В современном мире вопросы охраны окружающей среды стоят достаточно остро. За последние десятилетия зарубежные страны все больше направляют свое внимание в отношении твердых коммунальных отходов с методов удаления на предотвращение и рециркуляцию [15–21]. Предотвращение этих отходов содержит значительный потенциал для снижения их воздействия на окружающую среду не только на этапах образования отходов, но и на протяжении всего жизненного цикла существования продуктов от их изготовления до утилизации остатков.

В то же время, несмотря на значительные достижения в изучении твердых коммунальных отходов, а также вопросов их складирования и удаления, элемент градостроительных особенностей выбора земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов авторами выделяется в меньшей степени и требует дальнейших исследований.

В действующей на территории России нормативно-правовой базе и нормативно-технических документах, касающихся планирования инфраструктуры обращения с отходами, отсутствует четкий состав анализируемых факторов, методики расчетов и принятия многокритериальных решений с учетом различных видов воздействий и их последствий [22]. Исследование аспектов выбора земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов всегда находится на стыке различных дисциплин.

Таким образом, к основной цели данной работы отнесено формирование междисциплинарной связи градостроительной организации территорий для расположения объектов размещения твердых коммунальных отходов.

В этой связи основными задачами градостроительной организации выбора земельного участка становятся: определение градостроительного статуса территории; разработка требований и указаний по санитарно-гигиеническим, инженерно-строительным решениям, выбору площадки и организации экологического мониторинга.

МЕТОДЫ

Исследования показывают, что в современной теории и практике градостроительства сложились два основных метода выбора земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов: моделирование, градоморфологический анализ.

Методом моделирования определяется воздействие одних функциональных подси-

стем (население, обслуживание) на развитие других (промышленность, транспорт).

Модель позволяет рассчитать возможные последствия различных стратегий развития территории посредством имитации территориального размещения основных функциональных ее элементов.

Градоморфологический анализ (метод морфологического анализа) нацелен на:

- подбор возможных решений застройки территории путем определения ее балансовых характеристик (так называемых морфологических признаков) и последующим систематизированном получении их сочетаний (комбинировании);

- определение формы функционально-планировочной организации территории, соответствующей ее градостроительному потенциалу.

На основе перечисленных методов формулируются направления выбора земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важной экологической проблемой, остро стоявшей перед Донецкой Народной Республикой, является проблема, связанная с негативным воздействием на окружающую среду огромного количества твердых коммунальных отходов (далее ТКО), хранящихся либо в специально оборудованных объектах, либо на несанкционированных свалках.

Состав ТКО определен положениями нескольких нормативно-правовых актов, согласно которым:

- ТКО включают в себя отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. К ТКО также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по

составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами¹;

- крупногабаритные отходы – ТКО (мебель, бытовая техника, отходы от текущего ремонта жилых помещений и др.), размер которых не позволяет осуществить их складирование в контейнерах²;

- в целях определения нормативов в составе отходов учитываются также отходы, образующиеся при уборке придомовой территории³.

Перечень твердых коммунальных отходов, образующихся в процессе хозяйственной деятельности потребителя, утвержден Федеральным классификационным каталогом отходов⁴.

Скопившиеся на территории Республики отходы следует рассматривать как накопленный за многие десятилетия экологический ущерб. С увеличением численности населения, развитием экономического потенциала Республики увеличатся и объемы образования отходов, в результате чего возникает потребность в разработке новых способов обращения с отходами. Одним и наиболее частых способов размещения ТКО в Донецкой Народной Республике являются полигоны. Полигон ТКО – специально оборудованное сооружение, предназначенное для размещения отходов и включающее объекты хранения отходов и объекты захоронения отходов^{1,5}. Серьезной проблемой является то, что полигоны ТКО занимают немало ценных земель, но не обустроенные в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации, не имеют документации, предусмотренной законодательством Российской Федерации, для размещения ТКО, и эксплуатируются с отклонениями от требования санитарно-эпидемиологического и природоохранного законодательства.

В качестве обоснования потребности регулирования земельных вопросов связанных с размещением объектов ТКО в исследовании использованы данные юго-восточной части

¹Об отходах производства и потребления: федер. закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ: принят Государственной Думой 22 мая 1998 года] // Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/

²Правила обращения с твердыми коммунальными отходами: утв. Постановлением Правительства РФ от 12.11.2016 № 1156 // Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207118/

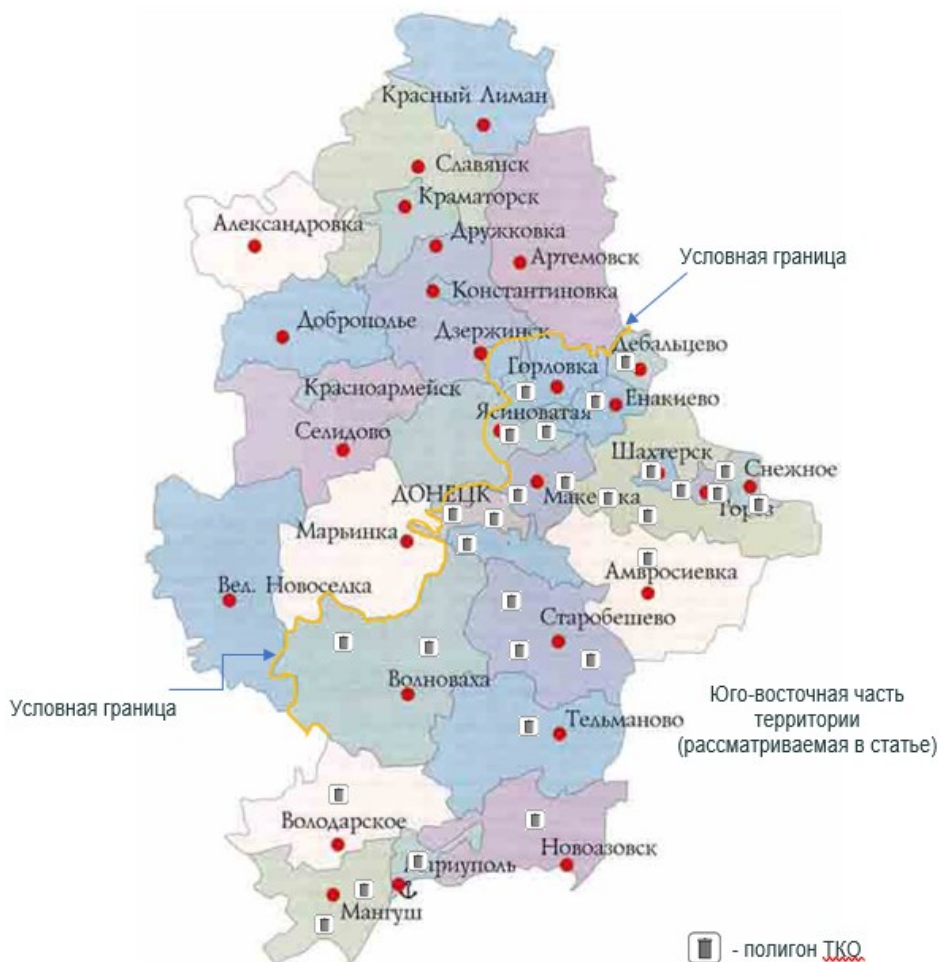
³Правила определения нормативов накопления твердых коммунальных отходов: утв. Постановлением Правительства РФ от 04.04.2016 № 269 // Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_196315/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/

⁴Федеральный классификационный каталог отходов: утв. приказом Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 22.05.2017 № 242 // Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071/

⁵Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов: утв. Министерством строительства РФ от 02.11.1996 // Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146721/03a2be231a770df1c965eed2cf766d4b6d4b50e3/

территории Донецкой Народной Республики, сведения о системе обращения с отходами которой являются наиболее полными и достоверными.

Визуализация условного разделения территории Республики на две части с учетом объектов размещения ТКО в юго-восточной ее стороне, представлена на рисунке.



**Объекты размещения ТКО по административным единицам
Донецкой Народной Республики
MSW disposal facilities by administrative units
of the Donetsk People's Republic**

Численность населения, проживающего в городах и районах юго-восточной части Донецкой Народной Республики в 2022 г. составила около 2,5 млн чел., объем образования отходов в этом же периоде около 5,4 млн т. Прогнозное значение ежегодного роста количества образующихся ТКО на территории Республики целесообразно определить с учетом индекса изменения предположительной численности населения по данным демографического прогноза Федеральной службы государственной статистики.

В связи с необходимостью проведения дополнительной оценки прогнозного естественного и механического прироста численности населения на территории региона, в научной работе принято решение зафиксировать про-

гнозное значение количества образующихся ТКО на уровне роста населения в 2023 г. на 10%. Прогноз образования отходов в 2023 г. с учетом планового прироста населения составит 5,9 млн т (табл. 1). Данные табл. 1 свидетельствуют об воздействии одной функциональной системы – население, с учетом его изменения на состояние другой системы – образование ТКО.

Моделирование прогнозных образований двух систем в части формирования и размещения образующихся ТКО требует комплексного подхода изучения территории с учетом имитации территориального размещения необходимых основных функциональных элементов (транспортно-логистический, складской, перерабатывающий и т.д.).

Таблица 1. Образование отходов в юго-восточной части Республики [24]

Table 1. Waste generation in the south-eastern part of the Republic

Наименование	Численность населения в 2022 г.	Образование отходов, т	Прогноз образования отходов в 2023 г., т
г. Горловка	249439	59916,8	65908,48
г. Дебальцево	24314	8695,7	9565,27
г. Докучаевск	22943	43483,9	47832,29
г. Донецк	922662	862456,2	948701,82
г. Енакиев	113146	277144,1	304858,51
г. Ждановка	12236	274703,2	302173,52
г. Кировское	26861	1058961,8	1164857,98
г. Макеевка	359034	708174,0	778991,4
г. Мариуполь	218000	66708,0	73378,8
г. Снежное	63560	13809,3	15190,23
г. Торез	72459	457037,7	502741,47
г. Харцызск	94996	538123,8	591936,18
г. Шахтерск	54805	127190,2	139909,22
г. Ясиноватая	41869	182778,8	201056,68
Амвросиевский район	40901	16414,2	18055,62
Волновахский район	39478	14307,0	15737,7
Володарский район	25482	7797,0	8576,7
Новоазовский район	29371	10179,4	11197,34
Першотравневый район	25851	7910,0	8701,0
Старобешевский район	46441	605130,5	665643,55
Тельмановский район	14412	9965,9	10962,49
Общий итог	2472409	5350887,5	5885976,25

Моделирование объектов размещения ТКО обуславливает проведение градоморфологического анализа выбора земельного участка. Перечень существующих объектов размещения (захоронения) ТКО на юго-восточной части Донецкой Народной Республики представлен в табл. 2⁶ (территории ДНР до принятия ФКЗ-5 от 04.10.2022 г.⁷) и в табл. 3⁷ (территории ДНР, присоединенные согласно ФКЗ-5 от 04.10.2022 г.). Территориальное расположение существующих объектов размещения (захоронения) ТКО представлено на рисунке. Действующие на территории Республики объекты размещения (захоронения) ТКО (не менее 20 объектов) построены и (или) введены в эксплуатацию более 25 лет назад, по одному объекту размещения (захоронения) ТКО информация по сроку ввода в эксплуата-

цию отсутствует.

