

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

12+



IZVESTIYA VUZOV
Investitsii
Stroitelstvo
Nedvizhimost

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ
СТРОИТЕЛЬСТВО
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 14 № 3
2024

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 14 № 3
Vol.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета

PUBLISHERS
of Irkutsk National Research Technical University
2024



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; Строительство; Архитектура. Градостроительство. 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 Минобрнауки 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; Construction; Architecture. Urban construction. 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 (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 региональной экономики и многосторонних взаимодействий Института международных исследований 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, Российская Федерация)

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, Республика Бурятия, 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, Republic of Buryatia, 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 14 № 3 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Казимиров И.А., Матвеева М.В., Полякова Н.В. Определение выбросов при построении многомерной регрессионной модели цен на региональном рынке жилой недвижимости	462
Матвеева М.В., Пешков В.В., Козьма М.В. Оценка рисков и возможностей, связанных с ESG-факторами, в инвестиционно-строительных проектах	474

СТРОИТЕЛЬСТВО

Йоше А.К., Сутырина Е.Н., Чупин В.Р., Шелехов И.Ю. Оценка расхода притока воды в озеро Байкал на участке выше по течению с использованием различных спутниковых наборов данных об осадках и стоке из бассейнов рек Ангара и Кичера в Восточной Сибири, Россия (англ.)	487
Алали Х. Оценка точности глобальных цифровых моделей рельефа для гидрологического анализа: пример Сирии и России	501
Бальчугов А.В., Баранова А.А. Экспериментальное исследование процесса седиментации твердых частиц разного происхождения	513
Данченко Т.В., Ластовка А.В. Особенности строительства в условиях низких температур	524
Комаров А.К., Кажарский В.В., Павлов А.М. Автоматизированная беспроводная система мониторинга технического состояния дымовых труб	531
Кость Ю.С., Дмитриева Т.Л. К вопросу надежности стального рамного узла в сейсмоопасных зонах с пониженными температурами	540
Мартьянов В.И., Волков А.С. Методы эффективной генерации машин Тьюринга, решающих NP-трудные задачи	556
Пугин К.Г. Разработка технологической схемы производства асфальтобетонной смеси с использованием отходов полиэтилена, загрязненного нефтепродуктами	570
Тлявлиная Г.В., Тлявлин Р.М., Ашпиз Е.С. Влияние литодинамики береговой зоны на безопасность эксплуатации железнодорожного полотна на участке Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги	580
Уткин К.Л., Уткина О.Н. Вычисление радиуса влияния с заданной погрешностью при неустановившемся режиме фильтрации	592
Шелехов И.Ю., Лавыгина О.Л., Шелехова А.И., Кульков В.Н., Кармалов А.И. Мероприятия по увеличению степени надежности и эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения	608

АРХИТЕКТУРА. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ДИЗАЙН

Гришина М.П., Михайлова А.Е. Методика выявления эталонных архитектурно-пространственных решений вузов с использованием графической матрицы	617
Дружинина И.Е., Селиванов Р.А., Шагинян Г.Г. Оценка влияния недостроенной части архитектурно-монументального комплекса «Каскад» как коммуникативного ядра между районами Кентрон и Канакер-Зейтун в городе Ереване и предложение по решению градостроительной проблемы	629
Ромыш А.С., Дагданова Ц.Б, Хадеев М.Б. Формирование транспортно-пересадочного узла с аэровокзалом международных и общественных авиалиний в неблагоприятных условиях города Иркутска	646
Селиванов Р.А. Реконструкция среды исторических городов. Методы включения новых объектов в исторически сложившуюся городскую ткань	660

CONTENTS

Proceedings of Universities Investment. Construction. Real estate

Том 14 № 3 2024

CONTENTS

ECONOMICS AND MANAGEMENT

Kazimirov I.A., Matveeva M.V., Polyakova N.V. Determination of outliers when building a multivariate regression model of prices in residential real estate market of the region	462
Matveeva M.V., Peshkov V.V., Kozma M.V. Assessing risks and opportunities associated with ESG factors in investment projects	474

CONSTRUCTION

Yoshe A.K., Sutyrina E.N., Chupin V.R., Shelekhov I.Yu. Estimation of inflow discharge to Lake Baikal at upstream section using different satellite-based precipitation and runoff datasets from Upper Angara and Kichera River basins in East Siberia, Russia	487
Alali H. Assessing the accuracy of global digital elevation models for hydrological analysis: the cases of Syria and Russia	501
Balchugov A.V., Baranova A.A. Experimental study into the sedimentation process of solids of different origin	513
Danchenko T.V., Lastovka A.V. Features of construction at low temperatures	524
Komarov A.K., Kazharsky V.V., Pavlov A.M. Automated wireless system for monitoring the technical condition of chimneys	531
Kost Yu.S., Dmitrieva T.L. On the reliability of steel frame joints in earthquake zones exposed to low temperatures	540
Martyanov V.I., Volkov A.S. Methods for efficient generation of Turing machines to solve NP-hard problems	556
Pugin K.G. Development of a flow diagram for the production of asphalt concrete mixture using polyethylene waste, contaminated with oil products	570
Tlyavlina G.V., Tlyavlin R.M., Ashpiz E.S. Influence of lithodynamics of coastal area on the safety of railway operation on the Tuapse-Adler section of the North Caucasus Railway	580
Utkin K.L., Utkina O.N. Calculation of the radius of influence with a specified error at transient filtration mode	592
Shelekhov I.Yu., Lavygina O.L., Shelekhova A.I., Kulkov V.N., Karmalov A.I. Measures to increase the reliability and efficiency of water supply and wastewater disposal systems	608

ARCHITECTURE. URBAN CONSTRUCTION. DESIGN

Grishina M.P., Mikhailova A.E. Methodology for identifying reference architectural and spatial solutions of universities using a graphic matrix	617
Druzhinina I.E., Selivanov R.A., Shaginyan G.G. Assessing the impact of the unfinished part of the Cascade architectural and monumental complex as a communicative core between Kentron and Kanaker-Zeytun districts in Yerevan and a proposal for solving the urban planning problem	629
Romysh A.S., Dagdanova T.B., Khadeev M.B. Formation of a transport hub with an air terminal of international and public airlines under adverse conditions of Irkutsk	646
Selivanov R.A. Reconstructing the environment of historic cities. Methods of incorporating new objects into the historic urban fabric	660



Определение выбросов при построении многомерной регрессионной модели цен на региональном рынке жилой недвижимости

И.А. Казимиров^{1✉}, М.В. Матвеева², Н.В. Полякова³

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

³Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Целью проведенного исследования являлся выбор оптимального метода выявления выбросов в исходных данных при построении многомерной регрессионной модели цен на региональном рынке жилой недвижимости. Исследование выполнено на информационной базе предложений по продаже квартир в многоквартирных панельных жилых домах, расположенных в г. Иркутске. Для достижения поставленной цели было выполнено построение базовой мультипликативной многомерной регрессионной модели, описывающей зависимость стоимостных показателей от ценообразующих факторов объектов недвижимости. Построение вариативных регрессионных моделей выполнено путем итерационного удаления из базовой модели выбросов, выявленных различными методами: определение стандартного отклонения (z-оценка); определение расстояния Махаланобиса; разработанный в исследовании метод приведения цен объектов к характеристикам эталонного объекта. Выбор оптимального метода выявления выбросов в исходных данных выполнен путем сравнения характеристик итоговых вариативных многомерных регрессионных моделей, полученных после удаления из них выбросов. На основании анализа полученных результатов оптимальным методом выявления выбросов при построении многомерной регрессионной модели цен на региональном рынке жилой недвижимости признан метод приведения цен объектов к характеристикам эталонного объекта. В результате использования указанного метода существенно снижаются ошибки аппроксимации базовой многомерной регрессионной модели рынка, что повышает адекватность результатов проводимой на ее основе оценки недвижимости.

Ключевые слова: корреляционно-регрессионный анализ, многомерная регрессионная модель, ценообразующие факторы, выброс, z-оценка, расстояние Махаланобиса

Для цитирования: Казимиров И.А., Матвеева М.В., Полякова Н.В. Определение выбросов при построении многомерной регрессионной модели цен на региональном рынке жилой недвижимости // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 462–473. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-462-473>. EDN: CYETFG.

Original article

Determination of outliers when building a multivariate regression model of prices in residential real estate market of the region

Ilya A. Kazimirov^{1✉}, Maria V. Matveeva², Nina V. Polyakova³

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

³Baikal State University, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper is aimed at selecting the optimal method for identifying outliers in the initial data when building a multivariate regression model of prices in the regional residential real estate market. The study was based on offers for sale of apartments in prefab flat blocks located in Irkutsk. In this regard, a basic multiplicative multivariate regression model was built, describing the dependence of cost indicators on the pricing factors of real estate. The identified outliers were iteratively removed from the basic model. The methods for detecting outliers included calculation of standard deviation (z-score), calculation of the Mahalanobis distance, as well as a method developed in the study for bringing the prices of objects to

the characteristics of the reference object. The optimal method for detecting outliers in the initial data was selected by comparing the characteristics of the final variable-based multivariate regression models obtained after removing outliers from them. The analysis of the results proved the method of bringing the prices of objects to the characteristics of the reference object to be the optimal method of identifying outliers when building a multivariate regression model of prices in the regional residential real estate market. This method significantly reduces the approximation errors of the basic multivariate regression model of the market, thereby increasing the adequacy of the results of the real estate valuation conducted on its basis.

Keywords: correlation and regression analysis, multidimensional regression model, price forming factors, outlier, z-score, Mahalanobis distance

For citation: Kazimirov I.A., Matveeva M.V., Polyakova N.V. Determination of outliers when building a multivariate regression model of prices in residential real estate market of the region. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3): 462–473. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-462-473>. EDN: CYETFG.

ВВЕДЕНИЕ

Качество экономико-математических моделей, в частности регрессионных, описывающих зависимость стоимостных показателей объектов недвижимости от ценообразующих факторов, в большой степени зависит от качества используемых при их построении исходных данных. Наличие в исходных данных выбросов – объектов, имеющих значения цен и/или ценообразующих факторов, существенно отличающихся от остальных элементов выборки, – негативно влияет на результаты анализа, поэтому их выявление и устранение является важной частью построения регрессионной модели. Особенности региональных рынков недвижимости являются относительно небольшой объем предложений, высокая волатильность ценовых показателей и существенные отличия объектов по ценообразующим факторам на фоне низкого качества (наличия искажений, неполноты) публикуемой информации. Указанные факторы являются причиной неизбежного наличия выбросов в исследуемых выборках данных.

Анализ публикаций, связанных с разработкой и исследованием регрессионных моделей рынка недвижимости [1–12], показал, что в большинстве случаев проблема выявления выбросов в исходных данных либо не рассматривается вовсе, либо затрагивается в общих чертах, без полноценного описания используемых алгоритмов.

В целом, проблеме выявления выбросов посвящено достаточно много публикаций. Однако, вид анализируемых наборов данных чаще всего ограничен одномерными рядами.

Основная часть рассматриваемых методов поиска выбросов (в том числе используемых применительно к рынку и оценке недвижимости в работах [13]) ограничена объемом выборки до 500 элементов, что не позволяет их использовать при больших объемах данных¹. Вышесказанное обосновывает целесообразность проведения дополнительных исследований в области определения выбросов в исходных данных при построении многомерных регрессионных моделей регионального рынка недвижимости.

Объектом исследования в данной работе является вторичный рынок жилой недвижимости г. Иркутска. Информационная база исследования: данные о предложениях на рынке. Выбор цен предложений обусловлен доступностью исходных данных².

Предметом исследования являются выбросы в исходных данных, используемых при построении многомерной регрессионной модели цен на недвижимость.

Основная цель проведенного исследования заключалась в выборе оптимального метода поиска выбросов для достижения адекватных результатов оценки.

Исходя из поставленной цели, задачами проведенного исследования являлись:

- построение базовой многомерной регрессионной модели, описывающей зависимость стоимостных показателей от ценообразующих факторов объектов недвижимости;

- построение вариативных регрессионных моделей путем итерационного удаления из базовой модели выбросов, выявленных различными методами;

¹Грибовский С.В., Сивец С.А., Левыкина И.А. Математические методы оценки стоимости недвижимого имущества. М.: Маросейка, Книжная линия, 2014. 352 с.

²Недвижимость Иркутска // Poni38.ru. Режим доступа: <http://poni38.ru/> (дата обращения: 04.01.2023).

– выбор оптимального метода выявления выбросов в исходных данных путем сравнения характеристик итоговых вариативных многомерных регрессионных моделей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Построение базовой многомерной регрессионной модели, описывающей зависимость стоимостных показателей от ценообразующих факторов объектов недвижимости

Выполнено в порядке, изложенном в [14, 15].

Использовалась мультипликативная многомерная регрессионная модель вида:

$$y = \beta_0 \times x_1^{\beta_1} \times x_2^{\beta_2} \times \dots \times x_n^{\beta_n} \times \varepsilon \quad (1)$$

где

y – модельное значение результирующей переменной;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ – факторные переменные;

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ – коэффициенты уравнения регрессионной модели;

n – число факторных переменных, используемых в модели;

ε – ошибка аппроксимации.

В качестве результирующей переменной (y) в модели использовалась начальная удельная цена предложения общей площади квартир (руб./м²) на дату публикации предложения о продаже объекта.

В качестве ценообразующих факторов (факторных переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$) в модели использовались:

1) Характеристики квартиры:

– общая площадь помещений (без учета лоджий и балконов, округленно до 10 м², округление площади помещений позволяет рассматривать указанную факторную переменную как дискретную, что дает возможность выполнить для нее подбор аппроксимирующей функции методом оптимизации модели [17], не привязываясь к определенным, субъективно заданным зависимостям);

– этаж;

– внутренняя отделка и ее состояние;

– наличие балкона и его остекление;

– наличие мебели.

2) Характеристики здания и местоположения:

– комплексный ценообразующий фактор с условным названием «Адрес (дом)», агрегирующий влияние на стоимость объекта характеристик, общих для всех квартир в здании.

3) Характеристики рынка:

– индекс цен на дату публикации предложения о продаже объекта.

При формировании выборки объектов, в целях повышения ее однородности, учитывались следующие ограничения:

1) Исследование выполнено на информационной базе предложений по продаже квартир в многоквартирных панельных жилых домах до 2004 г. постройки.

2) Из выборки удалены объекты:

– площадью менее 15 м² и/или без санузла, указанные объекты по своим характеристикам ближе к сегменту рынка по продаже комнат;

– многоуровневые квартиры;

– квартиры с отдельным входом и квартиры, явно позиционируемые продавцом как подходящие под коммерческое использование;

– квартиры с черновой и получистовой отделкой;

– квартиры с отделкой в «хорошем/неудовлетворительном состоянии» (объекты, включающие помещения, существенно отличающиеся по состоянию отделки).

В выборку включены предложения с 2018 по 2022 гг. Рассматриваемый период обусловлен имеющейся информацией о предложениях, а также гипотезой об изменении степени влияния ценообразующих факторов на стоимость недвижимости с течением времени.

Ограничение длительности исследуемого периода (пять лет) принято по результатам сравнительного анализа моделей, построенных по предложениям с периодами различной продолжительности.

Построение вариативных регрессионных моделей

Выполнено путем удаления из базовой модели выбросов, выявленных различными методами.

Алгоритм поиска и удаления выбросов в каждой вариативной модели – итерационный.

На первой итерации выполнен поиск выбросов в исходных данных базовой регрессионной модели. Последующие итерации включали:

– удаление из выборки выявленных на предыдущей итерации выбросов;

– расчет регрессионной модели;

– поиск выбросов в данных полученной регрессионной модели.

Итоговые вариативные регрессионные модели фиксировались при условии отсутствия в итерации выявленных выбросов.

Определение выбросов в исходных данных при построении вариативных регрессионных моделей производилось:

1) Методом определения стандартного отклонения (z-оценка).

2) Методом определения расстояния Махаланобиса.

3) Методом приведения цен объектов к характеристикам эталонного объекта.

Метод определения стандартного отклонения (z-оценки)

Является распространенным методом выявления выбросов в одномерных рядах данных, в т. ч. в задачах построения эконометрических моделей рынка недвижимости [16].

Основан на определении для каждого элемента одномерного набора данных стандартизированной оценки (z-оценки), показывающей, сколько стандартных отклонений составляет его отличие от среднего значения по выборке.

Метод определяет выброс как элемент со значением z-оценки за пределами (выше или ниже) заданного числа стандартных отклонений от среднего значения по выборке. Чаще всего – 3.

Ограничение метода: выборка должна иметь нормальное распределение.

Поиск выбросов выполнен в свободно распространяемой программной среде вычислений «Loginom Community» (версия программы 7.0.2)³. Порядок выявления выбросов изложен в материалах по теме^{4,5}.

Выбросы выявлялись как по результирующей переменной (y), так и по всем факторным переменным $x_1, x_2, \dots, x_n$. В качестве проверяемых данных для факторных переменных использовались итоговые оптимизированные коды их градаций, полученные с помощью инструмента Microsoft Excel «Поиск решения» [17]. Выбросы определялись при значении z-оценки для любой переменной объекта за пределами трех стандартных отклонений от среднего значения по выборке. Учитывая то, что распределение оптимизированных кодов части ценообразующих факторов не является нормальным, использование данного метода поиска выбросов в настоящем исследовании носит факультативный характер и выполнено в целях проверки возможности его практического использования для решения поставленной задачи.

Метод определения расстояния Махаланобиса

Является одним из наиболее распространенных в зарубежной практике [18–27] и единственным рекомендуемым нормативными документами Российской Федерации методом выявления выбросов в многомерных рядах данных⁶.

Основан на преобразовании многомерных данных к одномерной статистике, в качестве которой используется расстояние Махаланобиса, являющееся мерой расстояния от многомерного наблюдения до выборочного среднего набора данных, нормированного при помощи выборочной ковариационной матрицы.

Метод определяет выбросом наблюдение с расстоянием Махаланобиса, чей уровень значимости (p-значение) превышает заданное критическое значение.

Поиск выбросов выполнен в свободно распространяемой программной среде вычислений «R» (версия программы 4.3.0)⁷.

Порядок выявления выбросов изложен в материалах по теме^{8,9}. При определении выбросов в исследуемый многомерный набор данных включались результирующая переменная (y) и все факторные переменные $x_1, x_2, \dots, x_n$. В качестве проверяемых данных для факторных переменных использовались итоговые оптимизированные коды их градаций, полученные с помощью инструмента Microsoft Excel «Поиск решения» [17]. Выбросы определялись при уровне значимости (p-значении) расстояния Махаланобиса у объекта меньше 0,001.

Метод приведения цен объектов к характеристикам эталонного объекта

Отсутствие существенных улучшений качества базовой регрессионной модели в результате удаления из нее выбросов, определенных при помощи вышеуказанных методов (таблица), привело к необходимости разработки собственного метода их выявления. В основе разработанного метода лежит допущение о том, что при корректно подобранных значениях коэффициентов регрессионной модели и оптимизированных кодов градаций ценообразую-

³Loginom. Режим доступа: <https://loginom.ru/download> (дата обращения: 23.11.2023).

⁴Loginom. Режим доступа: <https://loginom.ru/download> (дата обращения: 23.11.2023).

⁵Обнаружение и коррекция одномерных выбросов в данных // Loginom. Режим доступа: <https://loginom.ru/blog/outliers> (дата обращения: 23.11.2023).

⁶ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017. Статистические методы. Статистическое представление данных. Ч. 4. Выявление и обработка выбросов.

⁷The R Project for Statistical Computing. Режим доступа: <https://www.r-project.org/> (дата обращения: 23.11.2023).

⁸Как рассчитать расстояние Махаланобиса в SPSS // Кодкамп. Режим доступа: <https://www.codecamp.ru/blog/mahalanobis-distance-spss/> (дата обращения: 23.11.2023).

⁹Как рассчитать расстояние Махаланобиса в R // Кодкамп. Режим доступа: <https://www.codecamp.ru/blog/mahalanobis-distance-r/> (дата обращения: 23.11.2023).

щих факторов цены всех объектов, приведенные к некоторым заданным эталонным характеристикам (скорректированные с учетом отличий по ценообразующим факторам от эталонного объекта), должны быть равны между собой, либо иметь случайное отклонение от средней величины по выборке. Исходя из данного допущения, цены всех объектов, имеющих одинаковое значение (градацию) одного из ценообразующих факторов, и скорректированные с учетом отличий от эталонного объекта по остальным ценообразующим факторам, для однородной выборки также должны быть равны между собой, либо иметь случайное отклонение от средней величины. Все объекты, скорректированные указанным образом цены которых существенно отличаются от средней величины по выборке, являются выбросами.

Алгоритм предлагаемого метода предусматривает следующие шаги:

1) Формирование из «базовой» (полной) выборки объектов т. н. «микровыборок», включающих объекты, имеющие одинаковое значение (градацию) одного из ценообразующих факторов. «Микровыборки» формируются для каждой градации каждого используемого в модели ценообразующего фактора.

2) Корректировка цен объектов в целях их приведения к заданным характеристикам эталонного объекта. Проводится по всем ценообразующим факторам, кроме фактора, по которому сформирована «микровыборка». Характеристики эталонного объекта, как правило, определяются по критерию максимального присутствия объектов с данными параметрами в «базовой» выборке. Поправочные коэффициенты рассчитываются по коэффициентам регрессионной модели и оптимизированным кодам градаций ценообразующих факторов.

3) Проверка скорректированных цен объектов в каждой «микровыборке» на наличие выбросов. Объекты, скорректированные цены которых определены внутри «микровыборки» как выбросы, считаются таковыми и для «базовой» выборки объектов.

Приведение цен объектов к характеристикам эталонного объекта позволяет рассматривать «микровыборки» как одномерные ряды данных с одним проверяемым на наличие выбросов фактором – скорректированной ценой объекта.

Поскольку количество уникальных градаций ценообразующих факторов (и, соответ-

ственно, формируемых «микровыборок») достаточно большое, размер каждой «микровыборки» в большинстве случаев существенно меньше «базовой» выборки, что позволяет использовать для поиска выбросов стандартные, хорошо проработанные критерии их выявления в однородных рядах данных, в т. ч. малого объема.

В проведенном исследовании поиск выбросов в «микровыборках» выполнен по критериям:

– Смирнова-Граббса (определен по [13] и специализированной литературе)¹⁰;

– Граббса (определен по [28]);

– Шовене (определен по [28]).

Проверка гипотезы о нормальном распределении (для «микровыборок» размером более 25 элементов) выполнена:

– по коэффициенту вариации (определен по [13] и специализированной литературе);

– по критерию среднего абсолютного отклонения (определен по [13] и специализированной литературе);

– по размаху варьирования (определен по [13] и специализированной литературе);

– с помощью показателей асимметрии и эксцесса (определены по [13] и специализированной литературе);

– по критерию Колмогорова-Смирнова (определен по [28]);

– по критерию Смирнова-Крамера фон Мизеса (πw^2) (определен по [28]).

Поиск выбросов и проверка гипотезы о нормальном распределении выполнены при уровне значимости $\alpha=0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор оптимального метода выявления выбросов в исходных данных выполнен путем сравнения характеристик итоговых вариативных многомерных регрессионных моделей, полученных после удаления из них выбросов, выявленных различными методами (таблица).