Согласно СП 320.1325800.2017 «Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация»⁸ площадь участка, отводимого под полигон ТКО, рассчитывают из условия срока его эксплуатации, но не более 25 лет.

По состоянию на январь 2023 г. действующие объекты размещения ТКО Донецкой Народной Республики не включены в Государственный реестр объектов размещения отходов Росприроднадзора⁹. Кроме размещения (захоронения) ТКО на территории Республики расположены объекты, осуществляющие деятельность по утилизации отходов производства и потребления. Их неполный перечень (списочно охвачена юго-восточная часть Республики) приведен в табл. 4.

⁶Территориальная схема обращения с отходами Донецкой Народной Республики: утв. Распоряжением Правительства ДНР от 8 июня 2023 г. № 41-Р6 // Режим доступа: <https://pravdnr.ru/npa/rasporyazhenie-pravitelstva-donetskoj-narodnoj-respubliki-ot-8-iyunya-2023-g-%e2%84%96-41-r6-ob-utverzhenii-territorialnoj-shemy-obrashheniya-s-othodami-donetskoj-narodnoj-respubliki-be/> (дата обращения: 25.09.2023).

⁷О принятии в Российскую Федерацию Донецкой Народной Республики и образовании в составе Российской Федерации нового субъекта – Донецкой Народной Республики: федер. конст. закон от 04 октября 2022 г. № 5-ФКЗ // Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202210050005> (25.09.2023).

⁸СП 320.1325800.2017 Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация: утверждены приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 17 ноября 2017 № 1555/пн // Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/16294/> (25.09.2023).

⁹Государственный реестр объектов размещения отходов Федеральной службы по надзору в сфере природопользования // Режим доступа: <https://fcao.ru/groro> (дата обращения: 25.09.2023).

Таблица 2. Существующие объекты размещения (захоронения) твердых коммунальных отходов на территории Донецкой Народной Республики до принятия в Российскую Федерацию
Table 2. Existing objects of placement (burial) of MSW in the territory of the Donetsk People's Republic before admission to the Russian Federation

Наименование объекта размещения ТКО	Год ввода объекта в эксплуатацию	Занимаемая территория, га		Статус объекта (действующий + / недействующий –)
		проектная*	фактическая**	
Полигон ТБО пос. Октябрьский, г. Горловка	1953	10,3860	6,1003	+
Ларинский полигон ТКО, г. Донецк	1991	21,54000	21,5400	–
Петровский полигон № 4, г. Донецк	1972	3,5000	3,2000	+
Центральный городской полигон № 1, г. Енакиево	1972	3,5000	35000	–
Полигон ТБО МУП «Горкоммунсервис», г. Дебальцево	1961	13,9000	13,9200	+
Полигон ТБО, г. Докучаевска	1964	6,9722	6,9700	+
Полигон ТБО, г. Макеевки	1968	11,0669	11,0669	+
Полигон ТБО, г. Харцызска	1962	12,0563	10,7000	+
Полигон ТБО, г. Зугрэс	1995	6,4500		+
Полигон ТБО КП «БИОН», г. Иловыйск	2002	12,000	2,948	+
Полигон ТБО, г. Шахтерск	2003	11,2975	–	+
Полигон ТБО, г. Ждановка	2000	11,2975	–	+
Полигон ТБО, г. Кировское	1973	14,8131	–	+
Полигон ТБО, Новоазовский район	1967	14,5970	5,5030	+
Снежнянский городской полигон ТБО, г. Снежное	1964	9,5700		+
Свалка ТБО, г. Торез	1964	13,5000	9,1	+
Полигон ТБО КП «ЯРЦОО», г. Ясиноватая	2008	5,5000	5,5000	+
Полигон ТБО ООО «Экобио групп», Ясиноватский район	2005	–	–	+
Полигон ТБО КП бытового обслуживания населения «Бытсервис», Амвросиевский район	1968	5,4270	–	+
Свалка твердых бытовых отходов филиала «Старобешевская ТЭС» ГУП ДНР «Энергия Донбасса», Старобешевский район	1968	8,2050	8,2050	+
Полигон ТБО пгт Комсомольское, Старобешевский район	1992	–	–	+
Полигон ТБО КП «Старобешевское», Старобешевский район	1977	8,2050	–	+
Свалка ТБО МУП Администрации Тельмановского района «ДОМОВИК», Тельмановский район	1992	4,0000	–	+

*реестр СОМОРО 2022 г., источник <https://gkescopoldnr.ru>

**отчет «Сбор и анализ исходных данных для разработки схемы территориального планирования Донецкой Народной Республики (I этап) / ГОУ ВПО «ДОННАСА». Макеевка, 2021 г.

Таблица 3 Существующие объекты размещения (захоронения) твердых коммунальных отходов на территории Донецкой Народной Республики после принятия в Российскую Федерацию*

Table 3. Existing objects of placement (burial) of MSW in the territory of the Donetsk People's Republic after admission to the Russian Federation

Объект размещения твердых коммунальных отходов	Год ввода объекта в эксплуатацию
Полигон ТБО МУП «РАЙКОММУНХОЗ», Волновахский район	н/д
Полигон ТБО МУП «Новотроицкое домоуправление», Волновахский район	2000
Полигон ТБО, Володарский район	1964
Полигон ТБО МУП «Коммунальник», г. Мариуполь	2012
Полигон ТБО МУП «Мангушское УКП», пгт Мангуш, Першотравневый район	1963
Полигон ТБО МУП «Мангушское УКП», пгт Ялта, Першотравневый район	2008

Примечание: данные о занимаемой территории объектов размещения ТКО и их статусе не представляется возможным получить для использования в научных целях.

Таблица 4. Существующие объекты утилизации отходов производства и потребления на территории Донецкой Народной Республики*

Table 4. Existing facilities for the disposal of production and consumption waste in the territory of the Donetsk People's Republic*

Объект утилизации	Город / район размещения эксплуатирующей организации объекта утилизации	Суть технологии утилизации
ОУ аккумуляторных батарей	г. Донецк	Прием и складирование поступающего на переработку сырья; подготовка сырья к переплавке; металлургическая переработка свинецсодержащего сырья; контроль химсостава продукции; приемка партий блоков черного свинца и отгрузка их потребителям; складирование слитого электролита, шлака и органической массы
ОУ макулатуры	г. Донецк	Сбор, обработка, переработка, утилизация макулатуры
ОУ макулатуры	г. Донецк	Переработка и утилизация макулатуры
ОУ пластика	г. Макеевка	Переработка и утилизация пластика
ОУ пластика	г. Донецк	Переработка и утилизация пластика
ОУ пластика	г. Донецк	Переработка и утилизация пластика
ОУ пластика	г. Донецк	Мойка, сушка, измельчение и гранулирование
ОУ отработанных масел	г. Дебальцево	Сбор, транспортировка, обработка, утилизация отработанных масел
ОУ куриного помета	Амвросиевский район	На специально оборудованное место временного хранения отходов в течение 11 месяцев жидкий и полусухой помет куриный 3 класса опасности перепревает на атмосферном воздухе, переходя в 4 класс опасности и далее вывозится на поля сельхозугодий самовывозом
Объект утилизации	г. Шахтерск	С помощью гидролизной термической реакции изготовление муки животного приготовления

*реестр СОМОРО 2022 г., источник <https://gkecopoldnr.ru>.

Расположенные на территории Республики объекты утилизации отходов вносят незначительный вклад в рециклинг, регенерацию, рекупирацию и использование твердых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии.

Для улучшения ситуации по обеспечению экологической безопасности территорий и населения Республики, необходима разработка комплексного механизма обращения с ТКО в составе мероприятий, направленных на создание объектов по размещению, обработке и утилизации отходов в целях снижения негативного воздействия на окружающую среду путем уменьшения объема захораниваемых отходов и вовлечения их в хозяйственный оборот, а также правовой базы в части разработки правил землепользования и застройки при территориальном планировании для обоснования площадок для размещения комплексов обращения с ТКО.

Существующее положение проектирования объектов размещения твердых коммунальных отходов требует градоморфологического анализа территории проведение которого опирается на ряд нормативных документов, с учетом требований охраны окружающей среды, строительных норм и правил подбора возможных решений застройки территории, санитарно-гигиенических и градостроительных правил, влияющих на функционально-планировочную организацию территории.

Анализ норм и правил выбора земельного участка при проектировании объектов размещения ТКО дает возможность выделить особенности.

Общими положениями СП 2.1.1038-01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов»¹⁰ определены требования и указания по санитарно-гигиеническим, инженерно-строительным решениям, выбору площадки и организации экологического мониторинга.

Выбор площадки определяется следующим образом:

– п. 2.1. Полигоны могут быть организованы для любых по величине населенных пунктов. Рекомендуются создание централизованных полигонов для групп населенных пунктов;

– п. 3.3. Участок для устройства полигона ТБО должен отводиться в соответствии с утвержденным генеральным планом или проектом планировки и застройки города и его пригородной зоны. ...;

– п. 3.4. Санитарно-эпидемиологическое заключение о соответствии гигиеническим требованиям выбранного участка для устройства полигонов ТБО выдает территориальный Центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора⁹.

При изучении действующего правового поля в области градостроительства следует вывод о целесообразности определения законного статуса территорий для размещения объектов размещения твердых коммунальных отходов в рамках правил землепользования и застройки территорий (ст. 30 Градостроительного кодекса РФ¹¹), главной целью которых является создания условий для устойчивого развития территорий муниципальных образований.

Согласно градостроительному регламенту¹⁰, территории для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов являются самостоятельными территориальными зонами, которые необходимо учитывать при территориальном планировании и планировке территорий на муниципальном уровне.

Основные требования к территории под полигон ТКО указаны в специальном документе – СП 320.1325800.2017⁷:

– полигон размещается за пределами городов и других населенных пунктов;

– минимальное расстояние от полигона до селитебной зоны – 500 м;

– полигон должен располагаться на местности с основанием из глины, тяжелых суглинков;

– площадь полигона варьируется в пределах от 30 до 300 га;

– высота укладки отходов не должна превышать 60 м от основания;

– не запрещается захоронение отходов 3-5-го классов опасности.

Для определения границ полигона требуется выполнение инженерно-экологических изысканий.

Требования к инженерно-геодезическим, инженерно-геологическим, инженерно-

¹⁰СП 2.1.1038-01 Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов: утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2001 № 16 // Stroyinf.ru. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294847/4294847630.htm> (дата обращения: 25.09.2023).

¹¹Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ. Принят ГД 22 декабря 2004 г. // КонсультантПлюс. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения: 25.09.2023).

гидрометеорологическим и инженерно-экологическим изысканиям на всех стадиях выделения земельного участка определены СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства»¹². В соответствии с СП 11-102-97 проведение мониторинга и контроля состояния объекта размещения ТКО путем инженерно-экологических изысканий необходимо в период всего его жизненного цикла. Систематизированные данные об изменениях объекта позволят сформировать наиболее эффективный вариант инженерной защиты, направленной на обеспечение экологической безопасности в период действия полигона.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»¹³ разработка проекта санитарно-защитной зоны для объектов I-III класса опасности является обязательной. Размеры и границы санитарно-защитной зоны определяются в проекте санитарно-защитной зоны (территория с особым режимом использования), соответственно эти критерии и определяют выбор земельного участка для формирования объекта ТКО. Требования природоохранного законодательства при выборе земельного участка для расположения объекта размещения ТКО, его проектировании, строительстве, реконструкции, консервации, ликвидации принуждают к проведению обязательного эколого-экономического обоснования. Обязательным элементом обоснования является проведение оценки воздействия планируемого объекта на окружающую среду (далее ОВОС) – это процесс, в результате которого принимается экологически ориентированное управленческое решение о реализации намечаемой хозяйственной или иной деятельности посредством определения возможных неблагоприятных воздействий, оценки экологических последствий, учета общественного мнения, разработки мер по уменьшению и предотвращению воздействий¹⁴. Информация о характере и

масштабах воздействия на окружающую среду территории размещения проектируемого объекта, оценке экологических и связанных с ними социально-экономических и иных последствий этого воздействия и их значимости, о возможности минимизации воздействий, а также аспектах восстановления окружающей природной среды, согласно существующему положению в области согласования строительной документации, должен быть решен при проектировании в материалах ОВОС. На практике, материалы ОВОС разрабатываются для положительного согласования проекта и успешного прохождения государственной экологической экспертизы¹⁵.

Действующими нормативными документами предписывается проведение экспертизы проектов для предотвращения или смягчения воздействия намечаемой деятельности на окружающую среду и связанных с ней социальных, экономических, экологических и других последствий, но четкий перечень потребных для анализа составляющих, методики расчетов с учетом различных видов воздействий и их последствий в используемых на практике нормах отсутствует.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для рационального использования земель и экологической безопасности формирования объектов размещения ТКО необходима разработка и принятие ряда отраслевых регламентов, четко определяющих состав требований, которые должны совершенствоваться с учетом градостроительного развития.

Обязательными требованиями при выборе земельного участка для формирования объектов размещения ТКО должны быть:

1. Наличие градостроительных регламентов (правил землепользования и застройки) определяющих законный статус территории для формирования объектов размещения ТКО.

2. Утвержденные документы территориального планирования (генеральные планы городских и муниципальных округов) и/или

¹²СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства: утверждены приказом Государственного комитета РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу от 10 июля 1997 № 9-1-1/69 // Режим доступа: <https://meganorm.ru/Index1/5/5155.htm> (дата обращения: 25.09.2023).

¹³СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов: утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 25.09.2007 № 74 // Режим доступа: <https://meganorm.ru/Index2/1/4294844/4294844925.htm> (25.09.2023).

¹⁴Об охране окружающей среды: федер. закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ // Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 25.09.2023).

¹⁵Об экологической экспертизе: Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ // Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8515/ (дата обращения: 25.09.2023).;

Об экологической экспертизе: Закон Донецкой Народной Республики от 16.08.2021 г. № 312-ІІНС: [принят Постановлением Народного Совета 06 августа 2021 года] // Режим доступа: <http://npa.dnronline.su/2021-08-17/312-iins-ob-ekologicheskoy-ekspertize.html> (дата обращения: 25.09.2023).

планировки территории (проекты планировки территорий) в соответствии с которыми производить выделение земельного участка для формирования объектов размещения ТКО.

3. Регламент проведения инженерно-экологического мониторинга и контроля в пе-

риод жизненного цикла объектов размещения ТКО.

4. Свод правил по проведению оценки воздействия планируемого объекта на окружающую среду с учетом периода функционирования объектов размещения ТКО.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Атерекова А.В., Сиваев С.Б. Выбор участков под объекты обращения с твердыми коммунальными отходами на основе пространственного анализа и многофакторной оценки // Городские исследования и практики. 2016. Vol.1. № 1. С. 70–85. <https://doi.org/10.17323/usp11201670-85>.
2. Путырский В.Е. Проблема утилизации отходов: методы натурного моделирования // Природообустройство. 2014. Вып. 5. С. 86–91. EDN: TEXTSX.
3. Селиванова Н.В., Трифонова Т.А., Селиванов О.Г. О размещении и строительстве межмуниципального комплекса по переработке и захоронению твердых бытовых и приравненных к ним промышленных отходов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 14. № 1 (9). 2012. С. 2443–2446. EDN: PXAGHN.
4. Шамсутдинова А.И. Основы эколого-экономического регулирования при размещении отходов на полигонах ТБО (на примере Республики Башкортостан) // Экономика и экологический менеджмент. 2011. № 2. С. 286–292. EDN: OFYTEX.
5. Поваров А.А., Селиванова Н.В., Трифонова Т.А., Павлова В.Ф., Селиванов О.Г., Ильина М.Е. и др. Очистка фильтрационных вод полигонов твердых бытовых отходов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1-3. С. 661–664. EDN: SXGOKD.
6. Гарифзянов Р.Д., Батракова Г.М. Идентификация и оценка экологического состояния территорий размещения отходов методом дешифрования космических снимков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. № 3 (15). С. 86–95. EDN: SZCIXX.
7. Калюжина Е.А., Самарская Н.С. Экологические особенности воздействия полигонов твердых бытовых отходов на состояние окружающей среды в районах их расположения // Инженерный вестник Дона. 2014. № 3. С. 43. EDN: TFXFJX.
8. Великанова Т.В. Методы и модели размещения объектов обращения с отходами в регионе // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-6. С. 1289–1293. EDN: RUDECX.
9. Щербина Е.В. Методология анализа жизненного цикла при проектировании полигонов твердых бытовых отходов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 11 (82). С. 69–71.
10. Аристов М.А. Мониторинг полигонов ТБО и обнаружение стихийных мусоросвалок по данным космической съемки // ГеоПрофиль. 2009. № 2 (5). С. 34–41.
11. Голубкова У.С., Кнауб Р.В. Эколого-социальные проблемы строительства полигонов твердых коммунальных отходов // Природопользование и охрана природы: Охрана памятников природы, биологического и ландшафтного разнообразия Томского Приобья и других регионов России: материалы IX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции (г. Томск, 21–23 апреля 2020 г.) Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2020. С. 285–289. <https://doi.org/10.17223/978-5-94621-954-9-2020-68>. EDN: TEPFZF.
12. Латышевская Н.И., Юдина Е.В., Бобунова Г.А. Эколого-токсикологическая оценка твердых бытовых отходов, захораниваемых на полигоне // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2009. № 1 (29). С. 73–75. EDN: KOHJOZ.
13. Вайсман Я.И., Тагилова О.А., Садохина Е.Л. Разработка методологических принципов создания и оптимизации учета движения отходов с целью повышения эколого-экономическо-социальной эффективности управления их обращением // Экономика и промышленность России. 2013. № 12. С. 40–45. EDN: RNLOXV.
14. Лоншакова А.А., Коркина А.А. Исследование пространственного распространения токсичности от полигона твердых коммунальных отходов в пределах среднеобской низменности // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 170–174. EDN: YVFUAP.
15. Шилкина С.В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России // Отходы и ресурсы. 2020. № 1. С. 5. <https://doi.org/10.15862/05ECOR120>. EDN: ZZGXBE.
16. Мочалова Л.А., Гриненко Д.А., Юрак В.В. Система обращения с твердыми коммунальными отходами: зарубежный и отечественный опыт // Известия Уральского государственного горного университета. 2017. Вып. 3 (47). С. 97–101. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-3-97-101>. EDN: ZFCWMN.

17. Mahajan K., Chitode J.S. Solid waste bin monitoring using zig-bee // *Journal of Engineering Research and Application*. Vol. 4 (6). P. 161–164.
18. Beyene H.D., Werkneh, A.A., Ambaye T.G. Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review. *Renew. Energy Focus*. 2018. Vol. 24. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2017.11.001>.
19. Dong J., Tang Y., Nzihou A., Chi Y., Weiss-Hortala E., Ni M., et al. Comparison of waste-to-energy technologies of gasification and incineration using life cycle assessment: case studies in Finland, France and China // *Journal Clean. Prod.* 2018. Vol. 203. P. 287–300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.139>.
20. Khan I., Kabir Z. Waste-to-energy generation technologies and the developing economies: a multi-criteria analysis for sustainability assessment. *Renew // Energy*. 2020. Vol. 150. P. 320–333. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.132>.
21. Mayer F., Bhandari R., Gäth S. Critical review on life cycle assessment of conventional and innovative waste-to-energy technologies // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 672. P. 708–721. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.449>.
22. Орцханов Т.А. Градостроительные аспекты, направленные на обеспечение экологической безопасности территорий размещения полигонов ТБО // *Градостроительство*. 2010. № 3. С. 150–153.
23. Статистический бюллетень // Государственная служба статистики Донецкой Народной Республики. Отдел статистики в городе Макеевке. 2022. 162 с. Режим доступа: <https://80.rosstat.gov.ru/folder/215202> (дата обращения: 25.09.2023).