Сравнение качества регрессионных моделей выполнено по следующим показателям:

1. Скорректированный на число степеней свободы коэффициент детерминации $R^2_{\text{скор}}$ (определен по специализированной литературе).

2. Средняя и максимальная (по модулю) ошибка аппроксимации (определены по специализированной литературе).

3. Количество выявленных и удаленных выбросов (в % к объему выборки базовой модели).

¹⁰Грибовский С.В., Сивец С.А., Левыкина И.А. Математические методы оценки стоимости недвижимого имущества. М.: Маросейка, Книжная линия, 2014. 352 с.

Статистические характеристики регрессионных моделей
Statistical characteristics of the regression models

Характеристика	Значение			
	Базовая модель	Модель без выбросов, выявленных нижеуказанным методом		
		Метод определения стандартного отклонения (z-оценка)	Метод определения расстояния Махаланобиса	Метод приведения цен объектов к характеристикам эталонного объекта
Объем выборки (количество предложений по продаже) после удаления выявленных выбросов	2 253	2 192	2 187	1 732
Количество выявленных и удаленных выбросов (в % к объему выборки базовой модели)	–	2,7 %	2,9 %	23,1 %
Нормализованный коэффициент детерминации ($R^2_{\text{скор}}$)	0,897	0,893	0,901	0,946
Средняя ошибка аппроксимации, %	-0,27 %	-0,27 %	-0,24 %	-0,13 %
Максимальная (по модулю) ошибка аппроксимации, %	31,30 %	30,90 %	26,63 %	12,82 %

Указанный критерий носит индикативный характер, поскольку количество обнаруженных выбросов само по себе не свидетельствует о качестве метода их выявления.

Распределение остатков регрессионных моделей приведено на рис. 1–4.

На основании анализа полученных результатов наилучшими характеристиками обладает регрессионная модель, полученная после удаления выбросов, выявленных методом приведения цен объектов к характеристикам эталонного объекта.

Остатки модели

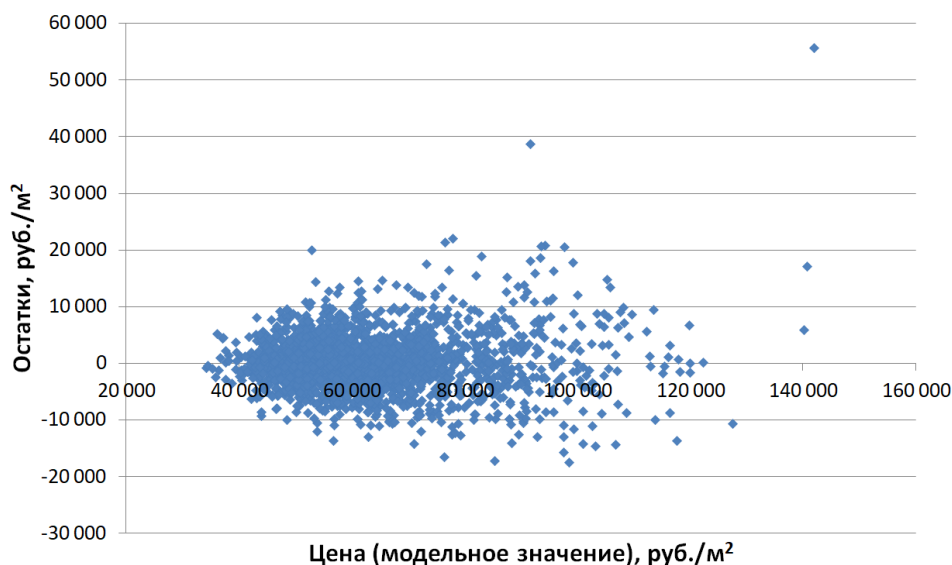


Рис. 1. Распределение остатков базовой регрессионной модели
Fig. 1. Distribution of residuals of the basic regression model

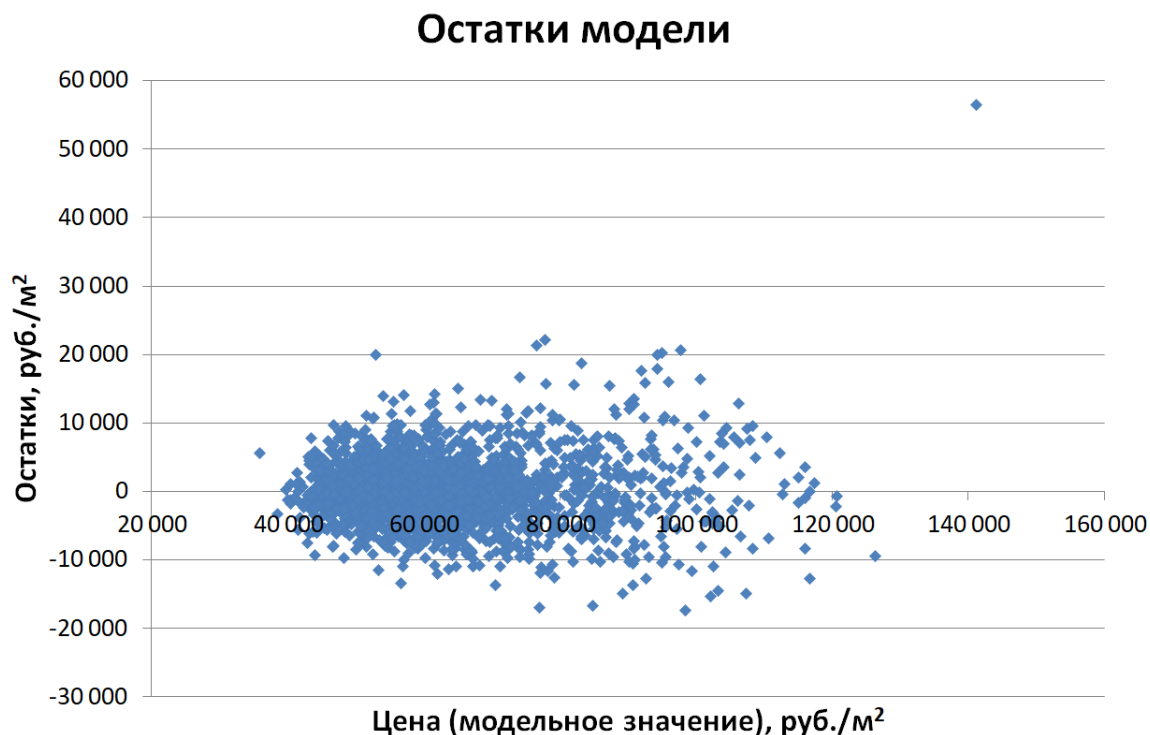


Рис. 2. Распределение остатков регрессионной модели без выбросов, выявленных методом определения стандартного отклонения (z-оценка)
Fig. 2. Distribution of regression model residuals without outliers identified by the standard deviation method (z-score)

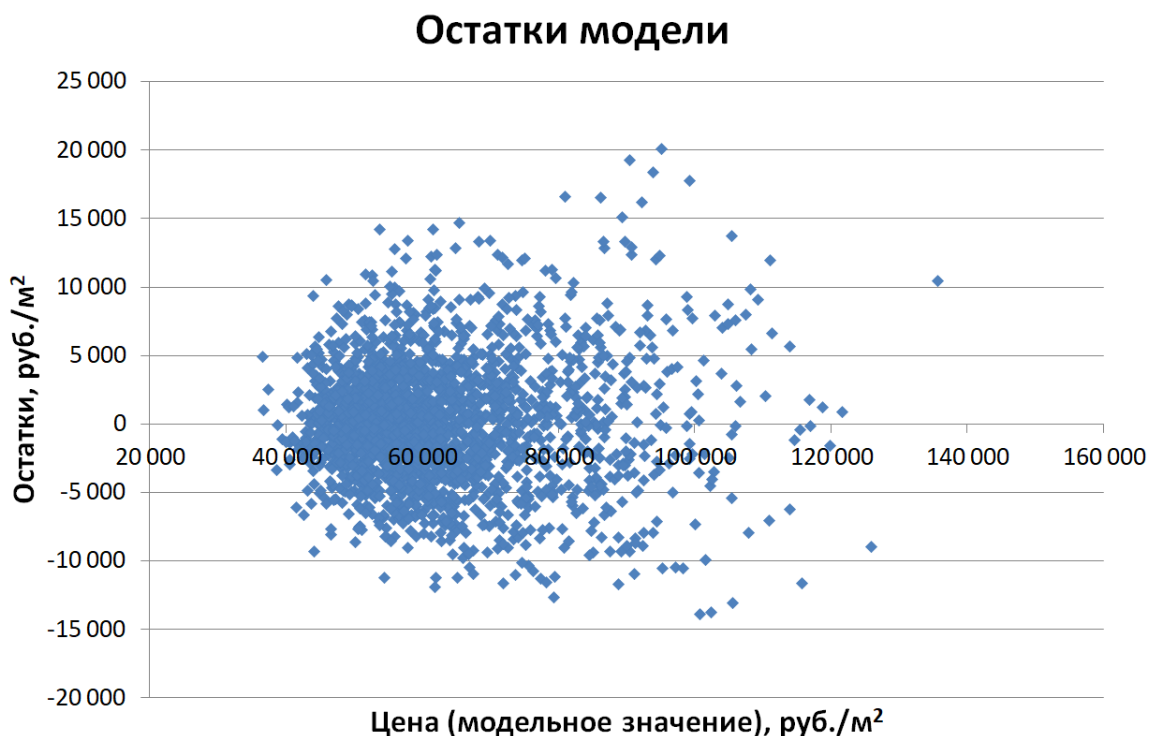


Рис. 3. Распределение остатков регрессионной модели без выбросов, выявленных методом определения расстояния Махаланобиса
Fig. 3. Distribution of regression model residuals without outliers identified by the Mahalanobis distance method

Указанная модель обладает максимальным нормированным коэффициентом детерминации, минимальными средней и максимальной (по модулю) ошибками аппроксимации.

Распределение остатков модели (рис. 4) не имеет выраженной зависимости, что позволяет

рассматривать их как случайные. Вместе с тем, количество выявленных и удаленных выбросов в указанной модели максимальное из всех и составляет 23,1 % от объема выборки базовой модели, что несколько выше допустимого числа выбросов (20 % от общей численности объектов)¹¹.

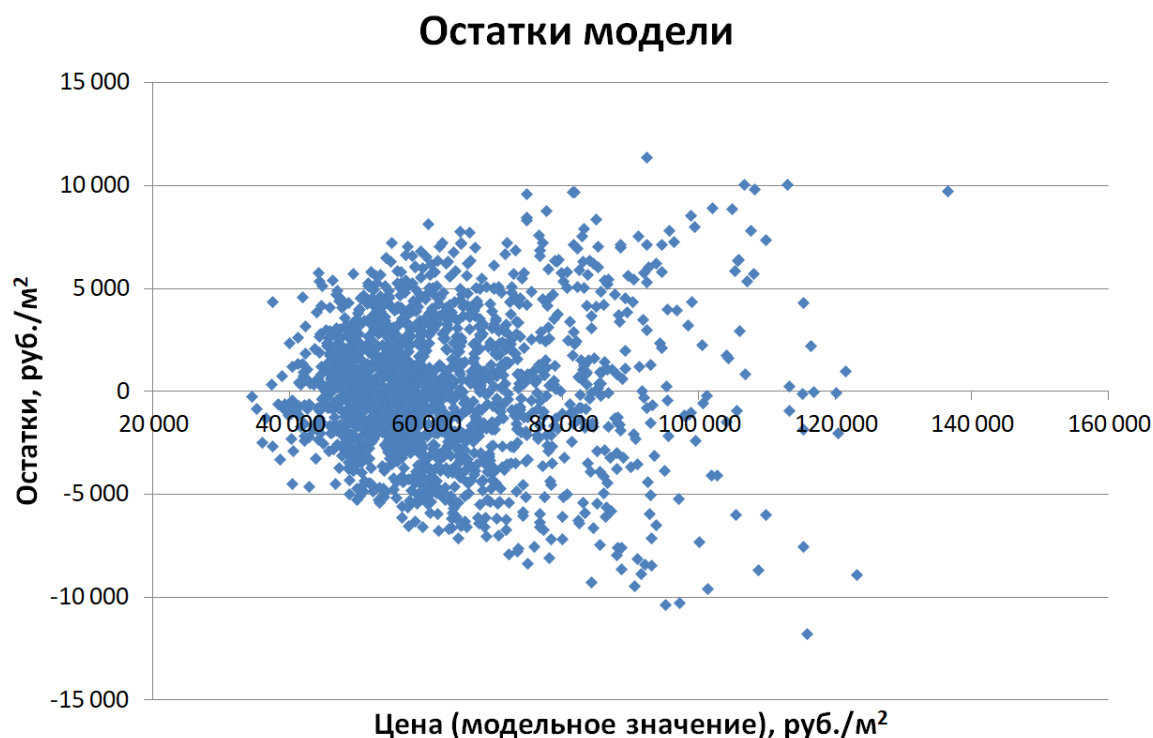


Рис. 4. Распределение остатков регрессионной модели без выбросов, выявленных методом приведения цен объектов к характеристикам эталонного объекта
Fig. 4. Distribution of regression model residuals without outliers identified by the method of bringing object prices to the characteristics of a reference object

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного материала, можно сделать следующий вывод: оптимальным методом выявления выбросов при построении многомерной регрессионной модели цен на региональном рынке жилой недвижимости является разработанный в данном исследовании и описанный выше метод приведения цен объектов к характеристикам эталонного объекта. Не принимая во внимание на самую высокую трудоемкость среди рассмотренных методов.

В результате использования указанного метода существенно снижаются ошибки аппроксимации базовой многомерной регрессионной модели, что повышает адекватность результатов проводимой на ее основе оценки недвижимости.

Следует отметить, что при практическом построении регрессионных моделей рынка недвижимости, до удаления из выборки выявленных выбросов, следует в индивидуальном порядке проверять адекватность первичных данных по каждому объекту-выбросу. Необходимо учитывать наличие опечаток в тексте объявлений, отсутствие противоречий между текстом и данными фотофиксации объекта, правильность указания площади помещений (с балконом/без балкона) и ее соответствие данным Росреестра, и т. д.

Указанная мера позволяет существенно снизить количество выбросов и повысить качество регрессионной модели. Вместе с тем, указанная процедура ни в коем случае не должна «подгонять» исходные данные под достижение наилучших результатов.

¹¹Чуракова И.Я. Приблизительная оценка. Направления использования методик выявления аномальных наблюдений при решении задач операционного менеджмента. Научный доклад № 13. СПб.: ВШМ СПбГУ, 2010. 10 с.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев А.О., Харитонов В.А., Ясницкий В.Л. Разработка концепции комплексного нейросетевого моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости жилой недвижимости // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 1. С. 11–22. EDN: YUVVIC.
2. Баринов Н.П. Применение регрессионного анализа в задачах индивидуальной и массовой оценки объектов недвижимости // Вопросы оценки. 2022. № 1 (106). С. 34–46. EDN: PCGUXU.
3. Баринов Н.П. Сравнительный подход к оценке недвижимости. Современный взгляд // Вопросы оценки. 2019. № 1 (95). С. 2–16. EDN: SAEPVN.
4. Лейфер Л.А., Акобян А.А. О точности методов оценки недвижимости, основанных на машинном обучении // Вопросы оценки. 2021. № 1 (103). С. 26–32. EDN: RFGGBM.
5. Каммероу М. Статистическое определение стоимости // Вопросы оценки. 2019. № 3 (97). С. 2–17. EDN: MSPQKH.
6. Махт В.А., Карпова О.А., Артамонова С.Ф. Моделирование кадастровой стоимости земель садоводческих объединений Республики Крым // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2020. Т. 25. № 2. С. 209–221. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-2-209-221>. EDN: KDMUNB.
7. Пузыня Н.Ю., Мягков В.Н., Грибовский С.В., Цымбалов В.В., Петухова Р.А., Шведова Н.Ю. [и др.] Современные тенденции рынка и оценка рыночной стоимости. СПб: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2020. 250 с. EDN: MPDVZF.
8. Пасимовски Ю. Как дискредитировать большинство оценок недвижимости за одну минуту // Вопросы оценки. 2021. № 4 (105). С. 39–45. EDN: EFYJDD.
9. Петров Ю.Ю. Особенности оценки земель недропользования // Вопросы оценки. 2019. № 2 (96). С. 47–50. EDN: JDXVDC.
10. Пузыня Н.Ю., Мягков В.Н., Нейман Е.И., Слуцкий А.А., Козин П.А., Кузнецов Д.Д. [и др.] Проблемы, современные реалии и новые вызовы в оценочной деятельности: монография. СПб: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2022. 148 с. EDN: EKLVMX.
11. Слуцкий А.А. «На пороге» регрессионного анализа в оценке // Вопросы оценки. 2022. № 1 (106). С. 22–33. EDN: MPFWGU.
12. Щеглов Е.В. Прогнозирование рыночной стоимости коммерческой недвижимости на основе показателей экономического развития территории // Российское предпринимательство. 2016. Т. 17. № 19. С. 2539–2554. <https://doi.org/10.18334/rp.17.19.36621>. EDN: WWIDHR.
13. Анисимова И.Н., Баринов Н.П., Грибовский С.В. О повышении достоверности оценки рыночной стоимости методом сравнительного анализа // Вопросы оценки. 2002. № 1. С. 2–10. EDN: OOKJLV.
14. Казимиров И.А., Ощерин Л.А., Сахилтарова С.В. Разработка и исследование многомерных регрессионных моделей вторичного рынка жилой недвижимости // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 4. С. 87–107. EDN: YLNHAL.
15. Казимиров И.А., Пешков В.В. Определение динамики цен на вторичном рынке жилой недвижимости с использованием многомерной регрессионной модели // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 3. С. 476–487. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-476-487>. EDN: WYQIMZ.
16. Куликов Д.Л. Оценка стоимости объектов недвижимости при помощи алгоритмов машинного обучения: изучение рынка недвижимости города Дубны // Системный анализ в науке и образовании. 2019. № 3. С. 32–39. EDN: THLPBS.
17. Баринов Н.П. Оценка рыночной стоимости земельного участка методом многомерного регрессионного анализа // Бюллетень RWAY. 2014. № 232. С. 24–32. Режим доступа: https://www.avg.ru/wp-content/uploads/2023/01/2014_RWAY_232_OcenkaZU_Regress_24-32.pdf (дата обращения: 19.01.2024).
18. Cabana E., Lillo R.E., Laniado H. Multivariate Outlier Detection Based on a Robust Mahalanobis Distance with Shrinkage Estimators // Statistical Papers. 2021. Vol. 62. P. 1583–1609. <https://doi.org/10.1007/s00362-019-01148-1>.
19. Leys Ch., Klein O., Dominicy Y., Ley Ch. Detecting Multivariate Outliers: Use A Robust Variant of the Mahalanobis Distance // Journal of Experimental Social Psychology. 2018. Vol. 74. P. 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2017.09.011>.
20. Leys Ch., Delacre M., Mora Y.L., Lakens D., Ley Ch. How to Classify, Detect, and Manage Univariate and Multivariate Outliers, with Emphasis on Pre-Registration // International Review of Social Psychology. 2019. Vol. 32. Iss. 1. P. 1–5. <https://doi.org/10.5334/irsp.289>.
21. Magyar B., Kenyeres A., Toth S., Hajdu I., Horvath R. Spatial Outlier Detection on Discrete GNSS Velocity Fields Using Robust Mahalanobis-Distance-Based Unsupervised Classification // GPS Solutions. 2022. Vol. 26. P. 1–11. <https://doi.org/10.1007/s10291-022-01323-2>.

22. Mayrhofer M., Filzmoser P. Multivariate Outlier Explanations Using Shapley Values and Mahalanobis Distances // *Econometrics and Statistics*. 2023. P. 1–24.
23. Afzal S., Afzal A., Amin M., Saleem S., Ali N., Sajid M. A Novel Approach for Outlier Detection in Multivariate Data // *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. Vol. 2021. P. 1–12. <https://doi.org/10.1155/2021/1899225>.
24. Santos-Pereira C.M., Pires A.M. Detection of Outliers in Multivariate Data: A Method Based on Clustering and Robust Estimators. Heidelberg: Physica, 2002. https://doi.org/10.1007/978-3-642-57489-4_41.
25. Sharifah Sakinah Syed Abd Mutalib, Siti Zanariah Satari, Wan Nur Syahidah Wan Yusoff a New Robust Estimator to Detect Outliers for Multivariate Data // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. P. 1–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1366/1/012104>.
26. Sharifah Sakinah Syed Abd Mutalib, Siti Zanariah Satari, Wan Nur Syahidah Wan Yusoff Comparison of Robust Estimators' Performance for Detecting Outliers in Multivariate Data // *Journal of Statistical Modeling & Analytics*. 2021. Vol. 3. Iss. 2. P. 36–64. <http://doi.org/10.22452/josma.vol3no2.3>.
27. Sharifah Sakinah Syed Abd Mutalib, Siti Zanariah Satari, Wan Nur Syahidah Wan Yusoff a Review on Outliers-Detection Methods for Multivariate Data // *Journal of Statistical Modeling & Analytics*. 2021. Vol. 3. Iss. 1. P. 1–15. <https://doi.org/10.22452/josma.vol3no1.1>.
28. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.

REFERENCES

1. Alekseev A.O., Kharitonov V.A., Yasnitsky V.L. Development of The Concept of Complex Neural Simulation of Processes of Mass Estimation and Scenary Forecasting of Market Cost of Housing Real Estate. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2018;8(1):11-22. (In Russ.). EDN: YUVVIC.
2. Barinov N.P. Application of Regression Analysis in Tasks of Individual and Visual Assessment of Real Estate Objects. *The Appraisal Issues*. 2022;1(106):34-46. (In Russ.). EDN: PCGUXU.
3. Barinov N.P. Comparative Approach to Real Estate Valuation. Modern View. *The Appraisal Issues*. 2019;1(95):2-16. (In Russ.). EDN: SAEPVN.
4. Leifer L.A., Akobyan A.A. On The Accuracy of Real Estate Valuation Methods Based on Machine Learning. *The Appraisal Issues*. 2021;1(103):26-32. (In Russ.). EDN: RFGGBM.
5. Kammerou M. Statistical Determination of Cost. *The Appraisal Issues*. 2019;3(97):2-17. (In Russ.). EDN: MSPQKH.
6. Makht V.A., Karpova O.A., Artamonova S.F. Modeling Cadastral Value of Associations of Private Gardeners' Lands of the Republic of Crimea. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies*. 2020;25(2):209-221. (In Russ.). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-2-209-221>. EDN: KDMUNB.
7. Puzynya N.Yu., Myagkov V.N., Gribovskii S.V., Tsymbalov V.V., Petukhova R.A., Shvedova N.Yu. [et al.] *Current Market Trends and Market Value Assessment*. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Economics, 2020. 250 p. (In Russ.). EDN: MPDVZF.
8. Pasimovski Yu. How to Discredit Most Real Estate Appraisals in One Minute. *The Appraisal Issues*. 2021;4(105):39-45. (In Russ.). EDN: EFYJDD.
9. Petrov Yu.Yu. Features of The Assessment of Subsoil Use Lands. *The Appraisal Issues*. 2019;2(96):47-50. (In Russ.). EDN: JDXVDC.
10. Puzynya N.Yu., Myagkov V.N., Neiman E.I., Slutskii A.A., Kozin P.A., Kuznetsov D.D. [et al.] *Problems, Modern Realities and New Challenges in Valuation Activities: Monograph*. St. Petersburg: St. Petersburg State Economic University, 2022. 148 p. (In Russ.). EDN: EKLVMX.
11. Slutskii A.A. "On The Threshold" of Regression Analysis in Assessment. *The Appraisal Issues*. 2022;1(106):22-33. (In Russ.). EDN: MPFWGU.
12. Tscheglov E.V. Forecasting of The Market Value of the Commercial Real Estate Based On Indices of the Territorial Economic Development. *Russian Journal of Entrepreneurship*. 2016;17(19):2539-2554. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/rp.17.19.36621>. EDN: WWIDHR.
13. Anisimova I.N., Barinov N.P., Gribovskii S.V. On Increasing the Reliability of Market Value Assessment Using the Method of Comparative Analysis. *The Appraisal Issues*. 2002;1:2-10. (In Russ.). EDN: OOKJLV.
14. Kazimirov I.A., Oscherin L.A., Sakhiltarova S.V. Development and Research of Multisized Regressive Models of Second Hand Market of Residential Real Estate. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2017;7(4):87-107. (In Russ.). EDN: YLNXL.
15. Kazimirov I.A., Peshkov V.V. Determination of Price Behaviour in The Secondary Residential Real Estate Market Using a Multidimensional Regression Model. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(3):476-487. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-476-487>. EDN: WYQIMZ.

16. Kulikov D.L. Real Estate Valuation with The Help of Machine Learning Algorithms: A Study of the Real Estate Market of the City of Dubna. *System Analysis in Science and Education*. 2019;3:32-39. (In Russ.). EDN: THLPSB.
17. Barinov N.P. Assessment of The Market Value of a Land Plot Using Multivariate Regression Analysis. *Byulleten' RWAY*. 2014;232:24-32. Available from: https://www.avg.ru/wp-content/uploads/2023/01/2014_RWAY_232_OcenkaZU_Regress_24-32.pdf [Accessed 19 January 2024]. (In Russ.).
18. Cabana E., Lillo R.E., Laniado H. Multivariate Outlier Detection Based on a Robust Mahalanobis Distance with Shrinkage Estimators. *Statistical Papers*. 2021;62:1583-1609. <https://doi.org/10.1007/s00362-019-01148-1>.
19. Leys Ch., Klein O., Dominicy Y., Ley Ch. Detecting Multivariate Outliers: Use A Robust Variant of the Mahalanobis Distance. *Journal of Experimental Social Psychology*. 2018; 74:150-156. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2017.09.011>.
20. Leys Ch., Delacre M., Mora Y.L., Lakens D., Ley Ch. How to Classify, Detect, and Manage Univariate and Multivariate Outliers, with Emphasis on Pre-Registration. *International Review of Social Psychology*. 2019;32(1):1-5. <https://doi.org/10.5334/irsp.289>.
21. Magyar B., Kenyeres A., Toth S., Hajdu I., Horvath R. Spatial Outlier Detection on Discrete GNSS Velocity Fields Using Robust Mahalanobis-Distance-Based Unsupervised Classification. *GPS Solutions*. 2022;26:1-11. <https://doi.org/10.1007/s10291-022-01323-2>.
22. Mayrhofer M., Filzmoser P. Multivariate Outlier Explanations Using Shapley Values and Mahalanobis Distances. *Econometrics and Statistics*. 2023:1-24.
23. Afzal S., Afzal A., Amin M., Saleem S., Ali N., Sajid M. A Novel Approach for Outlier Detection in Multivariate Data. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021;2021:1-12. <https://doi.org/10.1155/2021/1899225>.
24. Santos-Pereira C.M., Pires A.M. *Detection of Outliers in Multivariate Data: A Method Based on Clustering and Robust Estimators*. Heidelberg: Physica, 2002. https://doi.org/10.1007/978-3-642-57489-4_41.
25. Sharifah Sakinah Syed Abd Mutalib, Siti Zanariah Satari, Wan Nur Syahidah Wan Yusoff A New Robust Estimator to Detect Outliers for Multivariate Data. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019:1-10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1366/1/012104>.
26. Sharifah Sakinah Syed Abd Mutalib, Siti Zanariah Satari, Wan Nur Syahidah Wan Yusoff Comparison of Robust Estimators' Performance for Detecting Outliers in Multivariate Data. *Journal of Statistical Modeling & Analytics*. 2021;3(2):36-64. <http://doi.org/10.22452/josma.vol3no2.3>.
27. Sharifah Sakinah Syed Abd Mutalib, Siti Zanariah Satari, Wan Nur Syahidah Wan Yusoff A Review on Outliers-Detection Methods for Multivariate Data. *Journal of Statistical Modeling & Analytics*. 2021;3(1):1-15. <https://doi.org/10.22452/josma.vol3no1.1>.
28. Kobzar' A.I. *Applied Mathematical Statistics. For Engineers and Scientists*. Moscow: FIZMATLIT, 2006. 816 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Казимиров Илья Александрович,
старший преподаватель кафедры экспертизы
и управление недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: ilya@appfordepo.nichost.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3708-256X>
Author ID: 953838

Матвеева Мария Витальевна,
д.э.н., профессор,
профессор кафедры экспертизы и управление
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

Ilya A. Kazimirov,
Senior Lecturer of the Department of Real Estate
Expertise and Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉e-mail: ilya@appfordepo.nichost.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3708-256X>
Author ID: 953838

Maria V. Matveeva,
Dr. Sci. (Econ.), Professor,
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
<https://orcid.org/0000-0002-9390-5444>
Author ID: 505831

Полякова Нина Владимировна,
д.э.н, профессор, профессор кафедры
журналистики и маркетинговых технологий,
Байкальский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11,
Россия,
e-mail: Polyakova.ninochka@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-5785-3616>
Author ID: 412361

Nina V. Polyakova,
Dr. Sci. (Econ.), Professor, Professor
of the Department of Journalism
and Marketing Technologies,
Baikal State University,
11 Lenin St., Irkutsk, 664003, Russia,
e-mail: Polyakova.ninochka@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-5785-3616>
Author ID: 412361

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 28.02.2024.
Одобрена после рецензирования 26.03.2024.
Принята к публикации 01.04.2024.

Information about the article

The article was submitted 28.02.2024.
Approved after reviewing 26.03.2024.
Accepted for publication 01.04.2024.



Оценка рисков и возможностей, связанных с ESG-факторами, в инвестиционно-строительных проектах

М.В. Матвеева¹, В.В. Пешков², М.В. Козьма³✉

^{1,2,3}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Целью работы является исследование влияния экологических, социальных и управленческих факторов на риски и возможности в инвестиционно-строительных проектах. В ходе исследования был проведен обзор научной литературы как отечественной, так и зарубежной, касающейся ESG-факторов и способов их интеграции в инвестиционные проекты. Результатом работы стала разработка поэтапного подхода к оценке воздействия данных факторов на риски и возможности проектов в сфере инвестиционного строительства. Этот подход включает в себя выявление значимых ESG-аспектов, проведение качественного и количественного анализа связанных с ними рисков и возможностей, а также создание системы управления ESG-факторами в рамках проекта. Кроме того, была предложена система количественных показателей для оценки ESG-факторов, позволяющая учитывать их при построении финансово-экономической модели проекта. В исследовании получены теоретические результаты, связанные с разработкой алгоритма оценки влияния ESG-факторов и системы показателей для их количественного измерения. Сделан вывод о том, что оценка и управление ESG-факторами играют важную роль в повышении устойчивости и эффективности инвестиционно-строительных проектов. Дальнейшие исследования могут быть сосредоточены на создании отраслевых стандартов и показателей для оценки факторов ESG в сфере инвестиций и строительства, а также на совершенствовании инструментов экологического финансирования проектов.

Ключевые слова: ESG-факторы, риски, возможности, инвестиционно-строительные проекты, устойчивое развитие

Для цитирования: Матвеева М.В., Пешков В.В., Козьма М.В. Оценка рисков и возможностей, связанных с ESG-факторами, в инвестиционно-строительных проектах // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 474–486. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-474-486>. EDN: ZKPGWH.

Original article

Assessing risks and opportunities associated with ESG factors in investment projects

Maria V. Matveeva¹, Vitalii V. Peshkov², Maria V. Kozma³✉

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

Abstract. Our aim was to investigate the influence of environmental, social, and governance (ESG) factors on risks and opportunities in investment and construction projects. The research methodology involved a review of scientific publications, both domestic and foreign, concerning ESG factors and approaches to their integration into investment projects. This allowed us to develop a step-by-step approach to assessing the impact of these factors on the risks and opportunities in investment construction projects. The proposed approach consists in identifying significant ESG aspects, carrying out a qualitative and quantitative analysis of the associated risks and opportunities, and establishing a system for managing ESG factors within a particular project. In addition, we developed a system of quantitative indicators for assessing ESG factors, allowing them to be taken into account when designing a financial and economic model of the project. Theoretical results related to the development of an

algorithm for assessing the impact of ESG factors and the system of indicators for their quantitative measurement were obtained. It is concluded that the assessment and management of ESG factors play an important role in improving the sustainability and efficiency of investment and construction projects. Further research should be focused on the creation of industry standards and indicators for assessing ESG factors in the sphere of investment and construction, as well as on the improvement of tools for environmental funding of projects.

Keywords: ESG factors, risks, opportunities, investment and construction projects, sustainable development

For citation: Matveeva M.V., Peshkov V.V., Kozma M.V. Assessing risks and opportunities associated with ESG factors in investment projects. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):474-486. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-474-486>. EDN: ZKPGWH.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире концепция устойчивого развития и ответственного инвестирования приобретает все большую значимость. Инвесторы, девелоперы и строительные компании начинают осознавать важность учета экологических, социальных и управленческих факторов (ESG-факторов) при реализации проектов [1, 2].

Интеграция принципов устойчивого развития в инвестиционно-строительные проекты не только позволяет минимизировать потенциальные негативные последствия, но и открывает новые возможности для бизнеса [3].

Интеграция ESG-аспектов в инвестиционный процесс открывает для компаний доступ к быстрорастущему рынку «зеленого» финансирования. Многие инвесторы, особенно институциональные, такие как пенсионные фонды и страховые компании, все чаще отдают предпочтение проектам с высокими показателями устойчивости. Они рассматривают ESG-факторы как важный индикатор долгосрочной финансовой стабильности и потенциала роста компании.

Привлечение «зеленого» финансирования не только расширяет возможности для реализации проектов, но снижает стоимость капитала. Инвесторы, ориентированные на устойчивое развитие, часто готовы предоставлять более выгодные условия для компаний, демонстрирующих высокие ESG-показатели. Это связано с тем, что они воспринимаются как менее рискованные и более перспективные.

Компании постоянно ищут способы выделиться на фоне других игроков рынка, поэтому готовы включить в стратегию развития ESG-факторы в качестве одного из эффективных путей достижения данной цели. Такой подход позволяет не только продемонстрировать ответственное отношение к окружающей среде и обществу, но и сформировать уникальные

конкурентные преимущества, которые трудно скопировать другим участникам рынка.

В современном мире потребители становятся все более осознанными и требовательными. Они уже не только ищут качественные товары и услуги, но и обращают внимание на репутацию и ценности компаний, с которыми взаимодействуют. По мере того, как растет осведомленность общества об экологических и социальных проблемах, таких как изменение климата, загрязнение окружающей среды, неравенство и нарушение прав человека, потребители начинают отдавать предпочтение брендам, демонстрирующим ответственный подход к ведению бизнеса.

Компании, которые интегрируют ESG-факторы в свою деятельность, показывают, что они не только стремятся к финансовой выгоде, но и заботятся о своем влиянии на окружающий мир. Они инвестируют в экологически чистые технологии, поддерживают местные сообщества, обеспечивают справедливые условия труда для своих сотрудников и придерживаются принципов этического корпоративного управления. Такие действия формируют позитивный имидж компании и повышают лояльность потребителей, которые все чаще готовы платить больше за продукцию или услуги социально ответственных брендов. Компании с сильной ESG-повесткой имеют больше шансов заинтересовать и мотивировать сотрудников, что в конечном итоге повышает производительность труда и способствует внедрению различных инноваций.

Таким образом, ответственный подход к ведению бизнеса становится не просто данью моде, а стратегической необходимостью в условиях растущей конкуренции и ужесточения требований стейкхолдеров [4].

Несмотря на очевидные преимущества учета ESG-аспектов, методология их интеграции в инвестиционно-строительные проекты

пока недостаточно развита. Существующие подходы в основном ориентированы на качественную оценку ESG-рисков и возможностей, что затрудняет их полноценный учет при построении финансово-экономических моделей проекта. Для принятия обоснованных инвестиционных решений необходима разработка количественных показателей и критериев, позволяющих оценить влияние ESG-факторов на эффективность проекта.

Кроме того, специфика инвестиционно-строительной деятельности требует адаптации передовых практик управления ESG-асpekтами к отраслевым особенностям. Строительные проекты обладают рядом уникальных характеристик, таких как капиталоемкость, длительный жизненный цикл, многообразие стейкхолдеров и др. Эти особенности необходимо учитывать при разработке методологии оценки и управления ESG-факторами в строительстве [5].

Данная работа направлена на исследование влияния ESG-асpekтов на риски и возможности в инвестиционно-строительных проектах. Целью является разработка методики количественной оценки ESG-факторов и ее апробация на практическом примере. Предлагаемый подход позволит повысить обоснованность инвестиционных решений и будет способствовать более эффективной интеграции принципов устойчивого развития в практику строительных компаний.

МЕТОДЫ

Исследование включало следующие этапы:

1. Анализ отечественной и зарубежной литературы по вопросам оценки и управления ESG-факторами в инвестиционных проектах.
2. Обобщение и систематизация существующих подходов к идентификации, анализу и оценке влияния ESG-факторов на риски и возможности проекта. Выявление их преимуществ, недостатков и ограничений применения.
3. Разработка алгоритма оценки ESG-факторов в инвестиционно-строительных проектах.
4. Формирование системы количественных показателей для оценки ESG-асpekтов инвестиционно-строительного проекта, таких как:
 - удельные выбросы CO₂;
 - доля «зеленых» строительных материалов и технологий;
 - соответствие «зеленым» стандартам в строительстве (BREEAM, LEED и др.);
 - создание рабочих мест, в т. ч. для местного населения;
 - вклад в развитие социальной инфраструктуры;

- уровень прозрачности и отчетности;
- соответствие стандартам корпоративной социальной ответственности и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ отечественной и зарубежной литературы, посвященной вопросам оценки и управления ESG-факторами в инвестиционных проектах, свидетельствует о том, что данное направление привлекает все больше внимания исследователей в последние годы. Особый интерес представляют работы, в которых рассматривается учет ESG-асpekтов в контексте инвестиционно-строительной отрасли.

В зарубежной научной среде можно отметить труды таких авторов, как Рассел Спаркс и Кристофер Дж. Коутон, которые углубились в историю концепции социально ответственного инвестирования и проследили ее развитие начиная с 1970-х г [6]. Они подчеркивают, что идея учета не только финансовых, но и социальных, экологических и управленческих факторов при принятии инвестиционных решений зародилась достаточно давно и постепенно завоевывала популярность в инвестиционном сообществе.

Хемлата Челават и Индра Вардхан Триведи акцентируют внимание на том, что исследования, посвященные мотивации инвесторов при использовании ESG-критериев и эффектам от их применения, активизировались в первом десятилетии XXI в [7]. Сегодня можно с уверенностью говорить о том, что учет ESG-факторов стал неотъемлемой частью инвестиционной практики в развитых странах и постепенно находит применение на развивающихся рынках.

Эмирхан Ильхан уделяет особое внимание отношению институциональных инвесторов, включая пенсионные фонды, к экологическим рискам [8]. Он подчеркивает, что данная группа очень серьезно подходит к оценке потенциального влияния экологических факторов на объекты инвестирования, поскольку экологические проблемы могут нести значительные риски в долгосрочной перспективе.

Рави Бансал также затрагивает тему изменения климата и ее связи с долгосрочными рисками для инвесторов [9]. По его мнению, инвесторы не могут игнорировать климатические риски, поскольку они способны оказать существенное влияние на финансовые результаты и устойчивость компаний в будущем.

Руи Альбукерке приходит к выводу, что демонстрация компанией своей социальной ответственности может способствовать повышению лояльности клиентов и усилению ее рыночных позиций [10]. Таким образом, учет социальных асpekтов деятельности компании

может снижать риски и повышать ее привлекательность в глазах инвесторов.

В отечественной литературе вопросы оценки и управления ESG-факторами в инвестиционных проектах находят отражение в работах Анны Валерьевны Пилюгиной и Татьяны Юрьевны Шемякиной.

Анна Валерьевна Пилюгина фокусируется на формировании эффективной системы управления для интеграции ESG-информации в инвестиционный анализ [11]. Она выделяет ключевые инструменты и методы, необходимые для полноценного учета ESG-факторов, и дает практические рекомендации по их применению в процессе принятия инвестиционных решений.

Татьяна Юрьевна Шемякина рассматривает концепцию ответственного инвестирования и практику применения ESG-факторов в процессе принятия стратегических решений [12]. Она анализирует тренды развития рынка ESG-инвестирования на международном уровне и оценивает перспективы внедрения принципов ответственного инвестирования в России.

Анализ литературы позволяет выделить несколько ключевых подходов к оценке и управлению ESG-факторами в инвестиционных проектах.

Первый подход предполагает интеграцию ESG-критериев непосредственно в процесс принятия инвестиционных решений.

Второй связан с разработкой системы показателей для оценки ESG-факторов. Такая система может включать как количественные, так и качественные индикаторы, отражающие различные аспекты экологической, социальной и управленческой деятельности компаний. Наличие четкой системы показателей позволяет инвесторам проводить сравнительный анализ компаний и проектов, а также отслеживать динамику их ESG-показателей во времени.

Третий ставит во главу угла тщательный анализ потенциальных рисков и возможностей, связанных с экологическими, социальными и управленческими аспектами на каждом этапе жизненного цикла проекта. Инвесторы, следуя данному подходу, нацелены на раннее выявление и оценку рисков и возможностей в области ESG, что позволяет им оперативно реагировать на возникающие ситуации.

Четвертый сосредоточен на комплексном включении ESG-факторов на всех этапах реализации инвестиционного проекта — начиная с его планирования и заканчивая окончательным завершением. Этот всесторонний подход

предполагает, что принципы ответственного инвестирования должны стать основой управления проектом, затрагивать все его элементы, включая разработку, выполнение, мониторинг и оценку результатов. Только через систематическое интегрирование ESG-факторов возможно достичь максимального эффекта от их применения и обеспечить долгосрочную устойчивость проекта в более широком масштабе.

Хотя интерес к инвестициям с учетом ESG-критериев постоянно растет, остается множество нерешенных вопросов, требующих углубленного анализа. В частности, стоит уделить внимание особенностям интеграции ESG-факторов в сектор инвестиционно-строительной деятельности, который характеризуется рядом уникальных черт: продолжительными сроками реализации проектов, значительными требованиями к капиталовложениям, а также ощутимым влиянием на экологию и местные сообщества. Эти специфические особенности отрасли подчеркивают необходимость адаптации существующих методик оценки и управления ESG-показателями, чтобы они соответствовали уникальным условиям и требованиям строительного сектора.

В сфере ответственного инвестирования, перед строительной отраслью стоит важнейшая задача — разработка действенных механизмов и руководящих принципов. Эти инструменты призваны обеспечить эффективную интеграцию ESG-аспектов в процессы, связанные с инвестиционными решениями. Как инвесторы, так и руководители проектов нуждаются в ясных и однозначных критериях, которые позволят им отбирать наиболее существенные ESG-индикаторы, давать оценку их воздействию на результативность проектов и использовать полученные данные в контексте инвестиционной аналитики и управленческой деятельности.

Помимо вышесказанного, одним из перспективных векторов для будущих научных изысканий представляется исследование взаимосвязи между интеграцией ESG-факторов и финансовыми показателями инвестиционных проектов в сфере строительства. Аккумуляция и последующая обработка эмпирической информации, отражающей воздействие ESG-практик на такие фундаментальные параметры, как прибыльность, риски и совокупная стоимость проектов, способны выступить в качестве весомого аргумента в пользу более широкого внедрения принципов ответственного инвестирования в данном секторе экономики. В перспективе это будет конкурентным

преимуществом и содействием повышению устойчивости строительной отрасли в условиях грядущих вызовов.

Анализ научных работ как отечественных, так и зарубежных исследователей свидетельствует о значимости вопросов оценки и управления ESG-факторами в инвестиционных проектах, особенно в строительной сфере. Тем не менее, несмотря на существующие достижения в этой области, множество вопросов требует дальнейшего исследования и глубокого анализа.

Трансформация инвестиционно-строительной сферы в русле концепции устойчивого развития открывает широкие перспективы для проведения научных исследований. На первый план выходит необходимость пересмотра устоявшихся методологических подходов с учетом особенностей, присущих строительным проектам. Не менее важной задачей является создание инновационного инструментария, позволяющего эффективно интегрировать ESG-критерии в процесс инвестиционного анализа. Кроме того, пристального внимания заслуживает тщательное изучение взаимосвязи между внедрением ESG-практик и показателями экономической результативности. Дальнейшее продвижение по этим направлениям будет способствовать более глубокому укоренению принципов ответственного инвестирования в строительной индустрии, что в свою очередь повысит устойчивость и социальную значимость реализуемых проектов.

В условиях сегодняшнего дня идеи устойчивого развития и необходимость принимать во внимание ESG-факторы приобретают все более весомое значение в разнообразных секторах экономики, в том числе и в области строительства и инвестиционной деятельности.

Внимательное планирование, проектирование, строительство и управление недвижимыми объектами играют ключевую роль в переходе к более устойчивому будущему. Внедрение ESG-принципов в инвестиционно-строительную деятельность помогает уменьшить негативное влияние на экосистемы, сохраняя биоразнообразие и природные ресурсы. Это достигается посредством использования экологически безопасных материалов, возобновляемых источников энергии, энергоэффективных технологий и эффективного управления отходами.

В современных реалиях интеграция ESG-принципов в сферу инвестиций и строительства является непростым вызовом, требующим учета множества факторов на всех стадиях осуществления проектов. Речь идет о необходимости гармоничного сочетания

экологической, социальной и управленческой составляющих. Уже на этапе разработки концепции и проектной документации компании нацелены на поиск прогрессивных решений, позволяющих возводить не только функционально и визуально привлекательные объекты, но и отвечающие критериям устойчивого развития. Таким образом, ESG-трансформация инвестиционно-строительного сектора – комплексный процесс, затрагивающий все аспекты деятельности и требующий инновационного подхода и нестандартного мышления.

Ключевым вектором развития в рамках ESG-трансформации является тщательный подбор экологически чистых материалов и внедрение инновационных технологий. Приоритет отдается применению возобновляемых ресурсов, материалов, прошедших вторичную переработку, а также решениям, минимизирующим негативное воздействие на окружающую среду. Значительные усилия направлены на оптимизацию энергопотребления объектов недвижимости за счет использования передовых систем отопления, вентиляции и кондиционирования, а также альтернативных источников энергии, таких как солнечные батареи и геотермальные установки. Именно поэтому, экологическая составляющая ESG-принципов играет ключевую роль в трансформации инвестиционно-строительной отрасли, стимулируя поиск инновационных решений и применение «зеленых» технологий. Использование этих технологий, значительно снижает необходимость высоких финансовых вложений, а экологичность повышает интерес инвесторов к таким проектам.