REFERENCES

1. Aterekova A.V., Sivaev S.B. Selection of sites for sub-objects of municipal solid waste management based on spatial analysis and multifactor assessment. *Gorodskie issledovaniya i praktiki = Urban Studies and Practices*. 2016;1(1):70-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.17323/usp11201670-85>.
2. Putyrsky V.Ye. Problem of wastes utilization: methods of natural modeling. *Prirodoobustroistvo = Environmental engineering*. 2014;5:86-91. (In Russ.). EDN: TEXSWX.
3. Selivanova N.V., Trifonova T.A., Selivanov O.G. About placement and building the intermunicipal complex on processing and burial solid household and equated to them industrial wastes. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2012;14;1(9):2443-2446. (In Russ.). EDN: PXAGHN.
4. Shamsutdinova A.I. Fundamentals of ecological and economic regulation in waste disposal at landfills (on the example of the Republic of Bashkortostan). *Ekonomika i ekologicheskii menedzhment*. 2011;2:286-292. (In Russ.). EDN: OFYTEX.
5. Povarov A.A., Selivanova N.V., Trifonova T.A., Pavlova V.F., Selivanov O.G., Il'ina M.E., et al. Purification of leakage waters from solid household waste polygon. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* = 2014;16(1-3):661-664. EDN: SXGOKD.
6. Garifzyanov R.D., Batrakova G.M. Identification and assessment of the ecological condition of waste disposal areas by the method of decoding satellite images. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*. 2014;3:86-95. (In Russ.). EDN: SZCIXX.
7. Kalugina E.A., Samarskaya N.S. Ecological features of the impact of landfills on the environment in the regions where they are located. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2014;3:43. EDN: TFXFJX.
8. Velikanova T.V. Methods and models of accommodation of objects of waste management in the region. *Fundamental'nye issledovaniya* 2013;11-6:1289-1293. (In Russ.). EDN: RUDECX.
9. Shcherbina E.V. Methodology of life cycle analysis in the design of landfills of solid household waste. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2005;11:69-71. (In Russ.).
10. Aristov M.A. Monitoring of landfills and detection of natural landfills according to satellite imagery. *GeoProfil' = GEOprofile magazine*. 2009;2:34-41.
11. Golubkova U.S., Knaub R.V. Ecological and social problems of construction solid municipal waste landfills. In: *Prirodopol'zovanie i okhrana prirody: Okhrana pamyatnikov prirody, bio-logicheskogo i landshaftnogo raznoobraziya Tomskogo Priob'ya i drugikh regionov Rossii: materialy IX Vserossiiskoi s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoi konferentsii = Nature management and nature protection: Protection of natural monuments, biological and landscape diversity of the Tomsk region and other regions of Russia: materials of the IX All-Russian Scientific and Practical conference with international participation*. 21-23 April 2020, Tomsk. Tomsk: Tomsk State University; 2020. p. 285–289. (In Russ.). <https://doi.org/10.17223/978-5-94621-954-9-2020-68>. EDN: TEPFZF.

12. Latishevskaya N.I., Udina E.V., Bobunova G.A. Ecological toxicological evaluation of solid domestic waste disposed at landfill. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of Volgograd state medical university*. 2009;1:73-75. (In Russ.). EDN: KMDDLТ.
13. Vaisman Ya.I., Tagilova O.A., Sadokhina E.L. Development of methodological principles for the creation and optimization of waste movement accounting in order to increase the ecological and economic and social effectiveness of waste management. *Ekonomika i promyshlennost' Rossii*. 2013;12:40-45. EDN: RNLOXV.
14. Lonshakova A.A., Korkina A.A. Investigation of the spatial spread of toxicity from the landfill of municipal solid waste within the Sredneobskaya lowland. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoi sredy*. 2018;4:170-174. EDN: YVFUAP.
15. Shilkina S.V. Global trends in waste management and analysis of the situation in Russia. *Otkhody i resursy*. 2020;1:5. (In Russ.). <https://doi.org/10.15862/05ECOR120>. EDN: ZZGXBE.
16. Mochalova L.A., Grinenko D.A., Yurak V.V. The management of solid municipal waste: domestic and foreign experience. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta = News of the Ural State Mining University*. 2017;3:97-101. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-3-97-101>. EDN: ZFCWMN.
17. Mahajan K., Chitode J.S. Solid waste bin monitoring using zig-bee. *Journal of Engineering Research and Application*. 4:161-164.
18. Beyene H.D., Werkneh A.A., Ambaye T.G. Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review. *Renewable Energy Focus*. 2018;24:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2017.11.001>.
19. Dong J., Tang Y., Nzihou A., Chi Y., Weiss-Hortala E., Ni M., et al. Comparison of waste-to-energy technologies of gasification and incineration using life cycle assessment: case studies in Finland, France and China. *Journal Clean. Prod.* 2018;203:287-300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.139>.
20. Khan I., Kabir Z. Waste-to-energy generation technologies and the developing economies: a multi-criteria analysis for sustainability assessment. *Renew. Energy*. 2020;150:320-333. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.132>.
21. Mayer F., Bhandari R., Gäth S. Critical review on life cycle assessment of conventional and innovative waste-to-energy technologies. *Science of the total environment*. 2019;672:708-721. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.449>.
22. Ortskanov T. Town-planning and environmental safety of polygons shw territory. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo = Academia. Architecture and construction*. 2010;3:150-153. (In Russ.). EDN: NTLBKF.
23. Statistical Bulletin. *State Statistics Service of the Donetsk People's Republic. Department of statistics in the city of Makeyevka*. 2022. 162 p. Available from: <https://80.rosstat.gov.ru/folder/215202> [Accessed 25 September 2023].

Информация об авторах

Балабенко Елена Владимировна,
д.э.н., доцент,
профессор кафедры
менеджмента строительных организаций,
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры,
286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, Россия,
e-mail: balabenko_e@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6024-9452>
Author ID: 586094

Богак Людмила Николаевна,
старший преподаватель кафедры
землеустройства и кадастров,
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры,
286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, Россия,
e-mail: ludmila.bogak@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-2589-2234>
Author ID: 584966

Information about the authors

Elena V. Balabenko,
Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Professor of the Department
of Management of Civil Organizations,
Donbas National Academy of Civil Engineering
and Architecture,
2 Derzhavin St., Makeevka 286123, Russia,
e-mail: balabenko_e@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6024-9452>
Author ID: 586094

Ludmila N. Bogak,
Senior Lecturer of the Department
of Land Management and Cadasters,
Donbas National Academy of Civil Engineering
and Architecture,
2 Derzhavin St., Makeevka 286123, Russia,
e-mail: ludmila.bogak@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-2589-2234>
Author ID: 584966

Оберемок Елена Николаевна,
старший преподаватель кафедры
землеустройства и кадастров,
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры,
286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, Россия,
e-mail: elena_kolomys@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-0100-3982>

Elena N. Oberemok,
Senior Lecturer of the Department
of Land Management and Cadasters,
Donbas National Academy of Civil Engineering
and Architecture,
2 Derzhavin St., Makeevka 286123, Russia,
e-mail: elena_kolomys@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-0100-3982>

Черныш Марина Александровна,
кандидат архитектуры, доцент,
доцент кафедры архитектурного
проектирования и дизайна
архитектурной среды,
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры,
286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, Россия,
e-mail: Marishynik1@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5635-417X>
Author ID: 1038705

Marina A. Chernysh,
Cand. of Architecture, Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Architectural Design
and Architectural Environment Design,
Donbas National Academy of Civil Engineering
and Architecture,
2 Derzhavin St., Makeevka 286123, Russia,
e-mail: Marishynik1@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5635-417X>
Author ID: 1038705

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 26.09.2023.
Одобрена после рецензирования 12.10.2023.
Принята к публикации 16.10.2023.

Information about the article

The article was submitted 26.09.2023.
Approved after reviewing 12.10.2023.
Accepted for publication 16.10.2023.

**Визуально-образный комфорт восприятия архитектурной среды
в условиях искусственного освещения (на примере г. Челябинска)****О.Р. Бокова**

Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск, Россия

Аннотация. Цель исследования, проведенного на объектах г. Челябинска, – выявление сущности визуально-образного комфорта восприятия искусственной архитектурно-световой среды. Достигание поставленной цели строится на комплексном подходе, включающем анализ научно-информационных ресурсов, в том числе нормативно-правовой документации, натурные наблюдения и обследование, графический анализ фрагментов архитектурно-световой среды при искусственном освещении. Анализ нормативно-правовой базы по вопросам освещения архитектурных объектов и городского пространства показал, что в технических регламентах этой сферы понятие и параметры визуального комфорта четко артикулируются только применительно к интерьерному пространству и дорожно-транспортной системе. В ходе работы выяснялись понятие и условия процесса создания образного аспекта визуального восприятия искусственной архитектурно-световой среды города. Преимущественно в ракурсе комфорта этого процесса исследованы участки архитектурно-световой среды г. Челябинска в условиях искусственного освещения. По результатам работы может быть сделан вывод, что процесс формирования искусственной архитектурно-световой среды города должен основываться на визуальном и образном комфорте, протекает в определенной последовательности, связан с появлением новых факторов инновационного развития среды города. Установлена взаимосвязь между визуальным комфортом восприятия искусственной архитектурно-световой среды и основами функциональной безопасности субъектов в узловых точках города. Теоретический и исследовательский материалы, представленные в статье, могут послужить основой дальнейшей междисциплинарной разработки программы развития визуально комфортной и безопасной искусственной архитектурно-световой среды города, исходя из опыта г. Челябинска – типичного отечественного мегаполиса.

Ключевые слова: архитектурно-световая среда, визуально-образное восприятие, визуальный комфорт, наружное освещение, светокolorистическая конкуренция

Для цитирования: Бокова О. Р. Визуально-образный комфорт восприятия архитектурной среды в условиях искусственного освещения (на примере г. Челябинска) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 739–750. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-739-750>. EDN: AAWJRI.

Original article**Visually-shaped comfort of perceiving the architectural environment in conditions
of artificial lighting (using the example of Chelyabinsk)****Olga R. Bokova**

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The study, conducted at the facilities of Chelyabinsk, aims to identify the essence of the comfort visually-shaped perception of the artificial architectural and light environment. This is achieved by an integrated approach, which involves the analysis of scientific and information resources, including regulatory and legal documents, field observations and surveys, graphical analysis of architectural and light environmental fragments under artificial lighting. An analysis of the regulatory framework on the lighting of architectural objects and urban space demonstrated the technical regulations of this sphere

clearly articulating the visual comfort concept and its parameters only in relation to the interior space and the road transport system. The study clarified the concept and conditions of creating a shaping aspect in the visual perception of the urban artificial architectural and light environment. Mostly in terms of comfort for this process, the Chelyabinsk areas of the architectural and light environment in artificial lighting conditions were studied. Based on the results of the study, it can be concluded that the process of forming an artificial architectural and light environment of the city should be based on a visually-shaped comfort, proceeding in a certain sequence and associated with the emergence of new factors of innovative urban environmental development. The relationship between the visually-shaped comfort of perceiving the artificial architectural and light environment, as well as the basics of the functional safety of subjects at the nodal points of the city were established. According to the experience of a typical domestic metropolis of Chelyabinsk, theoretical and research materials, presented in the article, can serve as the basis for the further interdisciplinary development of a visually comfortable and safe artificial architectural and light environment of cities.