В процессе осуществления строительных проектов, базирующихся на ESG-принципах, компании фокусируются на бережном отношении к природе и минимизации негативного влияния на экосистемы. Для достижения этих целей применяется комплексный подход, включающий детальное планирование работ, использование эко-френдли материалов и технологий, а также регулярный мониторинг и оценку воздействия на окружающую среду. Особое внимание уделяется сохранению биологического разнообразия, охране водных ресурсов и сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Таким образом, экологическая ответственность становится неотъемлемой частью строительного процесса, демонстрируя приверженность компаний принципам устойчивого развития.

Одним из впечатляющих примеров применения ESG-принципов в инвестиционно-строительной сфере Китая является проект Tianjin Eco-City, реализованный в рамках совместного

предприятия между правительствами Китая и Сингапура. Этот масштабный проект, занимающий площадь в 30 км², был задуман как образец устойчивого городского развития, гармонично сочетающего экономический рост, социальную ответственность и заботу об окружающей среде.

При планировании и строительстве особое внимание уделялось энергоэффективности и использованию чистых технологий. Так, более 20 % электроэнергии в городе производится за счет возобновляемых источников, таких как солнечные панели и ветрогенераторы. Кроме того, применение передовых систем управления энергопотреблением и «умных» сетей позволило сократить выбросы углекислого газа на 40 % по сравнению с традиционными городами.

Важной составляющей проекта стало создание «зеленой» инфраструктуры и сохранение естественных экосистем. На территории были высажены более одного миллиона деревьев и кустарников, создано восемь парков и 20 километров экологических коридоров. Кроме того, при строительстве использовались экологически чистые материалы, а система управления отходами позволяет перерабатывать до 80 % мусора.

Социальная ответственность проекта выразилась в создании доступного жилья и развитии общественных пространств. 20 % жилых площадей предназначены для малообеспеченных семей, а на территории города созданы многочисленные общественные центры, школы и медицинские учреждения.

Строительство началось в 2008 г., и на данный момент город уже привлек более 100 тыс. жителей. Общий объем инвестиций в проект составил около 20 млн долл. США. По оценкам экспертов, применение ESG-принципов позволило не только создать комфортную и экологически благоприятную среду для жителей, но и повысить инвестиционную привлекательность проекта. Так, стоимость недвижимости в городе на 20–30 % превышает средние показатели по региону.

Успех данного проекта демонстрирует, что интеграция ESG-факторов в инвестиционно-строительную деятельность не только способствует достижению целей устойчивого развития, но и создает долгосрочную ценность для инвесторов, жителей и общества в целом.

Одним из впечатляющих примеров инвестиционно-строительного проекта в ОАЭ, где большое внимание уделялось ESG-факторам, является возведение эко-отеля «Оазис Дубая» в самом сердце эмирата. Этот новаторский

проект стоимостью 180 млн дирхамов (около 49 млн долл. США) был реализован в период с 2019 по 2022 г. и задал новые стандарты устойчивого развития в гостиничной индустрии региона.

При разработке концепции отеля команда архитекторов, инженеров и экспертов по устойчивому развитию тщательно проанализировала множество факторов, связанных с экологией, социальной ответственностью и управлением. В результате был создан проект, который гармонично вписывается в окружающую среду и минимизирует негативное воздействие на экосистему.

Для строительства «Оазиса Дубая» использовались экологически чистые и переработанные материалы, а также инновационные технологии энергосбережения и водоочистки. Благодаря солнечным панелям, установленным на крыше здания, отель на 60 % обеспечивает себя электроэнергией, а система сбора и очистки дождевой и конденсационной воды позволяет сократить потребление водных ресурсов на 50 % по сравнению с традиционными отелями.

Особое внимание в проекте уделено созданию комфортной и инклюзивной среды для гостей и сотрудников. Отель предлагает широкий спектр услуг для людей с ограниченными возможностями, а также активно поддерживает местные сообщества, закупая продукты у фермеров региона и предоставляя рабочие места жителям эмирата. Так, в рамках проекта было создано более 200 новых рабочих мест.

Стремясь к прозрачности и подотчетности, управляющая компания отеля регулярно публикует отчеты о достигнутых результатах в области устойчивого развития. Эксперты подсчитали, что учет ESG-факторов при реализации проекта позволил снизить операционные расходы на 20 % и повысить заполняемость отеля на 15 % по сравнению с конкурентами.

Один из ярких примеров инвестиционно-строительного проекта в Европе, где особое внимание уделялось ESG-факторам, возведение нового головного офиса компании «Экотех Солюшнс» в г. Копенгагене, Дания. Этот амбициозный проект стоимостью 120 млн евро был реализован в период с 2018 по 2021 г. и ознаменовал собой новую веху в устойчивом и экологически ответственном строительстве.

При проектировании здания архитекторы и инженеры учли множество факторов, связанных с охраной окружающей среды, социальным воздействием и корпоративным управлением. Так, для снижения углеродного следа при строительстве использовались

преимущественно местные и переработанные материалы. Благодаря инновационным энергосберегающим технологиям и системе сбора дождевой воды, потребление ресурсов удалось сократить на 40 % по сравнению с обычными офисными зданиями аналогичного размера.

Особое внимание было уделено созданию комфортной и здоровой рабочей среды для сотрудников. Просторные открытые пространства, обилие естественного света и зеленые зоны способствуют повышению производительности труда и снижению стресса. Кроме того, в рамках проекта было создано около 300 новых рабочих мест, что положительно сказалось на местной экономике.

Стремясь к прозрачности и подотчетности, компания «Экотех Солюшнс» регулярно публикует отчеты о достигнутых результатах в области устойчивого развития. По оценкам экспертов, учет ESG-факторов при реализации проекта позволил снизить операционные расходы на 15 % и повысить стоимость бренда компании на 20 %.

Одним из ярких примеров успешной интеграции ESG-принципов в инвестиционно-строительный проект в России является возведение многофункционального комплекса «Зеленый квартал» в г. Екатеринбурге. Этот проект, реализованный компанией «ЭкоСтрой», стал образцом экологически ответственного строительства и социально ориентированного девелопмента.

При проектировании комплекса особое внимание уделялось энергоэффективности и использованию возобновляемых источников энергии. Так, на крышах зданий были установлены солнечные панели общей площадью 5000 м², которые обеспечивают до 30 % потребности комплекса в электроэнергии.

Экологические, социальные и управленческие факторы имеют растущее значение в контексте инвестиционно-строительных проектов. Их анализ предоставил значимую информацию о рисках и возможностях, которые могут оказывать существенное влияние на устойчивость и финансовую эффективность проектов. Начнем с рассмотрения экологических аспектов. Внедрение ESG-факторов в проекты в области инвестиций и строительства может оказывать существенное влияние на их финансовые результаты и общую успешность. Экологический аспект ESG включает в себя ответственное использование природных ресурсов, соблюдение экологических стандартов и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

Несоблюдение экологических норм может

повлечь за собой риски загрязнения, нарушения природопользования и значительные штрафы, увеличивая издержки проектов. С другой стороны, следование стандартам устойчивого развития и применение зеленых технологий открывает доступ к новым инвестиционным средствам, субсидиям и повышает конкурентоспособность проекта на рынке.

Социальный аспект ESG охватывает отношения с местными сообществами, условия труда и вопросы корпоративной ответственности. Игнорирование социальных факторов может привести к протестам, забастовкам и другим формам социальной нестабильности, затрудняющим выполнение проектов и увеличивающим сроки их реализации. В то же время, проекты, оказывающие позитивное воздействие на местные сообщества, могут ускорять процедуры получения необходимых разрешений и лицензий, снижая риски задержек.

Управленческие факторы, такие как стандарты корпоративного управления, прозрачность и учет интересов стейкхолдеров, играют ключевую роль в минимизации внутренних операционных рисков. Недостаточное управление проектом может стать причиной коррупции и юридических проблем, тогда как эффективная управленческая структура способствует снижению этих угроз и стимулирует устойчивый рост.

Анализ показывает, что взаимосвязь между ESG-факторами и финансовой результативностью проектов носит сложный характер, но при этом прослеживается четкая корреляция между долгосрочной ценностью проекта и уровнем его ESG-интеграции. Проекты с высокой оценкой ESG сталкиваются с меньшей степенью операционных рисков и получают поддержку от инвесторов, особенно тех, кто все больше ориентируется на устойчивый подход к инвестициям.

При проведении сертификационного аудита специалисты уделяют особое внимание качественным аспектам внутренней обстановки зданий, осознавая важность этих факторов для здоровья и комфорта людей, находящихся в этих помещениях. Детально рассматриваются такие параметры, как качество воздуха, акустический комфорт, уровень естественного освещения и визуальная комфортность пространств.

На этапе определения ключевых ESG-факторов особую ценность имеют личные консультации с участниками проекта.

Для глубокого анализа влияния конкретных ESG-факторов на инвестиционные и строительные проекты применяется широкий спектр аналитических инструментов и методов. Эти

методы можно разделить на качественные, количественные и комбинированные, где каждый обладает уникальными особенностями и преимуществами.

Качественные методы анализа ESG-факторов нацелены на оценку потенциального воздействия без использования числовых данных.

К таким методам относятся SWOT-анализ, выявляющий сильные и слабые стороны, возможности и угрозы проекта в ESG-контексте, карты рисков, отображающие основные ESG-риски и их взаимосвязи, и сценарный анализ, позволяющий прогнозировать различные события и оценивать их влияние на устойчивость проекта. Эти методы способствуют комплексному пониманию ситуации и выявлению ключевых тенденций.

В отличие от качественных, количественные методы основываются на измеримых показателях и числовых данных для оценки ESG-факторов. В этом процессе используются различные коэффициенты, индексы и модели вероятности. Среди инструментов количественного анализа можно выделить оценку жизненного цикла, отслеживающую экологическое воздействие проекта на каждом этапе, от добычи сырья до его утилизации, а также анализ затрат и выгод, помогающий сопоставить

экономические и социальные эффекты проекта. Кроме того, измерение экологического следа проекта дает представление о его влиянии на окружающую среду.

Количественные методы обеспечивают точность и объективность при оценке ESG-факторов.

Для всестороннего анализа ESG-факторов оптимальным решением является применение гибридного подхода, который объединяет в себе преимущества как качественных, так и количественных методов исследования.

Использование качественных инструментов позволяет глубоко изучить природу и контекст проблемы, осмыслить основные тенденции и динамику развития ситуации.

Однако для обеспечения объективности и подкрепления качественных выводов точными, измеримыми показателями в процесс анализа также встраиваются количественные данные. Благодаря сочетанию этих двух подходов, гибридный метод дает возможность получить более полную и сбалансированную картину влияния ESG-факторов на проект, что делает анализ максимально всесторонним и надежным.

В табл. 1 представлены преимущества и недостатки подходов к идентификации ESG-факторов и подходов к анализу и оценке влияния ESG-факторов.

Таблица 1. Преимущества и недостатки подходов к идентификации ESG-факторов, подходы к анализу и оценке влияния ESG-факторов

Table 1. Advantages and disadvantages of approaches to the identification of ESG factors, approaches to the analysis and assessment of the impact of ESG factors

Преимущества и недостатки подходов к идентификации ESG-факторов		
Преимущества		Недостатки
отраслевые стандарты и руководства	учет специфики отрасли; возможность сравнения с другими компаниями и проектами	ограниченность перечня факторов; необходимость адаптации к конкретному проекту
экспертные оценки и консультации	учет специфики проекта; вовлечение заинтересованных сторон	субъективность оценок; трудоемкость процесса
Преимущества и недостатки подходов к анализу и оценке влияния ESG-факторов		
Преимущества		Недостатки
качественный анализ	простота использования; возможность учета нематериальных факторов	субъективность оценок; сложность сравнения и агрегирования результатов
количественный анализ	объективность и сопоставимость результатов; возможность интеграции в финансовые модели проекта	сложность и трудоемкость расчетов; необходимость наличия достоверных данных
смешанный подход	всесторонний учет ESG-факторов; возможность адаптации к специфике проекта	сложность интеграции результатов; необходимость наличия компетенций в различных областях

Для обеспечения высоких стандартов управления ESG-факторами необходимо применять комплексный подход, который включает в себя не только развитую систему контроля и регулярную отчетность, но и постоянное совершенствование управленческих процессов. Эффективность системы мониторинга критически важна, поскольку она позволяет своевременно обнаруживать и оперативно решать возникающие проблемы, что жизненно необходимо для поддержания высокого уровня ESG-стандартов.

Исследование и внедрение успешных промышленных трендов и инноваций также играют важную роль в мире ESG, который постоянно

меняется. Важным является не только отслеживание актуальных тенденций, но и глубокий анализ передовых практик, проверенных на других проектах. Это позволяет не просто копировать успешные модели, но и адаптировать их к уникальным условиям и потребностям организации, способствуя таким образом повышению устойчивости и соответствия корпоративных стратегий модернизированным экологическим, социальным и управленческим стандартам.

Также представлена система количественных показателей для точной оценки ESG-аспектов инвестиционно-строительного проекта, результаты которой отражены в табл. 2.

Таблица 2. Система количественных показателей для оценки ESG-аспектов инвестиционно-строительного проекта

Table 2. A system of quantitative indicators for evaluating the ESG aspects of an investment and construction project

Экологические аспекты (E)	Социальные аспекты (S)	Управленческие аспекты (G)
1. Удельные выбросы CO ₂ (тонн на м ² площади или на млн руб. инвестиций) 2. Доля «зеленых» строительных материалов (% от общего объема материалов) 3. Доля возобновляемых источников энергии (% от общего энергопотребления) 4. Уровень соответствия «зеленым» стандартам (BREEAM, LEED и др.) (баллы или сертификация) 5. Эффективность водопользования (л на м ² площади или на человека) 6. Доля переработанных отходов (% от общего объема отходов)	1. Количество созданных рабочих мест (всего и для местного населения) 2. Доля местных подрядчиков и поставщиков (% от общего числа) 3. Инвестиции в развитие социальной инфраструктуры (млн руб. или % от общего объема инвестиций) 4. Уровень безопасности труда (коэффициент частоты травматизма, LTIFR) 5. Уровень удовлетворенности работников (% по результатам опросов) 6. Доступность объектов для маломобильных групп населения (% от общей площади)	1. Уровень прозрачности и отчетности (наличие нефинансовой отчетности, раскрытие информации) 2. Соответствие стандартам корпоративной социальной ответственности (ISO 26000, GRI и др.) 3. Доля независимых директоров в совете директоров (%) 4. Наличие политик и процедур в области устойчивого развития, этики, противодействия коррупции 5. Уровень вовлеченности стейкхолдеров (количество мероприятий, встреч) 6. Оценка репутационных рисков и управление ими (наличие системы, оценка в баллах)

В настоящее время инвестиционно-строительные проекты играют существенную роль в экономическом развитии страны, однако с ними также связан ряд значительных рисков и возможностей. Важное место в оценке этих проектов занимают ESG-факторы (экология, социальная сфера и управленческая практика), которые становятся все более значимыми для инвесторов и регуляторов.

Анализ ESG-факторов играет ключевую роль не только в оценке потенциальных рисков и выявлении новых возможностей для проекта, но и в повышении его устойчивости перед лицом глобальных климатических изменений и социальных вызовов. Активная интеграция

ESG-критериев в процессы инвестиционного анализа и управление проектами уже не является простым следованием моде, это становится обязательным элементом, необходимым для обеспечения долгосрочного экономического успеха и снижения операционных рисков. Такой подход позволяет компаниям не только адаптироваться к текущим требованиям рынка и нормативно-правовой среды, но и способствует формированию основ для устойчивого будущего.

Это подходит не только для больших, но и для малых проектов, поскольку позволяет оценить реальную стоимость рисков, связанных с экологическими нарушениями, социальным

воздействием и управленческими практиками. В свете этого, основная цель данной работы заключается в исследовании и анализе рисков и возможностей, которые ESG-факторы представляют для инвестиционно-строительных проектов. Притом, акцент сделан на том, как эти факторы могут быть интегрированы в процесс планирования и реализации проектов, чтобы улучшить управление рисками и увеличить инвестиционную привлекательность проектов. Следовательно, изучение и применение ESG-критериев позволит не только повысить эффективность управления проектами, но и сделать их более привлекательными для инвесторов, обеспечивая тем самым их устойчивое развитие и долгосрочный экономический успех.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя вышеизложенный материал, необходимо подчеркнуть, что интеграция ESG-факторов в процесс принятия инвестиционных решений и реализацию строительных проектов является сложной, но в то же время крайне актуальной задачей в современных условиях. Учет экологических, социальных и управленческих аспектов позволяет не только снизить потенциальные риски, но и открывает перед компаниями новые возможности для развития и создания долгосрочной ценности. Проведенный анализ научной литературы свидетельствует о том, что вопросы оценки и управления ESG-факторами в инвестиционно-строительной сфере привлекают все большее внимание исследователей как в России, так и за рубежом. Существующие подходы охватывают широкий спектр методов и инструментов, от качественного анализа до количественных моделей и гибридных решений. Однако их применение в строительной отрасли сопряжено с рядом вызовов и ограничений, обусловленных

спецификой данной сферы деятельности.

В рамках данного исследования был предложен поэтапный подход к оценке влияния ESG-факторов на риски и возможности инвестиционно-строительных проектов. Он включает в себя идентификацию существенных ESG-аспектов на основе отраслевых стандартов и консультаций с заинтересованными сторонами, проведение качественного и количественного анализа связанных с ними рисков и возможностей, а также разработку системы управления ESG-факторами, интегрированной в общую систему управления проектом.

Особое внимание было уделено формированию системы количественных показателей для оценки ESG-аспектов инвестиционно-строительного проекта. Предложенный набор индикаторов охватывает экологические, социальные и управленческие аспекты и может быть адаптирован и дополнен с учетом специфики конкретного проекта и требований инвесторов или других стейкхолдеров. Использование этих показателей позволяет не только оценить текущий уровень соответствия проекта принципам устойчивого развития, но и отслеживать динамику изменений и своевременно вносить необходимые корректировки.

Перспективными направлениями будущих исследований могут стать: разработка отраслевых стандартов и руководств по оценке и управлению ESG-факторами в строительстве, проведение эмпирических исследований, направленных на выявление взаимосвязи между ESG-показателями и финансовой эффективностью проектов, изучение лучших международных практик и их адаптация к российским условиям, формирование механизмов государственной поддержки и стимулирования внедрения принципов устойчивого развития в инвестиционно-строительную деятельность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Buallay A. Is Sustainability Reporting (ESG) Associated with Performance? Evidence from The European Banking Sector // *Management of Environmental Quality: An International Journal*. 2019. Vol. 30. Iss. 1. P. 98–115. <https://doi.org/10.1108/MEQ-12-2017-0149>.
2. Amel-Zadeh A., Serafeim G. Why and How Investors Use ESG Information: Evidence from a Global Survey // *Financial Analysts Journal*. 2018. Vol. 74. Iss. 3. P. 87–103. <https://doi.org/10.2469/faj.v74.n3.2>.
3. Алиев Р.А., Соловьева О.А. Инструменты снижения ESG-рисков инвестиционных проектов в строительстве // *Недвижимость: экономика, управление*. 2021. № 3. С. 29–34. EDN: JCVMQW.
4. Yoshino N., Taghizadeh-Hesary F., Otsuka M. Covid-19 and Optimal Portfolio Selection for Investment in Sustainable Development Goals // *Finance Research Letters*. 2021. Vol. 38. P. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101695>.
5. Чуб А.А., Будяну К.Н. Разработка показателей оценки ESG-рисков на примере инвестиционных проектов ТЭК // *Russian Journal of Management*. 2022. Т. 10. № 1. С. 1–20.
6. Sparkes R., Cowton C.J. The Maturing of Socially Responsible Investment: A Review of Developing Link with Corporate Social Responsibility // *Journal of Business Ethics*. 2004. Vol. 52. Iss. 1. P. 45–57. <https://doi.org/10.1023/B:BUSI.0000033106.43260.99>.

7. Chelawat H., Trivedi I.V. Ethical Finance: Trends and Emerging Issues for Research // *International Journal of Business Ethics in Developing Economies*. 2013. Vol. 2. Iss. 2. P. 35–42.
8. Ilhan E., Sautner Z., Vilkov G. Carbon Tail Risk // *The Review of Financial Studies*. 2021. Vol. 34. Iss. 3. P. 777–799. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3204420>.
9. Bansal R., Ochoa M., Kiku D. Climate Change and Growth Risks // *Climate Change and Growth Risks*. National Bureau of Economic Research Working Paper Series. 2016. Vol. 23009. P. 1–39. <https://doi.org/10.3386/w23009>.
10. Albuquerque R., Koskinen Y., Zhang C. Corporate Social Responsibility and Firm Risk: Theory and Empirical Evidence // *Management Science*. 2019. Vol. 65. Iss. 10. P. 4451–4469. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2018.3043>.
11. Пилюгина А.В., Ласунова С.В. Ответственное инвестирование: подходы к учету ESG-факторов // *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2020. Т. 1. № 2. С. 163–169. EDN: DLTDTT.
12. Шемякина Т.Ю. Применение ESG-факторов в инвестиционных строительных проектах // *Вестник университета*. 2021. № 3. С. 132–139. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2021-3-132-139>. EDN: OOEZR.
13. Барышева А.Е. Учет ESG факторов при формировании инвестиционного портфеля // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2021. № 4. С. 80–86. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2021.04.06>. EDN: EDVHNO.
14. Смирнов Н.А., Аникина Ю.А., Рожнов И.П. ESG-факторы как основа устойчивого развития предприятия. М.: Научно-издательский центр ИНФРА-М, 2021. 161 с. EDN: YIQGPP.
15. Сафронов С.Б. ESG факторы – риски и возможности // *Современные технологии управления*. 2022. № 1 (97). С. 1–8. EDN: JINHLJ.
16. Григорьева Е.М., Дидигов Д.Р. Опыт и применение ESG-факторов для продвижения принципов ответственного инвестирования // *Финансовая экономика*. 2022. № 5. С. 25–32. EDN: ATEYKK.
17. Камалова А.О., Таибова Р.А. ESG-критерии и ESG-факторы в инвестиционной политике // *Бизнес. Образование. Право*. 2022. № 4 (61). С. 208–212. <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2022.61.480>. EDN: RMCONS.
18. Лисянский Д.А., Лебедева М.Е. Тенденции регулирования ESG-факторов // XXII Международная научно-практическая конференция «Смирновские чтения – 2023». Сборник материалов XXII Международной научно-практической конференции «Смирновские чтения – 2023» (г. Санкт-Петербург, 22–24 марта 2023 г.). СПб, 2023. С. 224–230. EDN: AJQOTA.
19. Лебедева М.Е., Круглова И.А., Лисянский Д.А. Международные и отечественные тенденции регулирования ESG-факторов // *Мир экономики и управления*. 2023. Т. 23. № 2. С. 37–51. <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2023-23-2-37-51>. EDN: GUWVKV.
20. Чикуров Е.В. Влияние ESG-критериев и ESG-факторов на инвесторов // *Via Scientiarum – Дорога знаний*. 2023. № 3. С. 137–141. EDN: BZGHMA.

REFERENCES

1. Buallay A. Is Sustainability Reporting (ESG) Associated with Performance? Evidence from The European Banking Sector. *Management of Environmental Quality: An International Journal*. 2019;30(1):98-115. <https://doi.org/10.1108/MEQ-12-2017-0149>.
2. Amel-Zadeh A., Serafeim G. Why and How Investors Use ESG Information: Evidence from a Global Survey. *Financial Analysts Journal*. 2018;74(3):87-103. <https://doi.org/10.2469/faj.v74.n3.2>.
3. Aliyev R.A., Solovyova O.A. Tools for Reducing ESG Risks of Investment Projects in Construction. *Real estate: economics, management*. 2021;3:29–34. (In Russ.). EDN: JCVMQW.
4. Yoshino N., Taghizadeh-Hesary F., Otsuka M. Covid-19 and Optimal Portfolio Selection for Investment in Sustainable Development Goals. *Finance Research Letters*. 2021;38:1-6. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101695>.
5. Chub A.A., Budyanu K.N. Development of ESG Risk Assessment Indicators On the Example of Fuel and Energy Sector Investment Projects. *Russian Journal of Management*. 2022;10(1):1-20. (In Russ.).
6. Sparkes R., Cowton C.J. The Maturing of Socially Responsible Investment: A Review of Developing Link with Corporate Social Responsibility. *Journal of Business Ethics*. 2004;52(1):45-57. <https://doi.org/10.1023/B:BUSI.0000033106.43260.99>.
7. Chelawat H., Trivedi I.V. Ethical Finance: Trends and Emerging Issues for Research. *International Journal of Business Ethics in Developing Economies*. 2013;2(2):35-42.
8. Ilhan E., Sautner Z., Vilkov G. Carbon Tail Risk. *The Review of Financial Studies*. 2021;34(3):777-799. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3204420>.
9. Bansal R., Ochoa M., Kiku D. Climate Change and Growth Risks. *Climate Change and Growth Risks*.

National Bureau of Economic Research Working Paper Series. 2016;23009:1-39.
<https://doi.org/10.3386/w23009>.

10. Albuquerque R., Koskinen Y., Zhang C. Corporate Social Responsibility and Firm Risk: Theory and Empirical Evidence. *Management Science*. 2019;65(10):4451-4469. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2018.3043>.

11. Pilyugina A.V., Lasunova S.V. Responsible Investment: Approaches to Considering ESG-Factors. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2020;1(2):163-169. (In Russ.). EDN: DLTDR.

12. Shemyakina T.Yu. Application of ESG-Factors in Investment Construction Projects. *Vestnik universiteta*. 2021;3:132-139. (In Russ.). <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2021-3-132-139>. EDN: OOEEZR.

13. Barysheva A.E. Environmental, Social, And Governance Factors as A Part of the Investment Strategy. *Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Natural and Technical Sciences*. 2021;4:80-86. (In Russ.). <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2021.04.06>. EDN: EDVHNO.

14. Smirnov N.A., Anikina Yu.A., Rozhnov I.P. *ESG Factors as The Basis for Sustainable Development of an Enterprise*. M.: Scientific Publishing Center INFRA-M, 2021. 161 p. (In Russ.). EDN: YIQGPP.

15. Safronov S.B. ESG Factors - Risks and Opportunities. *Modern Management Technology*. 2022;1(97):1-8. (In Russ.). EDN: JINHLJ.

16. Grigoryeva E.M., Didigov D.R. Experience and Application of ESG-Factors to Promote the Principles of Responsible Investing. *Financial Economy*. 2022;5:25-32. (In Russ.). EDN: ATEYKK.

17. Kamalova A.O., Taibova R.A. ESG-Criteria and ESG-Factors in Investment Policy. *Business. Education. Law*. 2022;4(61):208-212. (In Russ.). <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2022.61.480>. EDN: RMCONS.

18. Lisyansky D.A., Lebedeva M.E. Trends in The Regulation of ESG Factors. In: *XXII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Smirnovskie chteniya – 2023»*. *Sbornik materialov XXII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Smirnovskie chteniya – 2023» = XXII International Scientific and Practical Conference “Smirnov Readings – 2023”*. Collection of Materials of The XXII International Scientific and Practical Conference “Smirnov Readings – 2023”. 22–24 March 2023, Saint Petersburg. Saint Petersburg, 2023. p. 224–230. (In Russ.). EDN: AJQOTA.

19. Lebedeva M.E., Kruglova I.A., Lisyanskiy D.A. International and Domestic Trends in The Regulation of ESG Factors. *World of Economics and Management*. 2023;23(2):37-51. (In Russ.). <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2023-23-2-37-51>. EDN: GUWVKV.

20. Chikurov E.V. Impact of ESG-Criteria and ESG-Factors On Investors. *Via Scientiarum – Doroga znanii*. 2023;3:137-141. (In Russ.). EDN: BZGHMA.

Информация об авторах

Information about the authors

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>
Autor ID: 505831

Maria V. Matveeva,

Dr. Sci. (Econ.), Professor,
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
<https://orcid.org/0000-0002-9390-5444>
Autor ID: 505831

Пешков Виталий Владимирович,

д.э.н., профессор,
директор института архитектуры,
строительства и дизайна,
заведующий кафедрой экспертизы
и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: pvv@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-7999-0999>
Autor ID: 502473

Vitaly V. Peshkov,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Director of the Institute of Architecture,
Construction and Design,
Head of the Department of Real Estate
Expertise and Management,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: pvv@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-7999-0999>
Autor ID: 502473

Козьма Мария Валентиновна,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
✉e-mail: qween.lin@mail.ru.
<https://orcid.org/0009-0003-2257-7935>
Author ID: 1260584

Maria V. Kozma,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉e-mail: qween.lin@mail.ru.
<https://orcid.org/0009-0003-2257-7935>
Author ID: 1260584

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.

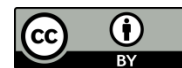
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 23.05.2024.
Одобрена после рецензирования 20.06.2024.
Принята к публикации 24.06.2024.

Information about the article

The article was submitted 23.05.2024.
Approved after reviewing 20.06.2024.
Accepted for publication 24.06.2024.



Estimation of inflow discharge to Lake Baikal at upstream section using different satellite-based precipitation and runoff datasets from Upper Angara and Kichera River basins in East Siberia, Russia

Agegnehu K. Yoshe^{✉1,3}, Ekaterina N. Sutyryna²,
Victor R. Chupin³, Igor Yu. Shelekhov³

¹Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

³Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. Accurate basin-level river discharge estimation is of vital importance across various fields, including water resources, climate change, natural hazards, biodiversity, and energy production. Normally, gauging stations are deemed the most reliable data source for measuring river discharge. However, a significant proportion of the world's rivers remain ungauged due to a combination of technical, economic, and political constraints. Encouragingly, recent advancements in remote sensing and satellite observation have opened new avenues for global river discharge monitoring, even in ungauged basins, and the availability of extensive datasets and advancements in computing technologies have facilitated the development of numerous modern data-driven techniques. The general objective of this study is to estimate inflow discharge to Lake Baikal at upstream section from Upper Angara and Kichera River Basins using different satellite precipitation and runoff datasets. According to the calculation result, a higher discharge was observed for the power dataset. The obtained results were used to mitigate floods, droughts, bridge design, manage urban drainage systems, and manage the lake ecosystem.

Keywords: discharge, runoff, runoff curve number, river basin, remote sensing and satellite dataset

For citation: Yoshe A.K., Sutyryna E.N., Chupin V.R., Shelekhov I.Yu. Estimation of inflow discharge to Lake Baikal at upstream section using different satellite-based precipitation and runoff datasets from Upper Angara and Kichera River basins in East Siberia, Russia. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):487-500. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-487-500>. EDN: MCPXAC.

Научная статья

Оценка расхода притока воды в озеро Байкал на участке выше по течению с использованием различных спутниковых наборов данных об осадках и стоке из верховий бассейнов рек Ангара и Кичера в Восточной Сибири, Россия

А.К. Йоше^{✉1,3}, Е.Н. Сутырина²,
В.Р. Чупин³, И.Ю. Шелехов³

¹Университет Арба Минч, Арба Минч, Эфиопия

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

³Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Точная оценка речного стока на уровне бассейна имеет важное значение в различных областях, включая водные ресурсы, изменение климата, стихийные бедствия, биоразнообразие и производство энергии. Как правило, гидрометрические станции считаются наиболее надежным источником данных для измерения речного стока. Стоит отметить, что значительная часть рек мира остается незаселенной из-за сочетания технических, экономических и политических ограничений. Обнадешивает тот факт, что недавние достижения в области дистанционного зондирования и спутникового наблюдения открыли новые возможности для глобального монито-

© Yoshe A.K., Sutyryna E.N., Chupin V.R., Shelekhov I.Yu., 2024

ринга речного стока даже в неисследованных бассейнах, а наличие обширных наборов данных и достижений в области компьютерных технологий способствовали разработке многочисленных современных методов, основанных на данных. Общей целью данного исследования является оценка притока воды в озеро Байкал в верхнем течении из бассейнов рек Верхняя Ангара и Кичера с использованием различных спутниковых наборов данных об осадках и стоке. Согласно результатам расчетов, для набора данных о мощности наблюдался более высокий расход энергии. Полученные результаты можно использовать для смягчения последствий наводнений, засух, проектирования мостов, управления городскими дренажными системами и экосистемой озер.

Ключевые слова: расход, сток, номер кривой стока, речной бассейн, набор данных дистанционного зондирования и спутников

Для цитирования: Йоше А.К., Сутырина Е.Н., Чупин В.Р., Шелехов И.Ю. Оценка расхода притока воды в озеро Байкал на участке выше по течению с использованием различных спутниковых наборов данных об осадках и стоке из бассейнов рек Ангара и Кичера в Восточной Сибири, Россия // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 487–500. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-487-500>. EDN: MCPXAC.

INTRODUCTION

River discharge measurements are essential for flood management, climate studies, and water resource management. Knowledge of river flow propagation speed, i.e., the time for flows to pass downstream is critical for watershed modeling, flood prediction, and managing reservoirs [1]. Therefore, there is a great need for long-term, continuous, spatially consistent, and readily available discharge data.

River discharges are currently recording at river gauging stations. However, the availability of gauging station records is generally decreasing in most parts of the world, with data for some areas either completely unavailable or difficult to access for timely use in operational flood forecasting and disaster prevention [2].

Inadequate discharge observation has become a major problem in both developing and underdeveloped countries, as a majority of stations are no longer in operation [3].

Due to the existence of stations for water resources assessment worldwide, the commitments of participating countries to initiatives such as the International Hydrological Observations have been seriously decreasing [4].

In addition to the decrease in the number of stations that contribute to the Global Runoff Database, some stations have discontinuous datasets. These data gaps present a challenge for making useful analyses. Furthermore, current data collection efforts are mainly focused on individual development projects in different countries.

This trend has produced a patchwork of datasets that span short periods of time, with restricted spatial coverage and limited availability. The lack of reliable hydrological data is often a limiting factor for irrigation, energy generation, bridges, canals, etc. The management of water

resources in these conditions can be difficult or impracticable.

The past few years there was an unprecedented increase in the number of Earth observation satellite missions with free public distribution of data, which has motivated many scientific researchers to use remote sensing data for hydrological applications [5, 6, 7]. These authors and many more have contributed to proposing and implementing new methods to estimate a number of hydrological variables that can greatly help monitoring the fluvial network and its dynamics. In this sense, remote sensing has become an essential tool to systematically monitor water resources in a synoptic manner while reducing the cost and logistics of in situ measurements.

Upper Angara and Kichera River Basins are river basins located at the upstream of Lake Baikal and serve as a source of water to maintain its sustainable water resources and ecological environment. Due to an increase in population, urbanization, and agricultural development, demand for water was increasing, which affected the availability of the water resources and the ecological environment of the lake.

To understand the current condition of the Upper Angara River Basin, hydrological modeling and predictions are playing a key role in the current scenario of climate change, and have an increasing impact on management decisions, planning, and resilience to future possible scenarios. Remote sensing techniques are significantly contributing to the field of hydrological modeling, bringing new possibilities to collect and assimilate data into hydrological models. For Lake Baikal water resource and ecological management, several assessment studies were carried out in different parts of the lake basin, for example, Borisova and Beshentsev evaluated flood haz-

ards on the Upper Angara River [8], Borisov evaluated the natural and anthropogenic risks in Lake Baikal [9], Tatiana Potemkina et al. [10] evaluated the change in riverine sediment load supply into Lake Baikal. Potemkina, Yaroslavtsev, and Petrov evaluated the hydrological and morphological features of the Upper Angara Mouth Area [11]. However, despite the fact that the Upper Angara River Basin is the most flood-prone region and the floodplain surface is swampy, dissected by channels and dead stream channels-lakes [12, 13], extreme hydrological conditions can affect the development of the area, and understanding the discharge rate of the river basin is very essential. According to the published report, significant damages were caused during the construction of the railroad in 1978-1980, not only due to floods but also to catastrophic mudstone mudflows in the Upper Angara River [14].

The 2019 flood caused the residents of Kumor village to be isolated from the mainland by destroying the road and bridge, causing damage to more than 600 people [14]. From the review of past studies, it is clear that no attempts have been made to estimate the discharge rate for the Upper Angara River Basin using different satellite-based precipitation and runoff datasets for sustainable water resource management and hydrologic predictions.

The general objective of this study is to estimate the inflow discharge to Lake Baikal at upstream section from Upper Angara and Kichera River Basins using different satellite precipitation and runoff datasets. To estimate discharge using the precipitation dataset, the highest rainfall runoff was estimated for the study area using the curve number method by integrating land use, land cover data, hydrologic soil group data, and the moisture condition of the study area. Then, from the estimated runoff and remotely sensed runoff, the discharge of the river basin was estimated during the study period. These estimated discharges are crucial for scientific and rational water resource management, decision-making, and the mitigation of drought risks and flood hazards. Based on the result, the estimated discharge using antecedent moisture condition type one demonstrates the discharge rate during the dry condition of the soil, which is essential for drought monitoring, whereas the estimated discharge using antecedent moisture condition type three shows discharge during the wet condition of the soil, which leads to extreme floods and is used for flood forecasting and mitigation. This study also demonstrates the importance of remote sensing and satellite datasets to estimate the discharge rate of the Upper Angara River Basin and suggests that similar methods could be applied across other river basins.

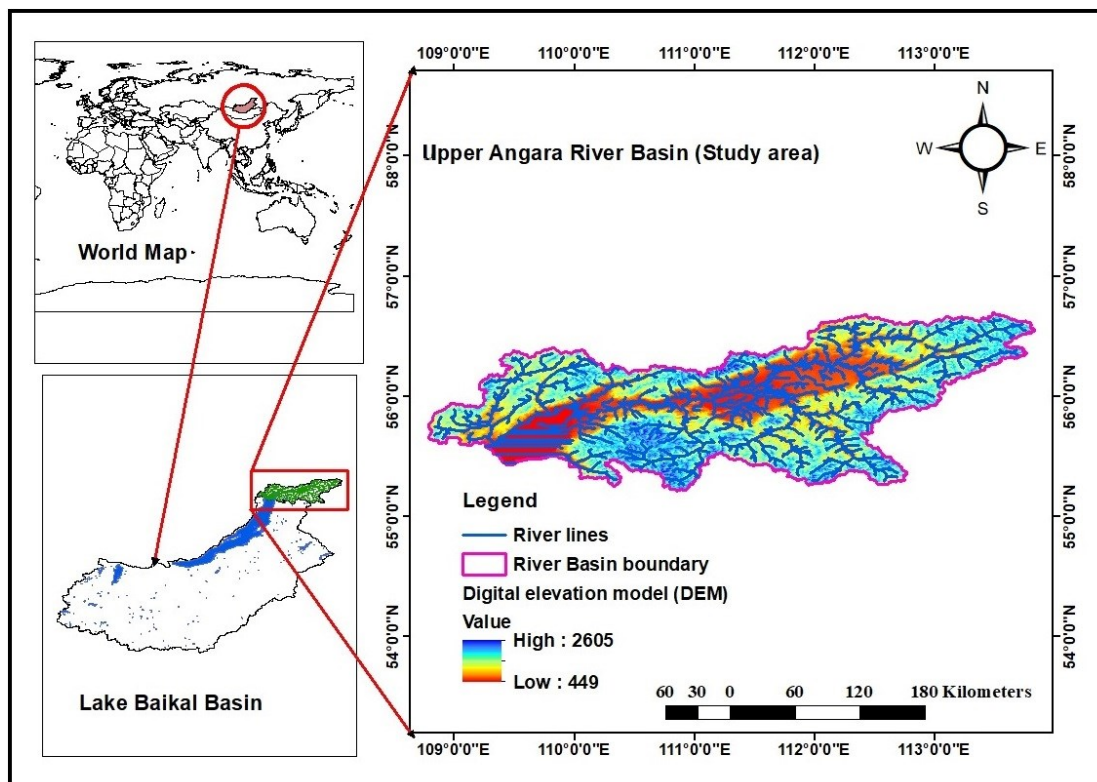


Fig. 1. Study area map
Рис. 1. Карта района исследования

MATERIALS AND METHODS

Description of the study area

The Upper Angara and Kichera River Basins (Fig. 1) are located in Buryatia, Siberia, to the northeast of Lake Baikal, and Upper Angara is the third longest river in the Baikal basin. The length of the Upper Angara River is 438 kilometers, with a drainage area of 27947 square kilometers estimated by using the QGIS model application. It is a vital source of sediment for Lake Baikal Basin and a source of flood for Kumora village and Verkhnyaya Zaimka settlement. It originates at the junction of the North-Muya and Delyun-Uransky ranges at an altitude ranging from 449 to 2605 m above sea level. Kichera River basin and Upper Angara River basin share the same elevation, due to that, in this study, one outlet was considered for the two river basins at the end and its discharge at the outlet point.

The terrain is characterized by mountains in the upstream regions and plains in the lower reaches. The average annual precipitation ranges from 242,6 mm to 744,2 mm; the annual maximum temperature ranges from 23,76 to 30,01 °C; and the average minimum temperature ranges from -34,64 to -48,66 °C. The interannual distribution of precipitation is uneven and mainly concentrated from May to September. Frequent heavy rain in the summer is the main contributor to flood disasters in the middle reaches of the Upper Angara River Basin.

Data

Different precipitation and runoff data products were collected from various remote sensing and satellite data products. 1. Precipitation and temperature data are collected from the Power-project data products, which provides access to community-based analysis-ready data (ARD) for meteorology and solar-related parameters, specifically formulated for assessing and designing renewable energy systems and water resource monitoring. The data are available at the source models (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) based on the latitude and longitude of any location. The temporal data levels include Hourly, Daily, Monthly, Annual, and climatological ones. 2. For the Water Balance App, different data sets are collected, which includes soil moisture, precipitation, snow water storage, runoff, and evapotranspiration change in water storage. The datasets are available from 2000 to 2022 (<https://livingatlas.arcgis.com/waterbalance/>). 3. TerraClimate data set is a high spatial and temporal resolution remote sensing data set+. It is a dataset of monthly climate and climatic water balance for global terrestrial surfaces, which includes accumulated precipitation, actual evapo-

transpiration, temperature, runoff, climate water deficit, soil moisture, potential evapotranspiration, etc.

(<https://www.climatologylab.org/terraclimate.html>)

4. Soil data are collected from Harmonized World Soil Database (DSMW) (<https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>). 5. Land use and land cover data was extracted from Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover Time series. The map is derived from ESA Sentinel-2 imagery and is a composite of land use and land cover predictions for 9 classes for each year from 2017 to 2021. The datasets are available with cell size of 1010m (<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>). 6. Digital elevation model datasets and slope data was extracted from NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (<https://opentopography.org>).

Method

According to Borisova and Beshentsev [9], the hydrological study of the Northern Baikal rivers is at a very poor level, with only four hydrological stations, two of which being level gauges. An observation point in Verkhnyaya Zaimka settlement was established in 1932, and others were opened much later during the railroad construction period and are currently inactive. For the purpose of the present study a standard set of various hydrological data sets from different remote sensing and satellite observation datasets were collected using machine learning techniques to process hydrological information for accepted periods of time, methods of analysis, systematization, and geographical generalizations. For river basin delineation, soil map interpretation, land use, land cover development, slope generation, and area calculation, QGIS and ArcGIS application software were used.

Hydrological analysis

The ArcGIS 10.4 software was used to extract a channel network, delineate river basins, and calculate the areas of river basins. First, DEM was uploaded and loaded into ArcGIS, and then to remove sinks in a surface raster, a geoprocessing tool called «FILL» was used to remove small imperfections in the data. Then, a flow direction geoprocessing tool was used to create a raster of flow direction from each cell to its steepest downslope neighbor. Then, a flow accumulation geoprocessing tool was used to create a raster of accumulated flow in each cell. Using the raster calculator algorithm, the logarithm of the river basin area was calculated. Thus, the area of the river basin could be used to set a threshold for channel initiation using the

channel network algorithm, and the accumulation of stream lines was evaluated, converted to polylines using conversion tool analysis, and clipped to the area of interest. The basin geoprocessing tool was used to create a raster delineating all drainage basins of the river, and the conversion tool was used to convert the created raster drainage basin to a polygon and clip it to the study area (Fig. 1).

Area calculation

To calculate area of the study basin, the delineated river basin shape file, projection and transformation were carried out from Geographic coordinate system WGS 1984 to projection coordinate system UTM Z48, WGS 84, then combined area for Upper Angara and Kichera River basin was estimated using QGIS 3.26.0. The total area estimated for was 27947000000.000 decimal number (real) or 27947 square kilometers, 27947000000 square meters.

Soil map, land use and land cover, slope preparation

After the river basin was delineated, the composite curve number for the river basin was estimated from soil thematic maps and land use and

land cover. The soil data collected from the Harmonized World Soil Database is clipped to the study area using ArcGIS, and then the textural class and hydrological soil group of the study area are identified using Mapwindow software. The study identified two hydrologic groups of the soil (C and D), as presented in Figure 2(C). Land use type is one of the important parameters that affects runoff contribution, and the data on land use and land cover was extracted from Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover Timeseries, then clipped to the study area using the ArcGIS application software. The study area of land use/ land cover was grouped into 7 land class types, which include water bodies, trees, snow/ice cover, rangeland, built areas, bare ground, and flooded land surfaces (Fig. 2D). To develop a slope map, the digital elevation model for the study area was extracted using a simple geoprocessing tool that identifies the slope (rate of maximum change in z-value) from each cell. The study area slope ranges from 0,328 to 80,6 percent, which manages the speed of water flow in an area. By integrating the thematic layers, the curve number value for the study area was evaluated.