Keywords: lighting environment; visual imagery; figurative perception; visual comfort; outdoor lighting; light and color competition

For citation: Bokova O.R. Visually-shaped comfort of perceiving the architectural environment in conditions of artificial lighting (using the example of Chelyabinsk). *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):739-750. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-739-750>. EDN: AAWJRI.

ВВЕДЕНИЕ

Перспектива дальнейшего развития городов тесно связана с расширением возможностей функционирования архитектурной среды в вечерне-ночное время, что определяется преимущественно световыми технологиями. Скорость появления новых факторов инновационного развития светового пространства города в некоторых случаях опережает процесс их своевременного изучения, научного обоснования и разработки требований в нормативно-правовом поле.

Облик города, его элементы и объекты регламентируются параметрами комфорта и безопасности, зафиксированными в нормативно-правовой базе. Однако, учитывая особенности доминирования визуального способа коммуникации в современной культуре, увеличивается важность и образно-пространственного осмысления реальности, поскольку понимание как благоприятных, так и неблагоприятных условий происходит через их восприятие субъектами среды.

В процессе визуального восприятия может создаваться как позитивный образ, так и дискомфортный. Особенности некоторых условий, при которых возникают варианты комфортного или дискомфортного зрительного образа, изучены на примерах мировой практики, на примере города-миллионника Челя-

бинска – типичного промышленного города, представленного стилистическим разнообразием архитектурных решений.

МЕТОДЫ

Анализ научно-информационных ресурсов, в том числе нормативно-правовой документации, в рамках комплексного подхода, включающего натурные наблюдения, обследование с использованием программы *Fotolux*, фотофиксацию, графический анализ фрагментов городской среды, позволил уточнить генезис понятия и особенности визуально-образного комфорта в процессе восприятия архитектурной среды ее субъектами при искусственном освещении.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основное условие зрительного восприятия человеком окружающей среды – наличие света. Как естественное, так и искусственное освещение стали реалиями современной городской жизни. Развитие технологий искусственного света привело к расширению парадигмы комфортного восприятия средового пространства.

Термин «комфорт» в словаре С.И. Ожегова¹ определяется как условия жизни, пребывания, обстановка, обеспечивающие удобство, спокойствие и уют, т.е. автор объясняет комфорт как понятие на уровне быденного сознания. В Большом энциклопедическом словаре отведено место трактовке комфортности среды, которая понимается как опти-

¹Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка: 80 000 слов и фразеологических выражений; Рос. акад. наук, Ин-т рус. яз. им. В. В. Виноградова РАН. М.: Технологии, 2007. 938 с.

мальное для человека состояние окружающей среды, обеспечивающей здоровье и работоспособность². Отечественная нормативно-правовая база использует этот термин, как правило, в контексте других понятий – безопасности, благоприятной среды, здоровьесбережения и др. Современный человек связывает комфорт не только с бытом, внутренним убранством помещения, но и с пребыванием во внешней среде, и особенно в вечерне-ночное время при искусственном освещении. Между тем, термин «визуальный комфорт» (visual comfort) используется в п. 2.3 Национального стандарта ГОСТ Р 55654-2013 (ИСО 16813:2006)³ для оценки состояния только внутреннего пространства и определяется как «удовлетворение людей внутренней визуальной средой помещения, выраженной уровнем освещенности, яркости света, видимости, отражения и психологическим и физиологическим ощущением от естественного и искусственного освещения».

СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»⁴ представляет собой документ, наиболее комплексно рассматривающий условия, приводящие к зрительному дискомфорту. Показана связь освещения с обеспечением многочисленных функций, определяющих уровень безопасности внутренней и внешней среды (распознаваемость объектов, слепимость и т.д.).

Термин «визуальный комфорт» более широко используется органами местного самоуправления уже для городского пространства в документах регионального уровня. В частности, в распоряжении Министерства благоустройства Московской области «Об утверждении методических рекомендаций "Стан-

дарт объектов (средств) наружного освещения объектов благоустройства Московской области"» создание условий для безопасного движения транспорта и пешеходов, обеспечение всех групп пользователей удобством ориентирования на местности, визуального комфорта и чувства личной безопасности определяются в качестве одной из главных задач⁵. Решение Челябинской городской думы «Об утверждении Правил содержания, ремонта и реставрации фасадов зданий и сооружений на территории г. Челябинска (с изменениями на 31 марта 2020 г.)» закрепляет приоритет комфортности световой среды города. В частности, п. 58. гласит: архитектурно-художественное освещение фасадов зданий и сооружений должно обеспечивать хорошую видимость и выразительность наиболее важных объектов в вечернее время, повышать комфортность световой среды города. Установки архитектурно-художественного освещения не должны производить слепящего действия на водителей транспорта и пешеходов⁶. На п. 183 «Правил благоустройства территории г. Челябинска» (в ред. решения Челябинской городской думы от 19.12.2017 № 36/29, от 18.02.2020 №6/28)⁷ ссылается дизайн-код наружного освещения, разработанный Управлением по архитектурно-градостроительному проектированию г. Челябинска в целях улучшения качества городской среды⁸.

Архитектурно-художественное освещение объектов и средовых элементов города находится в неразрывной связи с утилитарным освещением среды. ГОСТ Р 55706-2013 «Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы» в п. 3.10 определяет главную функцию утилитарного наружного освеще-

²Большой энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия; СПб: Фонд «Ленингр. Галерея», 1993. 1628 с.

³ГОСТ Р 55654-2013 (ИСО 16813:2006). Национальный стандарт российской федерации. Проектирование зданий с учетом экологических требований. Внутренняя среда. Общие принципы // Гарант. Режим доступа: <https://base.garant.ru/71170880/?ysclid=lpwq861523938122875> (дата обращения: 23.09.2023).

⁴СП 52.13330 СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» (утв. постановлением Минстроя РФ от 2 августа 1995 г. № 18–78) (с изменениями и дополнениями) // Гарант. Режим доступа: <https://base.garant.ru/2306278/> (дата обращения: 23.09.2023).

⁵Об утверждении методических рекомендаций «Стандарт объектов (средств) наружного освещения объектов благоустройства Московской области: распоряжение Министерства благоустройства Московской области: метод. рекомендации от 25 декабря 2019 г. N 10Р-63. Режим доступа: <https://minblag.mosreg.ru/download/document/5439484?ysclid=lpqk9yyzf4945289662> (дата обращения: 23.09.2023).

⁶Об утверждении Правил содержания, ремонта и реставрации фасадов зданий и сооружений на территории города Челябинска (с изменениями на 31 марта 2020 года) // Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/432944306?ysclid=lpqgqqqv819644827https://docs.cntd.ru/document/432947241?ysclid=lpqleyb8ak91259551> (дата обращения: 23.09.2023).

⁷Правила благоустройства территории города Челябинска (в ред. решения Челябинской городской Думы от 19.12.2017 № 36/29, от 18.02.2020 №6/28) // Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/432944306?ysclid=lpqgqqqv819644827https://docs.cntd.ru/document/432944306?ysclid=lpqgqqqv819644827> (дата обращения: 23.09.2023).

⁸Приказ от 21.01.2022 № 10/осн «Об утверждении дизайн-кода наружного освещения в городе Челябинске» с изм. от 21.01.2022 № 10/осн // Режим доступа: <file:///C:/Users/user/Downloads/prikaz-ot-21-01-2022-N10.pdf> (дата обращения: 23.09.2023).

щения: стационарное освещение, которое обеспечивает безопасное и комфортное движение транспортных средств и пешеходов на дорогах, улицах, велосипедных дорожках и в пешеходных зонах парков и скверов в темное время суток. Термин «конфликтный участок» в п. 3.8, описывающий участок проезжей части, примыкающей к перекрестку, подтверждает необходимость особой значимости визуально-образного комфорта этой зоны⁹. Перечисленные выше нормативно-правовые документы свидетельствуют о значимости визуального комфорта вследствие тесной взаимосвязи с основами функциональной безопасности человека. Однако понятие визуально-образного комфорта восприятия в нормативно-правовой базе не артикулируется. Ведущим специалистом в области формирования искусственной световой среды, Н. И. Щепетковым, было сформулировано ее основное предназначение: создание комфортных, экологических зрительных условий восприятия для пешеходов и водителей транспорта; обеспечение архитектурно-художественной выразительности городских ансамблей и объектов для всех людей, чье внимание обращено на вечерний город; формирование благоприятной «психологической атмосферы» в вечернем городе [1].

Визуальное восприятие – процесс, в ходе которого ведущую роль в обеспечении функциональных основ безопасности субъектов (ориентации в пространстве, передвижении) играет светотехнический компонент. Его предназначение – создать визуальную полноценную среду в вечерне-ночное время, приблизить параметры искусственной световой среды к показателям естественной и создать условия их сближения. Средовое освещение связано с определенным уровнем комфорта светового климата, равномерностью, цветностью. Эти характеристики переплетаются с разным уровнем их качества. Например, территории с низким общим уровнем освещенности пространства, контрастируя с источниками чрезвычайной яркости, представляют собой дискомфортную по качеству среду. К этому можно добавить влияние на этот процесс высокой контрастности и неоднородности освещения, а также усложнение направленности световых потоков и теней¹⁰. Все это сказыва-

ется на количестве дорожно-транспортных происшествий, уличных преступлений, способствует возникновению стрессовых ситуаций, созданию светового хаоса, нестабильных условий для зрительного восприятия.

Появление новых, недостаточно исследованных, внешних средовых факторов, связанных с инновационным развитием, позволяет говорить о взаимовлиянии, интеграции светотехнического и архитектурного компонентов – о становлении единой искусственной архитектурно-световой среды.

Не претендуя на исчерпывающий перечень, остановимся на нескольких группах внешних факторов, которые в своей трансформации непосредственно влияют на процессы визуального восприятия искусственной архитектурно-световой среды.

1. Факторы градостроительные.