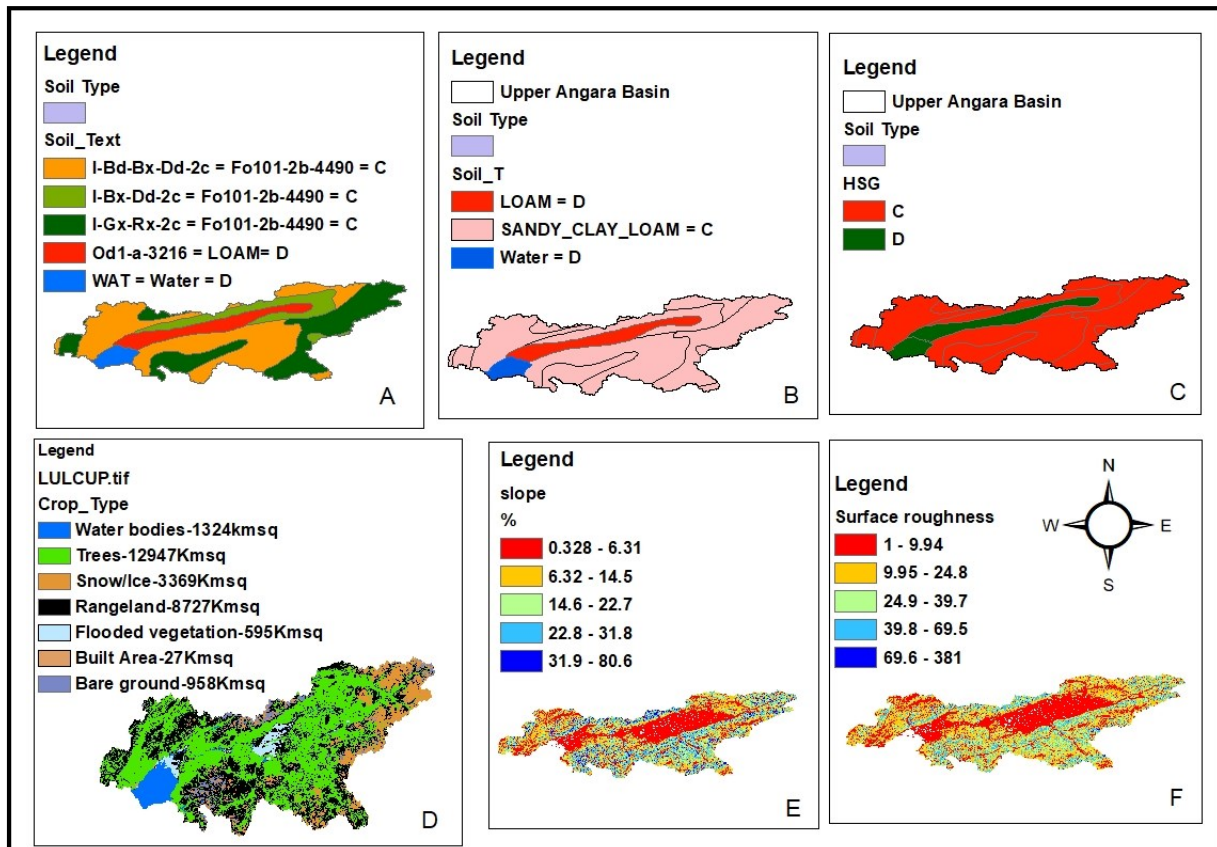


Fig. 2. Different hydrological data sets for the study area: A–C) soil data,

D) land use and land cover data, E) slope map and F) surface roughness

Рис. 2. Различные наборы гидрологических данных для исследуемой территории:

A–C) данные о почве, D) данные о землепользовании и растительном покрове,

E) карта склонов и F) шероховатость поверхности

SCS-CN runoff estimation

Runoff was estimated using the SCS Runoff CN method, which relies on a composite curve number of an average antecedent moisture condition assigned to each sub-basin and rainfall depth in the area. The method incorporated the runoff properties of the catchment by integrating soil and land use information for an average antecedent moisture condition. Determining the Curve Number: for each catchment, the runoff

properties were characterized by an empirical curve number derived from the soil and ground cover. The soil parameter was defined by the hydrologic soil group (HSG), determined by the soil texture. The HSG for the different soil textures is presented in Table 1. The curve number for an average antecedent moisture condition for the different soil and ground cover combinations of the study area was determined based on the classifications in Table 2.

Table 1. Hydrologic Soil Group Description [15]

Таблица 1. Описание гидрологической группы почв [15]

Soil Group	Description
A	Sand, loamy sand or sandy loam
B	Silt loam or loam
C	Sandy clay loam
D	Clay Loam, silty clay loam, sandy clay, silty

Table 2. Curve numbers for land cover classes and soil groups

Таблица 2. Номера кривых для классов растительного покрова и групп почв

Land Use/ Land Cover	Hydrologic Soil Group Curve Numbers			
	A	B	C	D
Annual Crop	67	78	85	88
Brush/Shrubs	30	48	65	73
Fishpond	99	99	99	99
Built-up	89	92	94	93
Grassland	30	58	71	78
Inland Water	99	99	99	99
Mangrove Forest	98	98	98	98
Marshland/Swamp	72	81	88	91
Open Forest	36	60	79	79
Open/Barren	63	77	85	88
Perennial Crop	45	66	77	83

To determine a composite curve number for each catchment, curve number weighing, the process of summing the product of the curve numbers and its fraction of the total catchment area was performed.

This procedure was defined by the equation [20]:

$$CN_w = \sum_{i=1}^n CN_i * \frac{S_i}{S}, \quad (1)$$

where CN_w = weighted curve number,

S_i = area with the curve number, CN_i &

S = total area of the catchment.

The composite curve number was derived by rounding the CN_w off to the nearest whole number. To calibrate the average condition curve number to a saturated condition, the following equation were used

$$CNI = \frac{4.2 \times CN_{II}}{10 - 0.058 \times CN_{II}}, \quad (2)$$

$$CN_{III} = \frac{23 \times CNI}{10 + 0.13 \times CNI}, \quad (3)$$

where CN_{II} is the curve number for normal conditions, CNI is the curve number for dry conditions, and CN_{III} is the curve number for heavy rain and saturated soils.

Table 3. Categorization of antecedent moisture condition

Таблица 3. Классификация предшествующих условий влажности

AMC label	Assessment of soil condition	Total five-day antecedent rainfall(mm)	
		Dormant season	Growing season
I	The soil is dry, not to the point of withering	Less than 13	Less than 36
II	Normal condition	13 to 28	36 to 53
III	Heavy rains and saturated soils	Greater than 28	Greater than 53

Runoff evaluation

The estimating runoff using SCS runoff CN method was calculated using the following equation [15]:

$$Ro = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+R} \quad (4)$$

where Ro = runoff in mm, P = rainfall in mm, R = potential maximum retention in mm, I_a is initial abstraction.

The equation was performed when the precipitation depth was greater than the initial abstraction, otherwise runoff (Ro) was equated to zero.

Initial abstraction (I_a) shows all the losses before the beginning of runoff. It was evaluated through equation as follows:

$$I_a = 0,2R \quad (5)$$

where I_a is initial abstraction loss, R is potential maximum retention.

The potential maximum retention R was related to the curve number of the river basin. This relationship was defined by the equation

$$R = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6)$$

where R is potential maximum retention in mm and CN is curve number.

Discharge estimation

Discharge (or flow rate) refers to the volumetric amount of water carried by a body of water per unit of time and is commonly expressed in units of cubic meters per second (cms). Environmental factors such as precipitation, gradient (slope), available groundwater supply, soil type, and vegetation can all affect the magnitude of discharge within a stream or river.

Anthropogenic or human-caused factors that affect discharge include dam installation, water diversion, urban development, groundwater withdrawals, or other land-use practices such as forestry or agriculture. Researchers monitor discharge in streams and rivers for a wide variety of applications that include forecasting extreme weather events (such as floods or droughts) or understanding changes in ecological parameters like water quality or biological habitat. There are different methods used to estimate drainage in a river basin. This study is based on available precipitation and runoff data from different satellite datasets,

$$h = \frac{1000 \cdot t \cdot Q}{S} \quad (7)$$

where h is runoff in mm, t is the duration of the calculation period in seconds (if the runoff layer is determined for a year, then this is the number of seconds per year), Q is the average discharge over the study period in cubic meters per second, S is the catchment area in square

meters, and 1000 is a multiplier for converting m to mm.

$$Q = \frac{S \cdot h}{t \cdot 1000} \quad (8)$$

Results and discussion

In this study, inflow discharge to Lake Baikal at upstream section from Upper Angara and Kichera River Basins in East Siberia was evaluated using different satellite-based precipitation and runoff datasets. To estimate discharge rate analysis of available precipitation, runoff, land use, land cover, hydrologic soil group, slope, surface roughness data sets were processed, made the necessary corrections and integrated together to generate curve number of the study area to develop runoff depth. Based on the finding, the study area has two hydrological soil group (C and D) which covers 79,2 and 20,8 % of total area respectively with the textural class of loam soil, water and sandy clay loam. The land use classification was carried out using supervised classification and the study area has 8 land classes such as water, trees, flooded vegetation, built area, bare ground, snow/ice, and rangeland with percentage area of 4,74, 46,33, 2,13, 0,1, 3,43, 12,05, 31,23 and 31,23 % respectively. Based on soil texture with its land use and land cover, curve number was assigned to each land use type to estimate curve number value for normal condition using equation 1, and the using equation 2 and 3, curve number for antecedent moisture condition for type I and III was evaluated presented in Table 4, according to the estimation of curve number for study area, the value of curve number for antecedent moisture condition type I, II, and III are 56,21, 75,4, 87,6 respectively. The potential maximum retention and initial abstraction losses before the beginning of runoff for each antecedent moisture condition was evaluated using equation 6 and 5 respectively. The result of the potential maximum retention was 197,7, 83,11 and 36,13 respectively, whereas the initial abstraction losses was 39,6, 16,62 and 7,23 respectively for antecedent moisture condition type I, II, and III for the study area. Runoff is the proportion of rainfall that does not infiltrate and is not taken up by evapotranspiration. Precipitation serves as an important source of water and is one of the fundamental components of hydrology. Moreover, rainfall runoff creation is affected by the precipitation in the area. So, when precipitation is high, there is a corresponding increase in surface runoff. However, characteristics of the surface, like land use type and the textural

class of the soil, can affect rainfall runoff either directly or indirectly.

For this study, three precipitation data products from power access data source, TerraCli-

mate data source and water balance application precipitation datasets are used to examine runoff and discharge of the study area for the time frame of the study.

Table 4. Characteristics of land cover, hydrological soil group and curve number

Таблица 4. Характеристики растительного покрова, гидрологическая группа почв и номер кривой

Crop type	HSG	Curve Number	Area coverage in Sqkm	% area	CN _i *A _i	
Water	D	80	1324	4,74	105920	CNI = 56,21 CNII = 75,40 CNIII = 87,60
Trees	C	74	12947	46,33	958078	
Flooded vegetation	D	80	595	2,13	47600	
Built Area	D	80	27	0,10	2160	
Bare ground	D	80	958	3,43	76640	
Snow/Ice	D	80	3369	12,05	269520	
Rangeland	C	74	8727	31,23	645798	
Total area			27947	100,00	2105716	

Runoff estimation from different precipitation datasets

The CN-Rainfall runoff model represents the hydrological modeling that was applied to simulate the runoff from selected precipitation events using different set of hydrologic parameters. For this study, three rainfall distributions from remote sensing and satellite information datasets were used to estimate daily, monthly and annual runoff for the study area and compared with two runoff datasets extracted from different satellite information using machine learning. The result for surface runoff using CN has the potential of runoff estimation. Under the same precipitation condition, low CN value means that the surface has a high potential to retain water, whereas high value means that the rainfall can be stored by the land surface only to a small extent. Therefore, areas with high CN value will produce a large amount of direct runoff and thereby contribute strongly to the flood peak. According to the calculation the estimated runoff using water balance precipitation dataset ranges from 188,6 to 492,7 mm, 265,7 to 593,2 mm and 308,9 to 642,2 mm for dry, normal and wet soil moisture condition respectively with average runoff ranging from 254,4 to 576,0 mm. The estimated runoff using TerraClimate dataset ranges between 165,0 to 374,4, 238,9 to 468,5 mm and 281,1 to 516,0 mm for dry, normal and wet soil moisture condition respectively having an average ranging between 228,3 to 453,0 mm. The result obtained using power dataset was ranging between 102,8 to 550,1 mm, 165,2 to 653,0, 204,0 to 702,6 mm for dry, normal and wet soil moisture condition respectively having an average ranging between 157,3 to 635,22 mm during the study period. The

maximum runoff was obtained for power dataset and was recommended for flood monitoring and mitigation. According to Borisova and Beshentsev, the runoff during the high-water period averages 45–55 % of the annual runoff and our finding also agrees with this study [9].

Estimation river discharge from the estimated runoff

In this study inflow discharge to Lake Baikal at upstream section from Upper Angara and Kichera River Basins was estimated using different satellite observation precipitation data sets for Upper Angara River basin in East Siberia region of Russia, using equation 8 from the estimated runoff, using integrated dataset of satellite observations considering three moisture condition of the soil (dry, normal and wet) and presented in Table 6. According to the calculation, the estimated discharge, using water balance precipitation dataset ranges between 91,1 to 487,5, 146,4 to 578,7 and 180,8 to 622,6 in cubic meters per second for dry, normal and wet soil moisture condition respectively, with average discharge ranging from 139,4 to 562,9 in cubic meters per second. The estimated discharge using TerraClimate dataset ranges between 146,2 to 331,8, 211,7 to 415,2 and 249,1 to 457,3 in cubic meters per second for dry, normal and wet soil moisture condition respectively having an average ranging from 202,4 to 401,4 in cubic meters per second. The result obtained using power dataset was ranging between 167,1 to 436,7, 235,5 to 525,7, and from 273,8 to 569,1 in cubic meters per second for dry, normal and wet soil moisture condition respectively having an average ranging between 225,4 to 510,5 in cubic meters per second during the study period.

Table 5. Estimated runoff for Upper Angara River basin

Таблица 5. Расчетный сток для бассейна реки Верхняя Ангара

Year	Runoff from water balance precipitation dataset (RO ₁ for AMC-I)	Runoff from water balance precipitation dataset (RO ₂ for AMC-II)	Runoff from water balance precipitation dataset (RO ₃ for AMC-III)	Runoff from Terra-Climate Precipitation (RO ₁ for AMC-I)	Runoff from Terra-Climate Precipitation (RO ₂ for AMC-II)	Runoff from Terra-Climate Precipitation (RO ₃ for AMC-III)	Runoff from power Precipitation (RO ₁ for AMC-I)	Runoff from power Precipitation (RO ₂ for AMC-II)	Runoff from power Precipitation (RO ₃ for AMC-III)
2000	297,7	386,2	432,4	337,3	42,9	475,8	215,0	295,4	339,5
2001	319,8	410,1	45,7	324,0	414,6	461,3	205,9	285,3	329,1
2002	309,6	399,1	445,5	291,2	370,2	425,2	179,0	254,9	297,7
2003	274,7	361,3	407,0	209,5	289,3	333,2	119,0	184,9	224,8
2004	317,8	408,0	454,5	305,5	394,7	441,1	247,2	331,2	376,2
2005	272,1	358,4	404,0	252,7	337,2	382,3	210,4	290,4	334,3
2006	280,4	367,4	413,2	269,8	355,9	401,4	233,3	315,8	360,5
2007	286,2	373,8	419,7	296,9	385,4	431,5	219,6	300,5	344,8
2008	319,2	409,5	456,1	374,4	468,5	516,0	342,1	434,1	481,1
2009	301,6	390,5	436,8	326,9	417,8	464,5	284,8	372,2	418,1
2010	279,3	366,3	412,1	309,7	399,3	445,7	294,2	382,5	428,6
2011	237,1	320,0	364,7	233,1	315,6	360,2	183,4	259,9	302,9
2012	291,5	379,6	425,6	280,1	367,1	412,9	251,9	336,3	381,4
2013	278,4	365,3	411,0	333,8	425,2	472,1	148,4	219,7	261,2
2014	245,1	328,9	373,8	211,5	291,6	335,5	219,6	300,5	344,8
2015	188,6	26,7	308,9	201,3	280,1	323,8	183,4	259,9	302,9
2016	337,8	429,4	476,4	205,9	285,3	329,1	102,8	165,2	204,0
2017	429,6	526,9	575,2	229,1	311,1	355,6	215,0	295,4	339,5
2018	401,1	496,8	544,7	302,4	391,4	437,6	289,5	377,4	423,4
2019	492,7	593,2	642,2	165,0	238,9	281,1	196,9	275,1	318,6
2020	322,9	413,4	460,1	308,4	397,8	444,2	303,8	392,8	439,1
2021	286,1	373,7	419,6	253,7	338,3	383,5	291,2	379,2	425,3
2022	382,1	476,7	524,4	320,4	410,8	457,4	550,1	653,0	702,6

Potemkina and Potemkin [16] evaluated the sediment load of the main rivers of Lake Baikal in a changing environment. They used the largest rivers by length, water, and sediment load for Selenga, Upper Angara, and Barguzin. According to their report, the discharge rate of the Upper Angara River Basin is 8,44 cubic kilometers per year, which is equal to 267,63 cubic meters per second. Tatiana Potemkina, Ekaterina Sutyryna, and Vladimir Potemkin [17] evaluated the change of the riverine sediment load into Lake Baikal and reported that the annual discharge of the Upper Angara River basin was 8,76 cubic kilometers per

year, which is equal to 277,78 cubic meters per second from 1974 to 2011. As presented in Table 6, the obtained result was similar to the findings conducted by Potemkina and Potemkin [16], Tatiana Potemkina, Ekaterina Sutyryna, and Vladimir Potemkin [17] with little variation. The variation of the discharge for this study was due to the area used during the study. The area used by Potemkina and Potemkin [16], Tatiana Potemkina, Ekaterina Sutyryna, and Vladimir Potemkin [17] was 21,400 km², but for our study based on the water shed delineation area obtained for Upper Angara, it was 27947 square kilometers. The

variation in the result was also due to the uncertainty of the different data sets, including land use and land cover change, soil properties, climatic change, anthropogenic activity, and other water balance components, which were confirmed by similar factors[18, 19, 20]. The study area is also very sensitive to flood hazards. Different extreme floods occurred in 1933, 1936, 1951, 1952, 1956, 1960, 1962, 1977, 1978, 1980, 1982, 1994, 2007, and 2019 and were registered on the right-bank and on the left-bank of the Upper Angara river basin [8, 12, 20]. Accurate river basin discharge estimation is crucial for advancing our scientific understanding of the water cycle and supporting various downstream users and environmental conditions. It is crucial for many activities, ranging from the management of water resources to flood

risk mitigation. Due to the limitations of the in situ stations (e.g., low station density, incomplete temporal coverage as well as delays in data access), the river discharge is not always continuously monitored in time and in space. Human-caused climate change is influencing factors that contribute to flood risk such as rainfall extremes and soil moisture, and there is a need for updated flood guidance.

The result for wet soil moisture condition was very essential for flood risk reduction measures which can be exercised through the construction of flood mitigation structures, zoning and development controls, and non-structural measures to better respond to floods and result of dry condition was essential for drought monitoring during dry season.

Table 6. Inflow discharge to Lake Baikal at upstream section from Upper Angara and Kichera River Basins

Таблица 6. Сток притоков в озеро Байкал в верхнем течении из бассейнов рек Верхняя Ангара и Кичера

Year	Discharge from power dataset (Q1)	Discharge from power dataset (Q2)	Discharge from power dataset (Q3)	Discharge from TerraClimate (Q1)	Discharge from TerraClimate (Q2)	Discharge from TerraClimate (Q3)	Discharge (Q1) from water balance	Discharge (Q2) from water balance	Discharge (Q3) from water balance
2000	190,5	261,8	300,9	298,9	380,1	421,6	263,8	342,3	383,2
2001	182,5	252,8	291,6	287,1	367,4	408,8	283,4	363,4	404,7
2002	158,6	225,9	263,8	258,0	336,0	376,8	274,4	353,7	394,8
2003	105,4	163,8	199,2	185,6	256,4	295,3	243,4	320,2	360,6
2004	219,1	293,5	333,4	270,8	349,8	390,9	281,6	361,5	402,8
2005	186,5	257,3	296,2	223,9	298,8	338,8	241,1	317,6	358,0
2006	206,8	279,9	319,4	239,1	315,4	355,7	248,5	325,6	366,2
2007	194,6	266,3	305,5	263,1	341,5	382,4	253,6	331,2	371,9
2008	303,2	384,7	426,3	331,8	415,2	457,3	282,9	362,9	404,1
2009	252,3	329,8	370,5	289,7	370,2	411,6	267,3	346,1	387,0
2010	260,8	339,0	379,8	274,5	353,8	394,9	247,5	324,6	365,2
2011	162,6	230,3	268,4	206,6	279,7	319,2	210,1	283,5	323,2
2012	223,2	298,0	338,0	248,2	325,3	365,9	258,3	336,4	377,2
2013	131,5	194,7	231,5	295,9	376,8	418,3	246,7	323,7	364,3
2014	194,6	266,3	305,5	187,4	258,4	297,3	217,2	291,4	331,3
2015	162,6	230,3	268,4	178,4	248,3	286,9	167,1	235,5	273,8
2016	91,1	146,4	180,8	182,5	252,8	291,6	299,3	380,6	422,1
2017	190,5	261,8	300,9	203,0	275,7	315,1	380,7	467,0	509,7
2018	256,5	334,4	375,2	268,0	346,8	387,8	355,4	440,2	482,7
2019	174,5	243,8	282,3	146,2	211,7	249,1	436,7	525,7	569,1
2020	269,2	348,1	389,1	273,3	352,5	393,7	286,1	366,4	407,7
2021	258,1	336,1	376,9	224,9	299,8	339,9	253,6	331,2	371,9
2022	487,5	578,7	622,6	284,0	364,0	405,3	338,7	422,5	464,7

CONCLUSION

This research investigates inflow discharge to Lake Baikal at upstream section from Upper Angara and Kichera River Basins using different satellite precipitation dataset and surface runoff. A standard set of different hydrological data sets was collected from different remote sensing and satellite observation data sets using machine learning techniques for processing hydrological information for accepted time periods. Methods of analysis, systematization, and geographical generalizations were carried out during the study period. The boundary of the river basin was delineated, and the area was calculated using QGIS 3.26. The drainage area estimated in this study is 27947 square kilometers. The study area for land use and land cover was grouped into water bodies, trees, snow/ice cover, rangeland, built areas, bare ground, and flooded land surfaces, and the

slope of the area ranges from 0.328 to 80.6 per cent. By integrating the thematic layers, the curve number value for the study area was evaluated. Then the potential maximum retention and initial abstraction loss were estimated. After all, runoff for each antecedent moisture condition and precipitation of the year was evaluated. Finally, the discharge of the river basin was evaluated for the study area from 2012 to 2022.

The average discharge rate for the calculation result of the three precipitation datasets ranges between 139,4–562, 9, 202,4–401,4, and 225,4–510,5 cubic meters per second for the water balance app, Terra-climate, and power data access, respectively.

The estimated result was essential to mitigating floods, droughts, bridge design, urban drainage systems, the lake ecosystem, water resource management, and climatic change.

REFERENCES

1. Brakenridge G.R., Cohen S., Kettner A.J., De Groeve T., Nghiem S.V., Syvitski J.P.M. [et al.] Calibration of Satellite Measurements of River Discharge Using a Global Hydrology Model. *Journal of Hydrology*. 2012;475:123-136. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.035>.
2. Aiguo Dai, Taotao Qian, Trenberth K.E., Milliman J.D. Changes in Continental Freshwater Discharge from 1948 To 2004. *Journal of Climate*. 2009;22(10):2773-2792. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2592.1>.
3. Calmant S., Seyler F. Continental Surface Waters from Satellite Altimetry. *Comptes Rendus. Geoscience*. 2006;338(14–15):1113-1122. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.05.012>.
4. Vörösmarty, C., Askew A., Grabs W., Barry R.G., Birkett C., Döll P. [et al.] Global Water Data: A Newly Endangered Species. *Eos. Transactions American Geophysical Union*. 2006;82(5):54-58. <https://doi.org/10.1029/01EO00031>.
5. Tarpanelli A., Santi E., Tourian M.J., Filippucci P., Amarnath G., Brocca L. Daily River Discharge Estimates by Merging Satellite Optical Sensors and Radar Altimetry Through Artificial Neural Network. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2019;57(1):329-341. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2854625>.
6. Pekel J.F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S. High-Resolution Mapping of Global Surface Water and Its Long-Term Changes. *Nature*. 2016;540:418-422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>.
7. de Oliveira L.M., Maillard P., de Andrade Pinto E.J. Application of A Land Cover Pollution Index to Model Non-Point Pollution Sources in A Brazilian Watershed. *Catena*. 2017;150:124-132. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.015>.
8. Borisova T.A., Beshentsev A.N. Flood hazard on the Upper Angara river. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;885:1-6. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/885/1/012036>.
9. Borisova T.A. *Natural-Anthropogenous Risks in The Baikal Lake Basin*. Novosibirsk: Geo, 2013. 126 p. (In Russ). EDN: SXQNMNR.
10. Potemkina T.G., Sutyryna E.N., Potemkin V.L. Changing of The Riverine Sediment Load Supply into Lake Baikal: The Natural and Anthropogenic Causes (Russia). *Quaternary International*. 2019;524:57-66. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.04.027>. EDN: NEYTWL.
11. Potemkina T.G., Yaroslavtsev N.A., Petrov V.A. Hydrological and Morphological Features of the Upper Angara Mouth Area. *Water Resources*. 2012;39(4):366–374. (In Russ). <http://doi.org/10.1134/S0097807812030086>. EDN: OZKFNR.
12. Vas'kovskii M.G. *Surface Water Resources of The USSR*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973–1978. 400 p. (In Russ).
13. Abalakov A.D., Arguchintsev V.K., Arguchintseva A.V., Akhtimankina A.V., Avirmed E., Alekseev S.P. [et al.] *Ecological Atlas of the Lake Baikal Basin*. Irkutsk: Institute of Geography Named After. V.B. Sochavy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2015. 145 p. (In Russ). EDN: UEDSFT.
14. Razumov V.V., Kachanov S.A., Razumova N.V., Chirikov A.G., Shagin S.I., Bekkiev M.Yu. [et al.] *The Extent and Risk of Floods in The Regions of Russia*. Moscow: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2018. 364 p. (In Russ). EDN: XQQAJV.

15. Potemkina, T.G., Potemkin, V.L. Sediment Load Of the Main Rivers of Lake Baikal in A Changing Environment (East Siberia, Russia). *Quaternary International*. 2015;380–381:342–349. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.08.029>.
16. Potemkina T.G., Sutyryna E.N., Potemkin V.L. Changing of The Riverine Sediment Load Supply into Lake Baikal: The Natural and Anthropogenic Causes (Russia). *Quaternary International*. 2019;524:57–66. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.04.027>.
17. Yoshe A.K. Water Availability Identification from GRACE Dataset and GLDAS Hydrological Model Over Data-Scarce River Basins of Ethiopia. *Hydrological Sciences Journal*. 2024;69(6):721–745. <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2333852>.
18. Alfieri L., Lorini V., Hirpa F.A., Harrigan S., Zsoter E., Prudhomme C. [et al.] A Global Streamflow Reanalysis for 1980–2018. *Journal of Hydrology X*. 2020;6:1–12. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100049>.
19. Tadd Bindas, Wen-Ping Tsai, Jiangtao Liu, Farshid Rahmani, Dapeng Feng, Yuchen Bian [et al.] Improving Large-Basin Streamflow Simulation Using a Modular, Differentiable, Learnable Graph Model for Routing. *Hydrology*. 2022;1–37. <https://doi.org/10.1002/essoar.10512512.1>.
20. Verkhoturova L.A. *Long-Term Data On the Regime and Resources of Land Surface Waters*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986. 361 p. (In Russ).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Brakenridge G.R., Cohen S., Kettner A.J., De Groeve T., Nghiem S.V., Syvitski J.P.M. [et al.] Calibration of Satellite Measurements of River Discharge Using a Global Hydrology Model // *Journal of Hydrology*. 2012. Vol. 475. P. 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.035>.
2. Aiguo Dai, Taotao Qian, Trenberth K.E., Milliman J.D. Changes in Continental Freshwater Discharge from 1948 To 2004 // *Journal of Climate*. 2009. Vol. 22. Iss. 10. P. 2773–2792. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2592.1>.
3. Calmant S., Seyler F. Continental Surface Waters from Satellite Altimetry // *Comptes Rendus. Geoscience*. 2006. Vol. 338. Iss. 14–15. P. 1113–1122. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.05.012>.
4. Vörösmarty, C., Askew A., Grabs W., Barry R.G., Birkett C., Döll P. [et al.] Global Water Data: A Newly Endangered Species // *Eos. Transactions American Geophysical Union*. 2006. Vol. 82. Iss. 5. P. 54–58. <https://doi.org/10.1029/01EO00031>.
5. Tarpanelli A., Santi E., Tourian M.J., Filippucci P., Amarnath G., Brocca L. Daily River Discharge Estimates by Merging Satellite Optical Sensors and Radar Altimetry Through Artificial Neural Network // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2019. Vol. 57. Iss. 1. P. 329–341. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2854625>.
6. Pekel J.F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S. High-Resolution Mapping of Global Surface Water and Its Long-Term Changes // *Nature*. 2016. Vol. 540. P. 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>.
7. de Oliveira L.M., Maillard P., de Andrade Pinto E.J. Application of A Land Cover Pollution Index to Model Non-Point Pollution Sources in A Brazilian Watershed // *Catena*. 2017. Vol. 150. P. 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.015>.
8. Borisova T.A., Beshentsev A.N. Flood hazard on the Upper Angara river // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 885. P. 1–6. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/885/1/012036>.
9. Борисова Т.А. Природно-антропогенные риски в бассейне озера Байкал. Новосибирск: Гео, 2013. 126 с. EDN: SXQNMR.
10. Potemkina T.G., Sutyryna E.N., Potemkin V.L. Changing of The Riverine Sediment Load Supply into Lake Baikal: The Natural and Anthropogenic Causes (Russia) // *Quaternary International*. 2019. Vol. 524. P. 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.04.027>. EDN: NEYTWL.
11. Потемкина Т.Г., Ярославцев Н.А., Петров В.А. Гидролого-морфологические особенности устьевой области р. Верхняя Ангара // *Водные ресурсы*. 2012. Т. 39. № 4. С. 367–376. <http://doi.org/10.1134/S0097807812030086>. EDN: OZKFNR.
12. Васильковский М.Г. Ресурсы поверхностных вод СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1973–1978. 400 с.
13. Абалаков А.Д., Аргучинцев В.К., Аргучинцева А.В., Ахтиманкина А.В., Авирмэд Э., Алексеев С.П. [и др.] Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской Академии наук, 2015. 145 с. EDN: UEDSFT.
14. Разумов В.В., Качанов С.А., Разумова Н.В., Чириков А.Г., Шагин С.И., Беккиев М.Ю. [и др.] Масштабы и опасность наводнений в регионах России. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2018. 364 с. EDN: XQQAJV.
15. Potemkina, T.G., Potemkin, V.L. Sediment Load Of the Main Rivers of Lake Baikal in A Changing Environment (East Siberia, Russia) // *Quaternary International*. 2015. Vol. 380–381. P. 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.08.029>.

16. Potemkina T.G., Sutyryna E.N., Potemkin V.L. Changing of The Riverine Sediment Load Supply into Lake Baikal: The Natural and Anthropogenic Causes (Russia) // Quaternary International. 2019. Vol. 524. P. 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.04.027>.
17. Yoshe A.K. Water Availability Identification from GRACE Dataset and GLDAS Hydrological Model Over Data-Scarce River Basins of Ethiopia // Hydrological Sciences Journal. 2024. Vol. 69. Iss. 6. P. 721–745. <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2333852>.
18. Alfieri L., Lorini V., Hirpa F.A., Harrigan S., Zsoter E., Prudhomme C. [et al.] A Global Streamflow Reanalysis for 1980–2018 // Journal of Hydrology X. 2020. Vol. 6. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100049>.
19. Tadd Bindas, Wen-Ping Tsai, Jiangtao Liu, Farshid Rahmani, Dapeng Feng, Yuchen Bian [et al.] Improving Large-Basin Streamflow Simulation Using a Modular, Differentiable, Learnable Graph Model for Routing // Hydrology. 2022. P. 1–37. <https://doi.org/10.1002/essoar.10512512.1>.
20. Верхотурова Л.А. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 361 с.

Information about the authors**Agegehu K. Yoshe,**

Lecturer, Department of Water Resources
and Irrigation Engineering,
Arba Minch University,
21 Post Office Box, Arba Minch, Ethiopia;
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉ e-mail: kitanbo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3792-5854>

Victor R. Chupin,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of Urban
Construction and Economy,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: chupinvr@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>
Author ID: 475565

Ekaterina N. Sutyryna,

Cand. Sci. (Geography),
Associate Professor, Head of the Department
of Hydrology and Environmental Management,
Irkutsk State University,
1, Karl Marx St., Irkutsk 664003, Russia,
e-mail: ensut78@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5743-4596>
Author ID: 526672

Igor Yu. Shelekhov,

Cand. Sci. (Eng.)
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: promteplo@yandex.ru.
<https://orcid.org/0000-0002-7677-3187>
Author ID 480140

Информация об авторах**Йоше Агегнеху Китанбо,**

преподаватель кафедры охраны
окружающей среды, Университет Арба Минч,
г. Арба Минч, Почтовое отделение 21,
Эфиопия;
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: kitanbo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3792-5854>

Чупин Виктор Романович,

д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой городского
строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: chupinvr@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>
Author ID: 475565

Сутырина Екатерина Николаевна,

к.г.н., доцент, заведующий кафедрой
гидрологии и природопользования,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Россия,
e-mail: ensut78@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5743-4596>
Author ID: 526672

Шелехов Игорь Юрьевич,

к.т.н., доцент кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: promteplo@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7677-3187>
Author ID 480140

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Conflict of interests

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the article

The article was submitted 28.02.2024.
Approved after reviewing 11.03.2024.
Accepted for publication 14.03.2024.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 28.02.2024.
Одобрена после рецензирования 11.03.2024.
Принята к публикации 14.03.2024.



Оценка точности глобальных цифровых моделей рельефа для гидрологического анализа: пример Сирии и России

Х. Алали¹✉

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

Аннотация. Цифровые модели рельефа представляют ценную информацию о рельефе земной поверхности. Разрешение и точность данных, используемых для их создания, являются критическими факторами, которые могут повлиять на результаты гидрологического анализа. Доступные глобальные цифровые модели рельефа являются перспективными источниками данных, но их эффективность должна быть тщательно оценена для различных характеристик рельефа и областей применения. Цель исследования заключалась в определении точности и разрешения данных современных и старых глобальных моделей, а именно SRTM 1, SRTM GL1, V3 ASTER, GMTED2010, PALSAR ALOS и GTOPO 30, на примере двух исследуемых территорий. Это Сирия (Сирийское побережье) и Россия (Черноярский и Ахтубинский район в Астраханской области), которые представляют различные модели рельефа. Для выполнения гидрологического анализа земной поверхности проводилась проверка степени совпадения высот моделей с реальными высотами, измеренными и взятыми из GPS. Это было сделано с использованием трех статистических показателей, а именно диапазона, стандартного отклонения и корреляции, а также с использованием программ BaseCamp, ARCGIS PRO & SAGA_GIS. Разрешение данных показывает степень детализации, отраженной в наборе данных DEM. Оно определяется пространственным интервалом выборки или размером ячейки сетки, используемой для представления земной поверхности. Точность данных относится к степени согласованности между значениями высоты, полученными из DEM, и фактическими данными на земле. Результаты показывают, что по коэффициенту корреляции и стандартному отклонению модель GMTED 2010 и ASTER V3, исследующая сирийский регион, и модель ALOS PALSAR и SRTM GL 1 для региона России, являются лучшими для проведения гидрологического анализа в отсутствие точных локальных моделей.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа, Сирия, Россия, гидрологический анализ, корреляции, стандартное отклонения, высота, рельеф

Для цитирования: Алали Х. Оценка точности глобальных цифровых моделей рельефа для гидрологического анализа: пример Сирии и России // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 501–512. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-501-512>. EDN: TNXRYF.

Original article

Assessing the accuracy of global digital elevation models for hydrological analysis: the cases of Syria and Russia

Hothefa Alali¹✉

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Abstract. Digital elevation models provide valuable information about the surface topography. The resolution and accuracy of the data used to create the models are critical for the results of hydrological analysis. Available global digital elevation models obtain high potential in terms of data sources; however, their performance requires meticulous evaluation for different terrain characteristics and applications.

Aim. To determine the accuracy and resolution of data provided by current and old global models, namely SRTM 1, SRTM GL1, V3 ASTER, GMTED2010, PALSAR ALOS, and GTOPO 30, using the example of two terrains. The study considers the areas in Syria (Syrian coast) and Russia (Chernoyarsky and Akhtubinsky districts in the Astrakhan region) represented by different elevation models. A matching degree between model and real elevations measured by GPS was determined to carry out the hydrological analysis of the land surface. For this purpose, three statistical measures, including range, standard deviation and correlation were defined by means of BaseCamp, ARCGIS PRO & SAGA_GIS software. Data resolution indicates the degree of detail represented in the DEM dataset, which is established by the spatial sampling interval or the size of the grid cell used to represent the land surface. Data accuracy refers to the matching degree between the elevation values derived from the DEM and the actual data obtained on the surface. **Results.** In terms of correlation coefficient and standard deviation, the GMTED 2010 and ASTER V3 model for the Syrian region and the ALOS PALSAR and SRTM GL 1 model for the Russian region prove to be the most effective for hydrological analysis in the absence of accurate local models.

Keywords: digital relief model, Syria, Russia, hydrological analysis, correlations, standard deviation, elevation, relief

For citation: Alali H. Assessing the accuracy of global digital elevation models for hydrological analysis: the cases of Syria and Russia. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2024;14(3):501-512. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-501-512>. EDN: TNXRYF.

ВВЕДЕНИЕ

Гидрологический анализ включает в себя изучение движения и распределения воды на поверхности Земли. Цифровые модели рельефа (ЦМР) являются важнейшими инструментами для этого вида анализа. Они могут использоваться для создания точных карт водоразделов, ручьев и рек, а также для оценки скорости и объема водного потока [1–2].

Гидрологический анализ часто фокусируется на речных бассейнах как фундаментальных единицах для изучения водного баланса и циркуляции. ЦМР играют ключевую роль в гидрологических исследованиях речных бассейнов, поскольку они позволяют точно определить границы водосборных областей, выделить речную сеть и рассчитать производные характеристики рельефа, такие как уклоны, кривизна и экспозиция склонов, которые являются критически важными для моделирования поверхностного стока и русловых процессов [19–22]. Одним из основных преимуществ использования глобальных ЦМР в гидрологическом анализе является их широкая доступность. Существует несколько общедоступных наборов данных глобальных ЦМР, таких как SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) и ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), которые покрывают большую часть поверхности Земли. Они имеют высокое пространственное разрешение, от 30 до 90 м, что позволяет проводить детальный анализ мелкомасштабных особенностей, таких как ручьи и овраги [2]. Еще одним преимуществом использования глобальных ЦМР является их способность предоставлять

информацию о характеристиках рельефа, таких как уклон, аспект и кривизна.

Эти характеристики играют решающую роль в гидрологических процессах, поскольку они влияют на движение и распределение воды на поверхности Земли.

Включая эту информацию в гидрологическую модель, исследователи могут улучшить понимание закономерностей водных потоков и предсказать последствия изменений в землепользовании или климате [2–3]. Их главным преимуществом является широкая доступность и относительно низкая стоимость получения данных, что позволяет проводить исследования даже в регионах с ограниченными местными источниками. Они часто имеют меньшую точность и детализацию по сравнению с локальными ЦМР, созданными на основе высокоточных наземных измерений или аэрофотосъемки. Ключевым ограничением глобальных ЦМР может быть неполное отражение мелкомасштабных объектов рельефа, оказывающих существенное влияние на гидрологические процессы. Поэтому важно оценивать пригодность конкретных глобальных ЦМР для гидрологического анализа в каждом регионе исследования с учетом его ландшафтных особенностей [2–3]. ЦМР представляет собой цифровое представление местности с различной высотой и является одним из основных выходов геоинформационной системы, которая дает возможность увидеть трехмерное цифровое представление изучаемой территории и ее высоты с использованием переменных (z , y , x), в которых y , x – горизонтальные координаты, а z – вертикальная координата (высота) [4–9].

Есть множество доступных бесплатных глобальных ЦМР, но их точность и надежность должны быть количественно оценены до фактического внедрения [10–12].

В этой статье изучена точность и разрешение ЦМР для использования в гидрологическом анализе на основе нескольких статистических показателей. В табл. 1 приведены характеристики выбранных глобальных ЦМР, в том числе:

1. SRTM – четкость местности равна 3 сек = 90 м (объем каждый пиксел 90*90) (американская модель, 2015 г.)¹.

2. ALOS PALSAR – четкость местности равна 1 сек = 30 м (объем каждого пикселя 30*30) (американская и японская модель)².

3. GMTED2010 – глобальные данные о высоте местности с различным разрешением за 2010 г., представляет собой глобальную ЦМР с тремя уровнями пространственного разрешения: 7,5, 15, и 30 угловых сек³.

4. GTOPO 30 – четкость местности равна 30 сек = 900 м (объем каждого пикселя 900*900) (старая модель)⁴.

5. ASTER GDEM V3 – четкость местности равно 1 сек = 30 м⁵.

6. SRTM GL1: Shuttle Radar Topography Mission – данные о высотах в почти глобальном масштабе для создания наиболее полной цифровой топографической базы данных Земли с высоким разрешением. Данные четкости место равны 1 сек = 30 м⁶.

Таблица 1. Характеристики используемой глобальной цифровой модели рельефа

Table 1. Characteristics of the global DEM used

Модель ЦМР	Год выпуска	Пространственное разрешение	
		Градусы	Метры
SRTM1	2015	1"	~30*30
ALOS PALSAR	с 2006 до 2011	1"	~12,5*12,5
GMTED2010	2010	7,5"	~225
GTOPO 30	1996	30"	~900
ASTER V3	2013	1"	~30*30
SRTM GL1	2013	1"	~30*30

МЕСТА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В этом исследовании было изучено два объекта:

1. Сирийское побережье: горная прибрежная местность, состоящая из равнин, которые простираются вдоль побережья с севера, где проходит турецкая граница, до Ливана на юге.

Длина составляет примерно 35 морских миль (65 км) только от берега Средиземного моря и до Алавитских гор. Они параллельны прибрежной равнине, высотой чуть более 1212 м, а самая высокая вершина – Ан-Наби Юнус, высота которой составляет 1575 м (рис. 1а) [19–22].

2. Черноморский и Ахтубинский район в Астраханской области в России: пустынная равнинная местность, рельеф сложный, состоящий из огромных масс холмов, песка, сухих кратеров, озер и карстовой местности. Астраханская область находится на юге России, возле Каспийского моря.

Место исследования находится на севере области (рис. 1б) [23].

МЕТОДОЛОГИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

ЦМР является растровыми данными, представленными в виде сетки пикселей. Эта сетка состоит из блоков, содержащих зашифрованную информацию о поверхности Земли как о высоте над уровнем моря ($H_{\text{ЦМР}}$).

У нас есть точки высоты, измеренные GPS (H_{GPS}), они обработаны с помощью программы BaseCamp, чтобы данные можно было импортировать в программу SAGA_GIS.

Следует отметить, что точки высоты и ЦМР должны иметь одинаковые координаты систем (Geographic Coordinate System [EPSG 4326]:WGS84) (рис. 2).

Поскольку исходные глобальные ЦМР имели разное пространственное разрешение, для обеспечения корректного сравнения все они были приведены к единому разрешению, соответствующему разрешению данных GPS.

¹SRTM. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 20.07.2024).

²ALOS PALSAR. Режим доступа: <https://search.asf.alaska.edu/#/> (дата обращения: 20.07.2024).

³GMTED2010. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 20.07.2024).

⁴GTOPO 30. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 20.07.2024).

⁵ASTER GDEM V3. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 20.07.2024).

⁶SRTM GL1: Shuttle Radar Topography Mission. Режим доступа: <https://opentopography.org/> (дата обращения: 20.07.2024).

Это было сделано с помощью геостатистической интерполяции кригинга для ресамплинга каждой ЦМР до размера ячейки, совпадающей с интервалом между точками GPS.

Контрольные точки GPS были отобраны с использованием стратифицированной случай-

ной выборки для обеспечения репрезентативного покрытия различных типов рельефа и высотных диапазонов. Вся выборка была случайным образом разделена на обучающую (80 %) и тестовую (20 %) части для независимой проверки результатов.