Гипермасштаб города предполагает новое осмысление места человека и технологию его ориентации. Кроме того, город как единый организм требует постоянного круглосуточного освещения.

2. Факторы светотехнического развития создают разнообразные, сложно контролируемые в целом световые потоки, хаотичность тенеобразования.

3. Факторы светопланировочного характера:

- значительное количество световых, освещаемых, светящихся объектов разной ведомственной принадлежности;

- отсутствие единого светового планирования для оптимального распределения акцентов и доминант в пространстве города;

- размытость масштабной иерархии.

В связи с перечисленными процессами трансформации искусственной архитектурно-световой среды, представляется целесообразным рассмотреть появление новых световых композиционных факторов, непосредственно определяющих визуально-образный «ключ» среды:

- виртуальное формообразование образов с помощью света и цвета;

- использование света в архитектурно-пространственных композициях из высокосветотражающих поверхностей;

- значительный светлотный, и яркостный контраст среды разной функциональной принадлежности;

⁹ГОСТ Р 55706-2013 «Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы». Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 08 ноября 2013 г. N 1360-ст // Tramptransport.ru. Режим доступа: <https://tramptransport.ru/uploads/files/gost-55706-2013.pdf?ysclid=lmnbqo00ae858187818> (дата обращения: 23.09.2023).

¹⁰Щепетков Н.И. Формирование световой среды вечернего города: дис. ... док. архитектуры: 18.00.01. М., 2004. 272 с.

- не связанный композиционно светодизайн архитектурных и средовых объектов разной ведомственной принадлежности;
- динамичный, движущийся свет и световые;
- зрительно-образные иллюзии.

Архитектурный облик представляет лишь предметно-материальные характеристики рассматриваемого объекта. Именно эти характеристики служат основой регламентированных нормативной базой параметров. Затем облик трансформируется в визуальном

восприятии наблюдателя, проявляясь через образ. Именно образ, образная ассоциация во многом определяет эмоциональный отклик и поведенческие паттерны человека (рис. 1).

Практика показывает, что процесс распознавания образа архитектурного объекта при естественном освещении не всегда является преемственной основой для его формирования при искусственном освещении в темное время суток, поскольку пластическое выявление архитектурной компоненты – основная задача.



Рис. 1. Пример образной ассоциации
Fig. 1. Example of a figurative association



Рис. 2. Храмовое строение г. Челябинска в динамике разного времени суток
Fig. 2. Temple structure of the city of Chelyabinsk in the dynamics of different times of the day

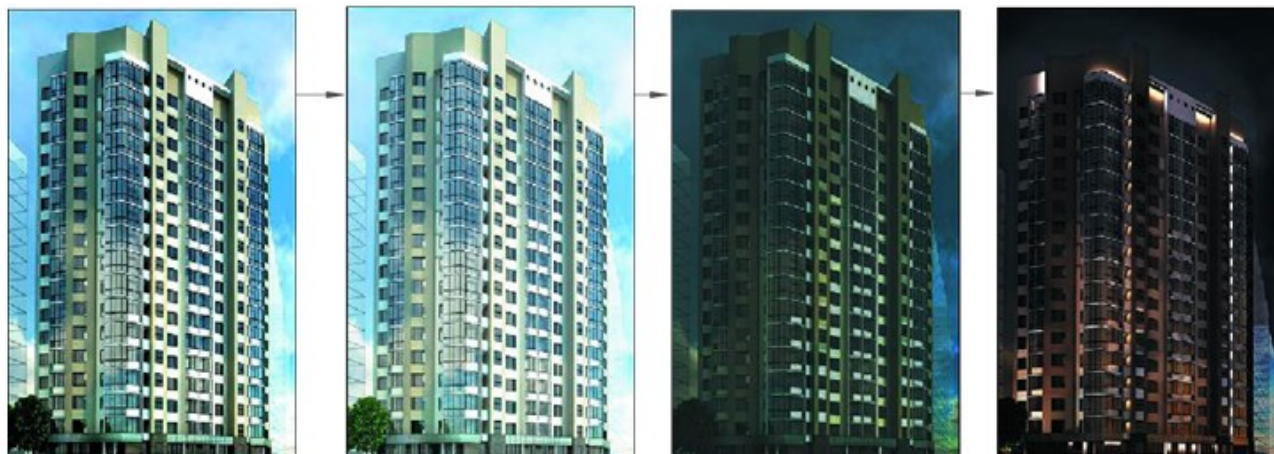


Рис. 3. Здание новостройки г. Челябинска в динамике разного времени суток
Fig. 3. Building of new buildings in Chelyabinsk city in the dynamics of different times of the day

Особенности доминирования визуального способа коммуникации в современной культуре, как образно-пространственного осмысления реальности, рассматриваются представителями многих научных школ и направлений [2–5]. Веками сформировавшиеся образы как устойчивые архетипические цепочки световых впечатлений, трансформируемых в определенные образы сложным зрительным

механизмом, нуждаются в тщательном междисциплинарном исследовании. В контексте данного исследования автор использовал свое понимание комфорта зрительно-образного восприятия как условие зрительного восприятия человеком объективной реальности искусственной архитектурно-световой среды города, создающее психофизиологическую и эстетическую удовлетворенность.

Светоцветовой образ архитектурного объекта коррелирует со степенью освещения средового пространства в разное время суток. Восприятие колористики объекта обусловлено достаточным количеством света, и, таким образом, без привлечения освещения искусственного в темное время суток мы можем видеть лишь силуэт сооружения. Образный ключ представляет варианты видения человеком пространства: утреннего, дневного, вечернего и ночного состояния среды. Воздушная перспектива в светлое время суток обуславливает уникальность образа, поскольку природные факторы среды – преимущественно прямой или рассеянный солнечный свет, прозрачность воздуха, температура, время

года, наличие осадков и т.д. могут создавать значительное разнообразие комбинаций. На схематизированных примерах объектов г. Челябинска показано изменение спектра естественного освещения, которое зависит от положения солнца и соответствует более теплым оттенкам в вечернее время (рис. 2–3).

Архитектурная композиция построек древнейших времен в светлое время суток имела ясно читаемые доминанты и акценты (выделены на схематизированном рисунке градициями цвета). В темное время суток читалась силуэтно, при отсутствии света луны и звезд происходило визуальное слияние объектов с фоном (рис. 4–5).



Рис. 4. Схематизированный образ постройки древнейших времен. Дневной вид
Fig. 4. Schematized image of a building of ancient times. Day view

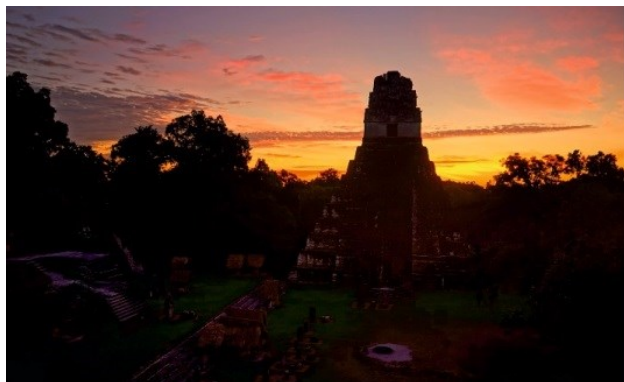


Рис. 5. Схематизированный образ постройки древнейших времен. Вечерне-ночной вид
Fig. 5. Schematized image of a building of ancient times. Evening-night view

Здание Южно-Уральского государственного университета – знаковая градостроительная доминанта столицы Южного Урала – г. Челябинска. Концепция архитектурно-художественного освещения центральной части фасада главного корпуса в вечерне-ночное время подчеркивает тектонические особенности здания. Трехчастность композиционного решения здания сохранена при раз-

работке сценария светоцветового решения при искусственном освещении.

Схематизированный дневной образ здания может быть представлен как целостность (рис. 6).

Искусственное освещение в темное время суток позволяет открыться новым граням формообразования данного социально значимого объекта общегородского масштаба.

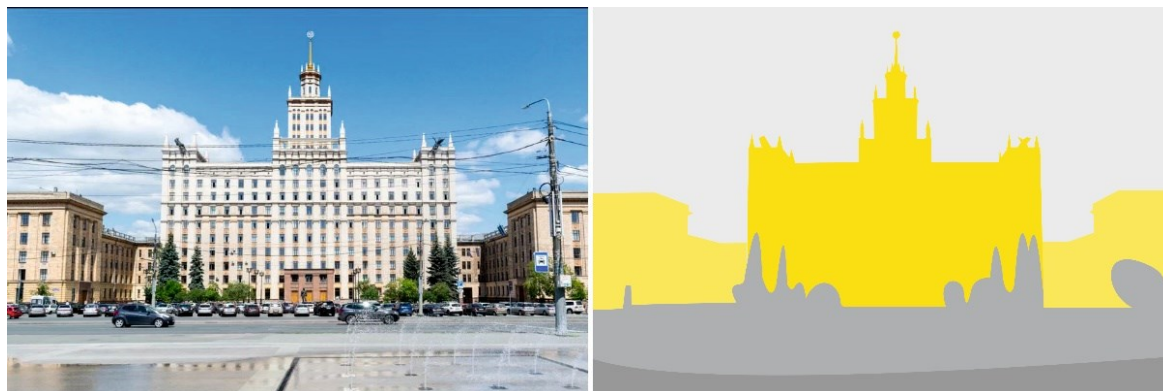


Рис. 6. Схематизированный образ современного здания. Южно-Уральский государственный университет. Дневной вид
Fig. 6. Schematized image of a modern building. South Ural State University. Day view

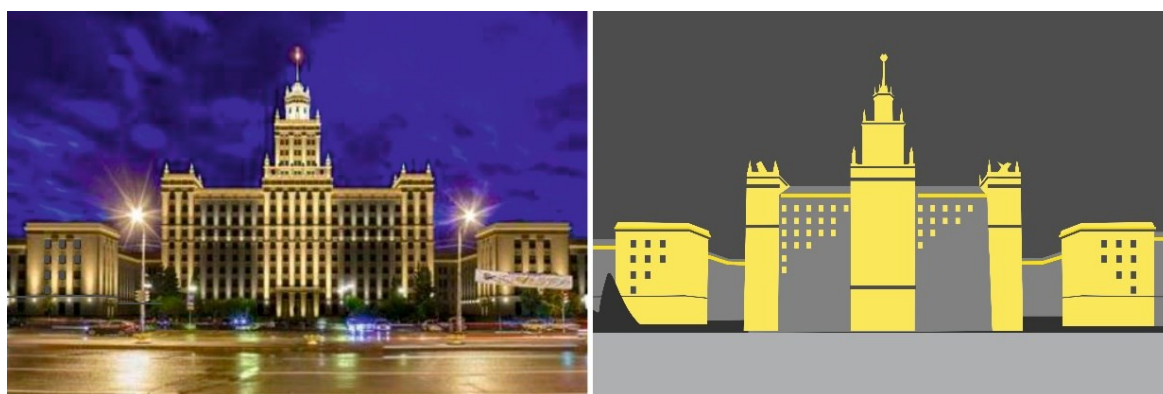


Рис. 7. Схематизированный образ современного здания. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. Вечерне-ночной вид.
Fig. 7. Schematized image of a modern building. Lomonosov Moscow State University. Evening and night view

Образно здание не теряет своей целостности, при этом четко читается выделенное светом композиционная триада при явно выраженной доминантности центральной части (рис. 7).

Выше отмечалось, что комфорт зрительно-образного восприятия искусственной архитектурно-световой среды города должен служить целям создания психофизиологической и эстетической удовлетворенности. Осуществление концепции архитектурно-художественного освещения здания Южно-уральского государственного университета позволило создать эстетически притягательный образ, что доказывают многочисленные позитивные отзывы жителей и гостей столицы Южного Урала.

Концепт освещения Челябинского государственного академического театра драмы имени Наума Орлова можно назвать в качестве еще одного примера создания визуального позитивного искусственного светового образа. Изначально, по замыслу авторов проекта, архитектурно-художественный образ

здания презентовался как гипертрофированный срез греческой колонны с каннелюрами, с вкраплениями «позолоченных» переплетов витражных проемов.

Авторы светодизайнерского решения этого знакового уникального объекта городского значения предложили свое видение образа при искусственном освещении. Использование зеленого цвета света, по мнению авторов, призвано отсылать нас к образу малахитовой шкатулки из бажовских сказов. Концептуальное решение в целом может показаться спорным, однако искусственный световый образ в целом создает позитивный эмоциональный настрой (рис. 8).

Архитектору-светодизайнеру стоит проявлять взвешенный и всесторонне продуманный подход при создании концепции архитектурно-художественного освещения, поскольку результирующий образный ключ может отсылать нас к негативным ассоциациям, как в случае с жилым зданием в центральной части г. Челябинска (рис. 9).

Неудачное цветоцветовое решение было скорректировано, для подсветки выбран нейтральный ахроматический свет. Архетипические цепочки цветоцветовых впечатлений,

трансформируемых в определенные образы сложным зрительным механизмом, нуждаются в тщательном междисциплинарном исследовании.



Рис. 8. Челябинский театр драмы имени Наума Орлова. Схематизированный образ темного времени суток

Fig. 8. Chelyabinsk Drama Theater named after Naum Orlov. Schematized image of the dark time of day

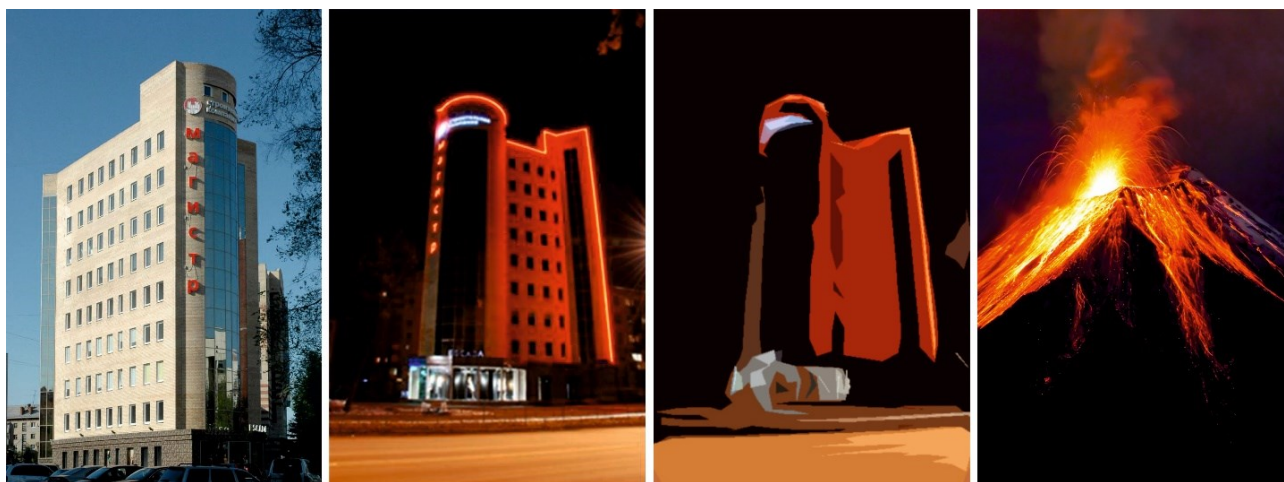


Рис. 9. Вариант светодизайнерского решения жилого дома в г. Челябинске. Схематизированный образ темного времени суток

Fig. 9. Variant of lighting design solution of a residential building in Chelyabinsk. Schematized image of the dark time of day

Дискомфорт зрительного восприятия пространственных ситуаций часто определяется местом, где присутствует в вечерне-ночное время наблюдатель. Максимальная визуальная интенсивность достигается в значимых точках городского пространства. Как правило, это узловые точки – перекрестки, площади с многофункциональными центрами. Здесь зрительный аппарат наблюдателя обрабатывает максимальное количество цветоцветовой информации: освещенную утилитарным светом дорогу, светоотражающие дорожные знаки, динамические и статические элементы световой информации, цветоцветовую среду с архитектурными объектами, оставляя в своем постоянном внимании приборы оптического регулирования – светофоры.

Не все композиционно значимые объекты, «закрепляющие» городские узловые точки, имеют архитектурно-художественное освещение, нередко обходятся сугубо утилитарным,

тем самым создавая морфологические «пятна» в общей цветоцветовой панораме, что еще больше затрудняет «раскодирование» визуальных образов. Попадая в сложные условия среды, человек может спутать реальный облик с образом – и это создает дискомфорт, который, в свою очередь, способен повлиять на безопасность функциональную (передвижения, ориентации).

Испытывая дискомфорт визуально-образного восприятия, человек попадает в ситуацию, когда создается опасность травматизации при передвижении.

Покажем примеры подобных ситуаций.

В информационном пространстве не раз поднималась проблема подмены образа светофора светоинформационными установками, приводились фотофиксации* сложности идентификации образного цветоцветового пятна в процессе пересечения водителями и пешеходами перекрестков, что создает реальную

угрозу здоровью и жизни человека – пользователя такой среды (рис. 10) [6]. Подобные ситуации, приводящие к явлению светоколеристической конкуренции, механизм их идентификации подробно описаны автором [7].

В проведенном исследовании выявлен схематизированный образ (рис. 11) одного из визуально сложных для ориентации пере-

крестков г. Челябинска (перекресток проспектов Ленина и Свердловского). Фотофиксация выявляет светоцветовые объекты (рис. 12), создающие светоколеристическую конкуренцию. Дезориентирующие элементы создают образную иллюзию и затрудняют ориентацию субъектов среды, в данном случае пешехода и водителя.



Рис. 10. Примеры сложности различения светоцветового образа на перекрестке
Fig. 10. Examples of difficulty in distinguishing a light and color image at an intersection



Рис. 11. Перекресток проспектов Ленина и Свердловского. Схематизированный образ
Fig. 11. The intersection of Lenin and Sverdlovsky avenues. Schematized image



Рис. 12. Перекресток проспектов Ленина и Свердловского.
Пример светоколеристической конкуренции
Fig. 12. The intersection of Lenin and Sverdlovsky avenues.
An example of light and color competition

На важность формирования целостности светового цвета среды города указывает ряд авторов [8–15]. Мероприятиями, регулирующими дальнейшее улучшение качества городской среды в вечерне-ночное время, создание ее образной целостности, могут послужить разработки дополнительных индексов качества¹¹, учитывающих визуально-образный комфорт, совершенствование междисциплинарной терминологии¹².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фрагментарность и неполнота понятий, связанных с определением визуального комфорта открытых пространств города в темное время суток, слабая междисциплинарная связанность терминов в современной нормативно-правовой базе обусловило проведение данного исследования. Выявлены особенности использования термина «визуальный комфорт», связь визуального комфорта и об-

разного смысла и выразительности отдельных объектов архитектурно-световой среды в вечерне-ночное время. Представлены факторы инновационного развития, влияющие на процессы зрительно-образного комфорта. Определено понятие визуально-образного комфорта восприятия искусственной архитектурно-световой среды города. Выявлены некоторые условия вечерне-ночной среды, создающие дискомфорт зрительно-образного восприятия. Показана необходимость дальнейшей планомерной работы по созданию в рамках городского развития единой политики по комфортному и безопасному использованию искусственного света и светового цвета для всех категорий городского пространства. Междисциплинарный подход может послужить более глубокому изучению проблем визуально-образного комфорта искусственной архитектурно-световой среды современных городов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Щепетков Н.И., Будак В.П. Дискуссия по проблеме светового дизайна // Светотехника. 2018. № 6. С. 74–76. EDN: YRPEAX.
2. Прилукова Е.Г. Цифровые следы: от реальности к производству фейков // Мировоззренческие основания культуры современной России: материалы XIII Международной научной конференции (г. Магнитогорск, 19–20 мая 2022 г.). Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2022. С. 119–122. EDN: KQDWZU.
3. Оводова С.Н. Вербальная и визуально-образная репрезентация культуры // Человек в мире культуры. 2015. № 1. С. 23–26. EDN: UCQSRL.
4. Визуальные образы современной культуры. Человек в современном городе: облик, образ, образование: материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Омск, 17–18 мая 2016 г.). Омск: Изд-во Омского государственного университета, 2016. 190 с. EDN: XFEYGH.
5. Lynch K. The image of the city. London: Cambridge, 1960. 194 p.
6. Журов А. Водителей и пешеходов путают кресты? ГАИ предлагает обратить внимание на рекламу аптек // Auto.onliner.by. Режим доступа: <https://auto.onliner.by/2017/12/01/reklama-13> (дата обращения: 23.09.2023).
7. Бокова О.Р. Расчет площади зоны видимости в условиях светокolorистической конкуренции на перекрестках // Вестник ВИЭСХ. 2018. Т. 4 (33). С. 120–125. EDN: YTHPGP.
8. Лексус Е.Ю., Быстрынцева Н.В. Световой дизайн: свет как материал, технология, форма // Материал-технология-форма как универсальная триада в дизайне, архитектуре, изобразительном и декоративном искусстве: материалы Международной научной конференции (г. Москва, 18 мая 2018 г.). М.: Московская государственная художественно-промышленная академия им. С. Г. Строганова, 2018. С. 447–451. EDN: VLZZJS.
9. Дуцев М.В. Пластическая целостность в современной архитектуре // Художественная культура. 2018. № 4 (26). С. 32–81. EDN: YSREEP.
10. Arnheim R. Art and Visual Perception. Berkeley: University of California Press, 1974. 508 p.