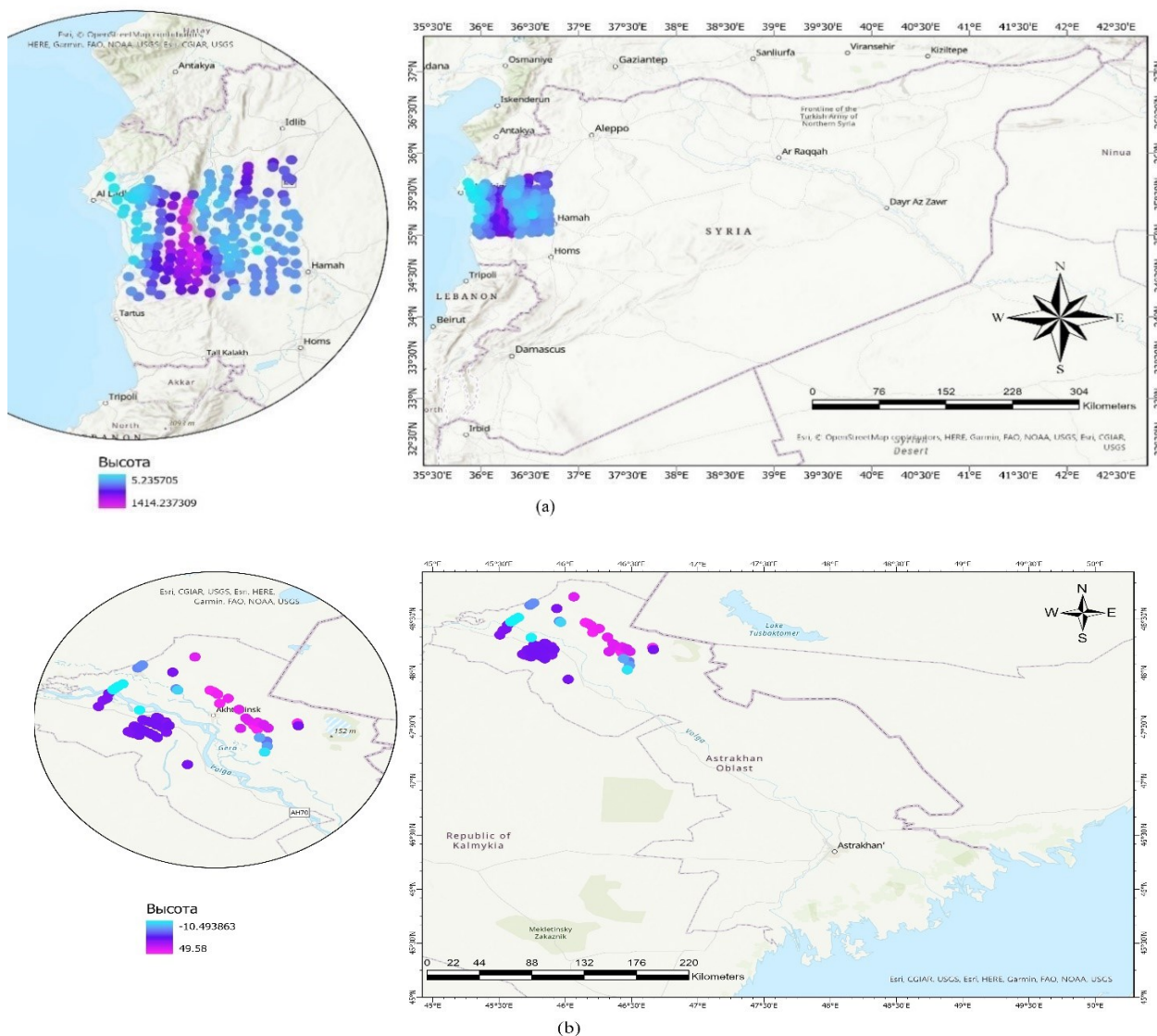


Рис. 1. Область исследования: (а) Сирийское побережье в Сирии, (б) Чернойарский и Ахтубинский район в Астраханской области в России (Построена авторами по программе ArcGis Pro)

Fig. 1. Study area: (a) Syrian coast in Syria, (b) Chernoyarsk and Akhtubinsk district in Astrakhan region in Russia (Plotted by the authors using ArcGis Pro program)

Извлечения данных из файла ЦМР выполнено с помощью SAGA_GIS, через команду Shapes → Shapes Grid tools → Grid values → Add grid values to points, затем был выбран способ извлечь данные из файла ЦМР (Nearest neighbor) [13, 14]. Это позволяет узнать данные о высоте, и то, куда именно попадает точка GPS.

На основе ЦМР для сирийского объекта были выполнены следующие задачи:

- определение водосборных бассейнов реки;
- выделение речной сети;
- расчет уклонов, кривизны и экспозиции склонов по стандартным алгоритмам ГИС-анализа рельефа.

Эти производные данные использовались для последующего моделирования гидрологических характеристик речных бассейнов, а именно реки Ал Кабир Ал Шамали [19–22].

В результате получена таблица, где были записаны данные GPS о высоте и высота из файла ЦМР. Исходя из этого можно выполнить следующие статистические анализы.

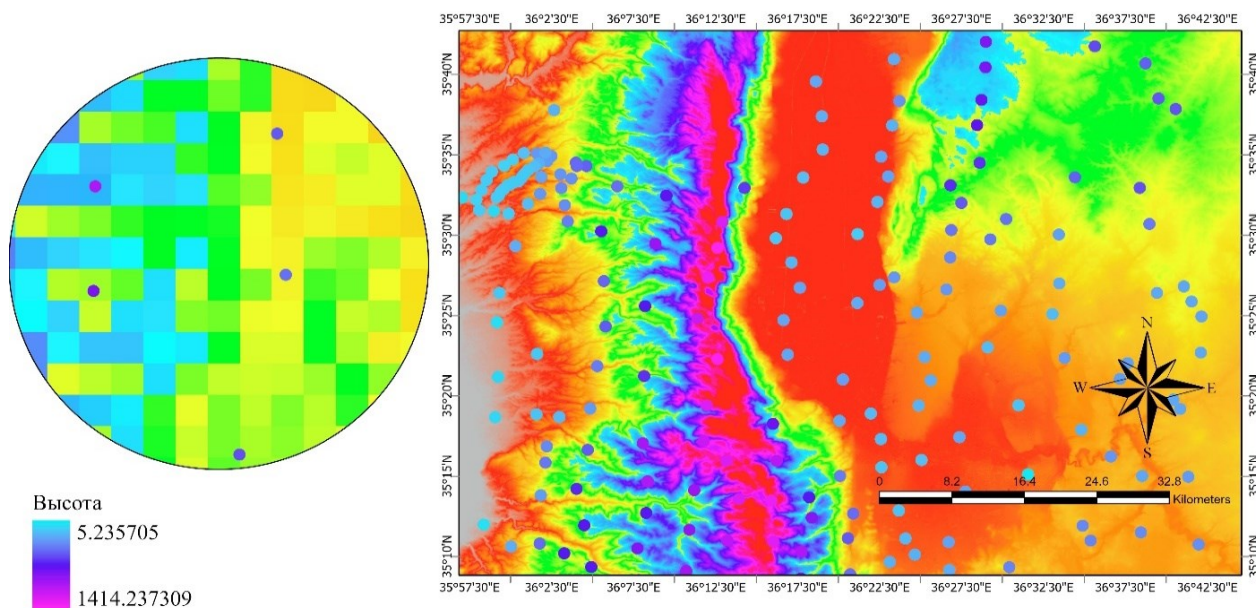


Рис. 2. Точки GPS на ЦМР (Построена авторами по программе ArcGis Pro)
Fig. 2. GPS points on DEM (Built by authors using ArcGis Pro program)

Корреляция между наблюдаемыми высотами контрольных точек (X или H_{GPS}) и их соответствующей высотой из конкретной ЦМР (Y или $H_{ЦМР}$) рассчитывается как:

$$COR = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_{XX} \times S_{YY}}}, \quad (1)$$

где

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}, \quad (2)$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}, \quad (3)$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{(\sum X) \times (\sum Y)}{n}, \quad (4)$$

где COR представляет собой корреляцию между X и Y , $\sum X$, $\sum Y$, $\sum XY$ представляют собой сумму X , Y и XY соответственно, а n – общее количество доступных точек выборки (237 для Сирии и 62 для России). Затем диапазон разницы высот оценивался как разница между максимальной и минимальной вычисленной разницей для каждой ЦМР. Стандартное отклонение (SD) разности высот рассчитывается как:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta H^2}{n}}, \quad (5)$$

где n – количество используемых контрольных точек [15].

Ожидается, что чем больше стандартное отклонение, тем более плоской будет кривая нормального распределения. Чем меньше стандартное отклонение, тем выше пик кривой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разрешение данных относится к уровню детализации, отраженному в наборе данных ЦМР. Оно определяется интервалом пространственной выборки или размером ячеек сетки, используемой для представления земной поверхности. ЦМР с более высоким разрешением предоставляют более подробную информацию о рельефе и могут лучше отображать мелкомасштабные особенности.

В гидрологическом анализе разрешение данных играет решающую роль, так как от этого зависит точность отражения характеристик рельефа и процессов, влияющих на структуру водных потоков. Точность данных относится к уровню согласия между значениями высоты, полученными с помощью ЦМР, и фактическими данными на местности. Точные данные о рельефе имеют решающее значение для надежного гидрологического анализа, поскольку ошибки в измерениях рельефа могут распространяться по всему процессу, приводя

к неточным результатам. Для обеих изучаемых областей были загружены шесть выбранных ЦМР с соответствующих вебсайтов, высоты были получены из ЦМР, соответствующих точ-

кам GPS с использованием пакета программного обеспечения SAGA_GIS 9.0.1. Статистика полученных результатов представлена в табл. 2, на рис. 3 и 4.

Таблица 2. Статистические показатели высот ЦМР в районе побережье (А); статистические показатели высот ЦМР в районе Черноярский и Ахтубинский (В)

Table 2. Statistical indices of DEM heights in the coastal area (A); Statistical indices of DEM heights in Chernoyarsky and Akhtubinsky districts (B)

(А)

Название	Минимум	Максимум	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Корреляция
Высота (ele) точки GPS	5,235705	1414,238	437,105	306,907	NA
ASTER V3	17	1323	409,726	295,962	94,41 %
SRTM 1	21	1327	417,241	294,999	94,40 %
GTOPO 30	6	1338	409,060	298,275	89,75 %
GMTED2010	21	1335	417,300	296,020	94,42 %
SRTM GL 1	44,974	1352,956	443,057	295,136	94,40 %
ALOS PALSAR	46	1348	442,988	294,992	94,32 %

(В)

Название	Минимум	Максимум	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Корреляция
Высота (ele) точки GPS	-10,4939	49,58	23,644259	16,932	NA
ASTER V3	-17	44	13,574	10,933	55,92 %
GTOPO 30	-15	38	11,710	12,014	43,32 %
GMTED2010	-14	31	11,565	9,203	72,30 %
SRTM GL 1	-21,532	23,956	6,154	9,161	72,82 %
SRTM 1	-17	31	11,355	9,565	71,30 %
ALOS PALSAR	-22	24	6,284	9,369	73,01 %

Из таблицы видно, что ASTER V3 и GMTED 2010 имеют наибольшую корреляцию в первом объекте, а ALOS PALSAR и SRTM GL 1 во втором, аналогичные результаты были получены другими исследователями [14, 15]. Точность исходных данных рельефа оказывает существенное влияние на надежность гидрологического анализа в речных бассейнах.

Даже небольшие ошибки в определении водоразделов и речной сети могут приводить к серьезным погрешностям в оценках водного

баланса и характеристиках стока. Результаты настоящего исследования показывают, что глобальные ЦМР GMTED2010, ASTER V3 (для Сирии) и ALOS PALSAR, SRTM GL1 (для России) обеспечивают наиболее высокую точность рельефных данных. Их применение позволит выполнять гидрологическое моделирование и управление водными ресурсами речных бассейнов с приемлемой степенью достоверности в условиях отсутствия локальных высокоточных ЦМР.

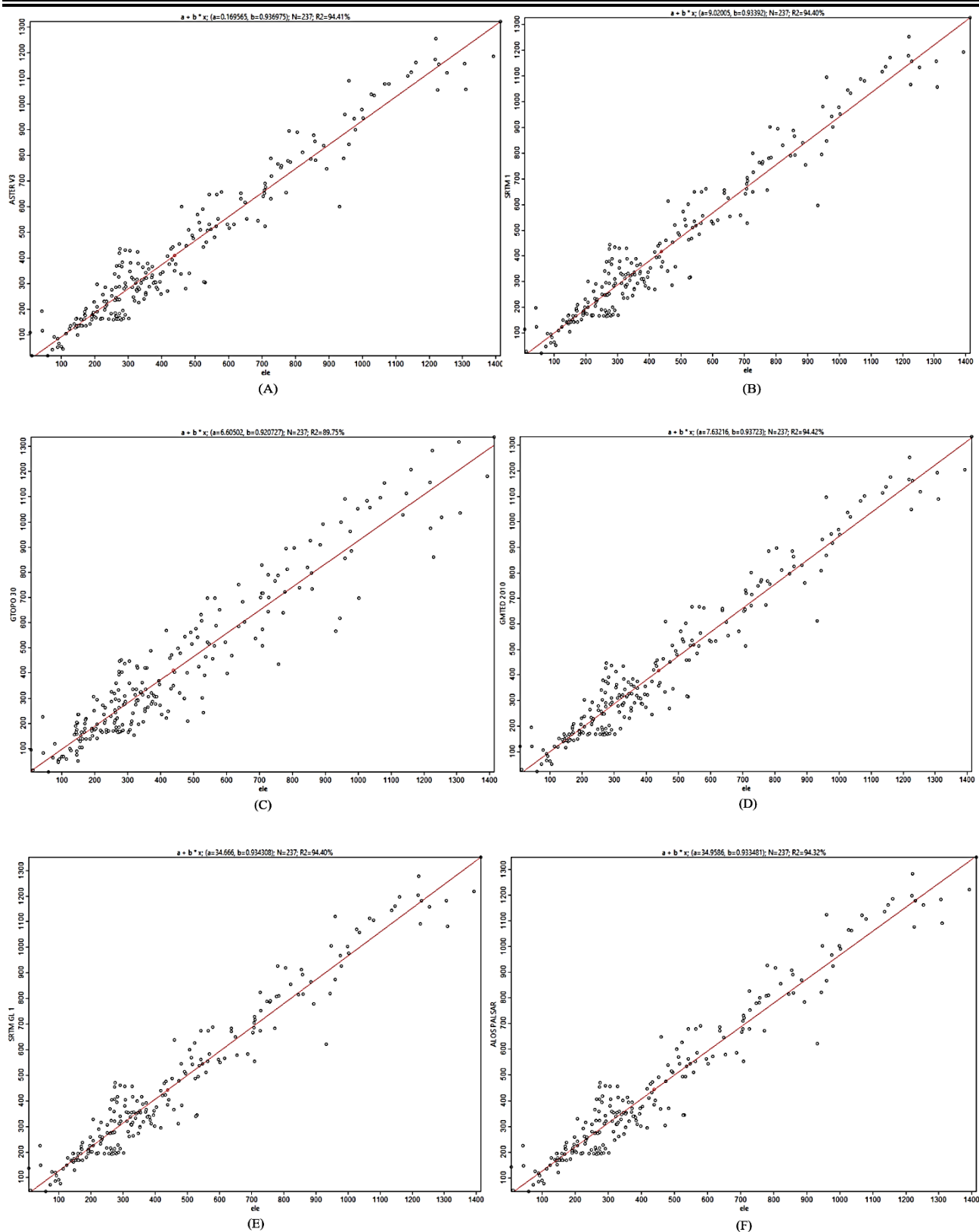


Рис. 3. Диаграмма рассеяния между H_{DEM} и H_{GPS} для первой области исследования, где (A) ASTER V3, (B) SRTM 1, (C) GTOPO 30, (D) GMTED 2010, (E) SRTM GL 1, (F) ALOS PALSAR
Fig. 3. Scatter plot between H_{DEM} and H_{GPS} for the first study areas where (A) ASTER V3, (B) SRTM 1, (C) GTOPO 30, (D) GMTED 2010, (E) SRTM GL 1, (F) ALOS PALSAR

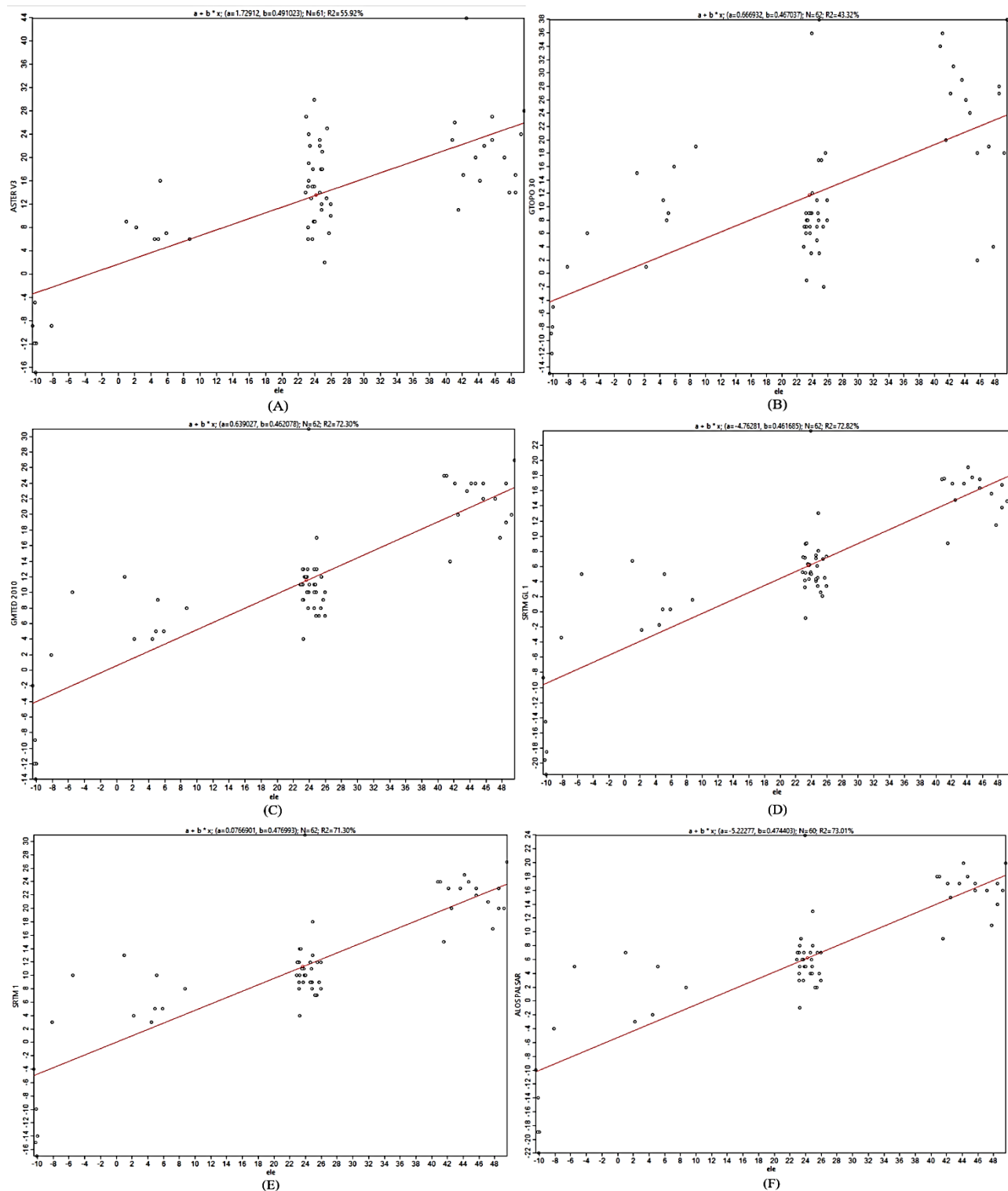


Рис. 4. Диаграмма рассеяния между H_{DEM} и H_{GPS} для второй области исследования, где (A) ASTER V3, (B) GTOPO 30, (C) GMTED 2010, (D) SRTM GL 1, (E) SRTM 1, (F) ALOS PALSAR
Fig. 4. Scatter plot between H_{DEM} and H_{GPS} for the second study areas where (A) ASTER V3, (B) GTOPO 30, (C) GMTED 2010, (D) SRTM GL 1, (E) SRTM 1, (F) ALOS PALSAR

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этом исследовании изучалась точность и разрешение шести последних глобальных цифровых моделей высот для использования в

гидрологическом анализе. Эти модели включают SRTM1, ALOS PALSAR, GMTED2010, GTOPO 30, ASTER V3 и SRTM GL1. Оценка проводилась на двух изучаемых территориях:

Сирийское побережье, представляющее равнинную топографию, Черноярский и Ахтубинский район в Астраханской области в России, представляющий сложный рельеф. 237 и 62 контрольных точек с измеренными GPS-координатами были использованы в обеих областях соответственно. Основываясь на полученных результатах, можно сделать выводы, что по коэффициенту корреляции и стандартному отклонению модель GMTED 2010 и ASTER V3, исследующая сирийский регион, и модель ALOS PALSAR и SRTM GL 1 для региона России, являются лучшими для проведения гидрологического анализа считаются хорошим инструментом в отсутствие точных локальных моделей. Информация, представленная в табл. 1, показывает пространственное разрешение в градусах и метрах, лучше из них

ALOS PALSAR, SRTM GL 1, SRTM1, ASTER V3 и SRTM GL1. Исходя из результатов можно сказать что ALOS PALSAR, SRTM1 и ASTER V3 наиболее надежные ЦМР для гидрологического анализа.

Обеспечение высокого разрешения и точности данных ЦМР необходимо для надежного гидрологического анализа. Однако при использовании ЦМР в гидрологических приложениях необходимо учитывать проблемы, связанные с доступностью, обработкой и точностью данных.

Постоянное совершенствование методов сбора данных и процессов контроля качества продолжает улучшать разрешение и точность ЦМР, повышая их пригодность для точного гидрологического анализа и управления водными ресурсами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ilinich V.V., Perminov A.V., Belolybcev A.I., Naumova A. A. Assessment of the Impact of Changes in Storm Rainfall and Landscape Characteristics on the Maximum Flow of Small Rivers // Springer Water. 2020. P. 717–725. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5436-0_55. EDN: KDLPPN.
2. Гусев В.Л., Потапов С.Л., Синькова М.Г. Оценка точности цифровых моделей рельефа и цифровых моделей местности из открытых источников // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2022. Т. 66. № 1. С. 52–63. <https://doi.org/10.30533/0536-101X-2022-66-1-52-63>. EDN: UYHXGM.
3. Кошель С.М., Энтин А.Л. Современные методы расчета распределения поверхностного стока по цифровым моделям рельефа // Геоморфологи. 2016. № 6. С. 24–34. EDN: WZPQOH.
4. Павлова А.Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съемки SRTM (на примере бассейна р. Терешки) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2009. Т. 9. № 1. С. 39–44. EDN: JVCBHW.
5. Гулиев А.Ш.О. Оценка точности определения высот по данным воздушного лазерного сканирования для автоматизации пространственных трансформаций функциональной модели регионов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т. 1. № 4. С. 43–51. EDN: VSFLHW.
6. Fernandez A., Adamowski J., Petroselli A. Analysis of the Behavior of Three Digital Elevation Model Correction Methods on Critical Natural Scenarios // Journal of Hydrology: Regional Studies. 2016. Vol. 8. P. 304–315. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.09.009>.
7. Florinsky I.V., Skrypitsyna T.N., Trevisani S., Romaikin S.V. Statistical and Visual Quality Assessment of Nearly-Global and Continental Digital Elevation Models of Trentino, Italy // Remote Sensing Letters. 2019. Vol. 10. Iss. 8. P. 726–735. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1602790>.
8. Ермолаев О.П., Семёнов Ф.В. Использование цифровых моделей рельефа для морфометрического анализа тектонических структур и поиска россыпей аллювиального генезиса // География и природные ресурсы. 2014. № 1. С. 142–147. EDN: RXNVPP.
9. Брызжев А.В., Рухович Д.И., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Долинина Е.А. [и др.] Организация ретроспективного мониторинга почвенного покрова и земель Азовского района Ростовской области // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1294–1315. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13110026>. EDN: REKBUN.
10. Mukherjee S., Joshi P.K., Mukherjee S., Ghosh A., Garg R.D., Mukhopadhyay A. Evaluation of Vertical Accuracy of Open Source Digital Elevation Model (DEM) // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2013. Vol. 21. P. 205–217. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.09.004>.
11. Мубораков Х., Рузиев А.С., Абдуллаев И.У. Об использовании материалов ДЗЗ для расчетов проектных параметров и мониторинга режима водохранилищ // Известия Географического общества Узбекистана. Специальный том. 2018. С. 179–181.
12. Астапович А.В., Жбанов К.К., Медяников Д.О., Яковлев А.И. Модель рельефа недоступной территории, построенная по результатам комплексирования разнородной спутниковой информации // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2021. № 677. С. 75–83. EDN: WDKYET.
13. Biau G., Devroye L. Lectures On the Nearest Neighbor Method. New York: Springer, 2015. 300 p.

14. Fisher R., Hobgen S., Mandaya I., Kaho N.R., Zulkarnain Satellite Image Analysis and Terrain Modelling – A practical manual for natural resource management, disaster risk and development planning using free geospatial data and software. Charles