¹¹Об утверждении методики формирования индекса качества городской среды (с изменениями на 30 декабря 2020 года): распоряжение от 23 марта 2019 года № 510-р // Гарант. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72104984/> (дата обращения: 23.09.2023).

¹²ILV: International Lighting Vocabulary / International Commission on Illumination. 2nd Ed. CIE S 017/E: 2020. 248 p. <https://doi.org/10.25039/S017.2020>.

11. Jackson D. Superlux: smart light art, design and architecture for cities. London: Thames & Hudson, 2015. 272 p.
12. Narboni R. Les éclairages des villes, versunurbanisme nocturne. Collection Archigraphy. Bale: Infolio, 2012. 222 p.
13. Narboni R. Imagining the Future of the City at Night // Journal of the American institute of architects. 2017.
14. Schielke T. The language of lighting: how to read light and shadow in architecture // ArchDaily. Режим доступа: <https://www.archdaily.com/961546/the-language-of-lighting-how-to-read-light-and-shadow-in-architecture> (дата обращения: 23.09.2023).
15. Brandi U., Geissmar-Brandi Ch. Light for cities: lighting design for urban spaces. Handbook basel. Birkhäuser Architecture, 2007. 168 p.

REFERENCES

1. Shchepetkov N.I., Budak V.P. Discussion on the problem of lighting design. *Svetotekhnika*. 2018;6:74-76. EDN: YRPEAX.
2. Prilukova E.G. Digital traces: from reality to the production of fakes. In: *Mirovozzrencheskie osnovaniya kul'tury sovremennoi Rossii: materialy KhIII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Ideological foundations of culture in modern Russia: materials of the XIII International Scientific Conference*. 19-20 May 2022, Magnitogorsk. Magnitogorsk: Magnitogorsk state technical university named after G. I. Nosov, 2022. p. 119-122. (In Russ.). EDN: KQDWZU.
3. Ovodova S.N. Verbal and visual-image as a representation of culture. *Chelovek v mire kul'tury*. 2015;1:23-26. (In Russ.). EDN: UCQSRL.
4. *Vizual'nye obrazy sovremennoi kul'tury. Chelovek v sovremennoy gorode: oblik, obraz, obrazovanie: materialy V Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem = Visual images of modern culture. A man in a modern city: appearance, image, education: materials of the V All-Russian Scientific and practical conference with international participation*. 17-18 May 2016, Omsk. Omsk: Omsk state university; 2016. 190 p. (In Russ.). EDN: XFEYGH.
5. Lynch K. The image of the city. London: Cambridge; 1960. 194 p.
6. Zhurov A. Are crosses confusing drivers and pedestrians? The traffic police suggests paying attention to the advertising of pharmacies. *Auto.onliner.by*. Available from: <https://auto.onliner.by/2017/12/01/reklama-13> [Accessed 23th September 2023]. (In Russ.).
7. Bokova O.R. Calculation of a visibility area under light and colour competition at crossroad. *Vestnik VIESH = VIESH bulletin*. 2018;4:120-125. (In Russ.). EDN: YTHPGP.
8. Lekus E.Yu., Bystriantseva N.V. Light design: light as a material, technology, form. In: *Material-tehnologiya-forma kak universal'naya triada v dizaine, arkhitekture, izobrazitel'nom i dekora-tivnom iskusstve: materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Material-technology-form as a universal triad in design, architecture, fine and decorative arts: proceedings of the International scientific conference*. 18 May 2018, Moscow. Moscow: Moscow state academy of arts and industry S. G. Stroganov; 2018. p. 447-451. (In Russ.). EDN: VLZZJS.
9. Dutsev M.V. Plasticheskaya tselostnost' v sovremennoi arkhitekture. *Khudozhestvennaya kul'tura = Art & culture studies*. 2018;4:32-81. (In Russ.). EDN: YSREEP.
10. Arnheim R. Art and Visial Perception. Berkeley: University of California Press; 1974. 508 p.
11. Jackson D. Superlux: smart light art, design and architecture for cities. London: Thames & Hudson; 2015. 272 p.
12. Narboni R. Les éclairages des villes, versunurbanisme nocturne. Collection Archigraphy. Bale: Infolio; 2012. 222 p.
13. Narboni R. Imagining the Future of the City at Night. *Architectthe: journal of the American institute of architects*. 2017.
14. Schielke T. The language of lighting: how to read light and shadow in architecture. *ArchDaily*. Available from: <https://www.archdaily.com/961546/the-language-of-lighting-how-to-read-light-and-shadow-in-architecture> [Accessed 23th September 2023].
15. Brandi U., Geissmar-Brandi Ch. Light for cities: lighting design for urban spaces. Handbook basel. Birkhäuser Architecture; 2007. 168 p.

Информация об авторе

Бокова Ольга Романовна,
доцент кафедры архитектуры,
Южно-Уральский государственный
университет,
454080, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76,
Россия,
e-mail: bokovaor@susu.ru
<http://orcid.org/0000-0003-3467-9464>
Author ID 503394

Information about the author

Olga R. Bokova
Associate Professor of the Department
of Architecture,
South Ural State University,
76 Lenina St., Chelyabinsk 454080,
Russia
e-mail bokovaor@susu.ru;
<http://orcid.org/0000-0003-3467-9464>
Author ID 503394

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

Contribution of the author

Author has conducted the study, prepared the manuscript for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 04.09.2023.
Одобрена после рецензирования 22.09.2023.
Принята к публикации 25.09.2023.

Information about the article

The article was submitted 04.09.2023.
Approved after reviewing 22.09.2023.
Accepted for publication 25.09.2023.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей, читателей и сообщаем требования к статьям, принимаемым к публикации.

Журнал «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» публикует научные статьи и обзоры российских и зарубежных ученых, в том числе докторантов и аспирантов, содержащие новые результаты научных исследований.

Тематический охват соответствует утвержденной номенклатуре научных специальностей:

- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);
- 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки);
- 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки);
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (технические науки);
- 2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки);
- 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки);
- 2.1.9. Строительная механика (технические науки);
- 2.1.10. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки);
- 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура);
- 2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура)
- 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)
- 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)
- 5.2.6. Менеджмент (экономические науки)

Представляемая в журнал работа должна быть законченным научным исследованием и содержать новые научные результаты, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

Статьи должны быть выполнены на высоком научном уровне и содержать результаты исследований по соответствующей проблематике. Рукопись, присылаемая в редакцию, должна соответствовать тематике журнала и требованиям редакции к оформлению рукописей.

1. Материалы, представляемые авторами в редакцию:

- Статья в печатном виде и идентичном варианте в электронной форме (с расширением *.docx и *.pdf);
- Иллюстрации к статье (рисунки, графики и т.д.) в электронном виде (в формате jpg);
- Авторское заявление;
- Сопроводительное письмо;
- Договор;
- Экспертное заключение.

2. Рукопись должна быть построена следующим образом:

- **Шифр УДК;**
- **Название статьи;**
- **Информация об авторах:** фамилия, имя, отчество; название учреждения;
- **Реферат (аннотация)** – количество слов – 190;
- **Ключевые слова** – (4–6);
- **Библиографические ссылки** должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ Р 7.05 2008.
- **Критерии авторства, конфликт интересов;**
- **Сведения об авторах:** фамилия, имя, отчество (полностью); ученая степень, звание и должность; название учреждения, его адрес с индексом; e-mail; ORCID, ID.
- **Название рубрики**, в которой должна быть размещена статья.

3. Рекомендации по набору и оформлению текста

Параметры страницы и абзаца: отступы сверху и снизу – 2 см; слева и справа – 2 см; табуляция – 0,6 см; ориентация – книжная;

Шрифт – *Arial*, размер – 10,5, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический.

При вставке формул использовать *Microsoft Equation 3* при установках: элементы формулы выполняются – курсивом; для греческих букв и символов назначать шрифт *Symbol*, для остальных элементов – *Arial*.

Размер символов: обычный – 12 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 18 пт, мелкий символ – 12 пт. Все экспликации элементов формул необходимо также выполнять в виде формул.

Рисунки, вставленные в текст, должны быть выполнены с разрешением 300 dpi, *B&W* – для черно-белых иллюстраций, *Grayscale* – для полутонов, максимальный размер рисунка с надписью: ширина 170 мм, высота 245 мм. Рисунки должны быть представлены в виде файла с расширением *.BMP, *.TIFF, *.JPG, должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. Схемы, графики выполняются во встроенной программе *MS Word* или в *MS Excel*, с приложением файлов.

Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу *Microsoft Office Excel*. Каждый рисунок вставляется в текст как объект *Microsoft Office Excel*.

Внимание! Публикация статьи является бесплатной.

Для авторов/ For authors

Статьи направляются в редакцию журнала по электронной почте izv_isn@istu.edu.
Рукописи статей и оригиналы всех необходимых документов предоставляются по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, редакционный отдел, ауд. Д-215, О.В. Никишиной

Телефон: (3952) 40-56-11, с.т.: 8 964 656 46 70 – Никишина Ольга Валерьевна, ответственный за выпуск,

(3952) 40-54-92 – Акулова Ирина Николаевна, редактор.

**ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ**

Научный журнал

12+

Том 13 № 4 (47)

Главный редактор В.В. Пешков
Ответственный за выпуск О.В. Никишина
Дизайн и макет издания Е.В. Хохрина
Перевод Томаса Бивитта, Н.Г. Поповой, О.В. Никишиной
Верстка О.В. Никишиной
Редактор И.Н. Акулова

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство ПИ № ФС77-62787 от 18 августа 2015 г.

Выход в свет 25.12.2023. Формат 60 x 90 / 8 (А4).
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 20,15.
Тираж 500 экз. Зак. 140. Поз. плана бн.

Издание распространяется бесплатно

ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
Адрес типографии: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83А



ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
Министерства образования и науки Российской Федерации



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index



CYBERLENINKA

OPEN  ACCESS



INDEX  COPERNICUS
INTERNATIONAL

Google Scholar



АНРИ

Ассоциация научных
редакторов и издателей

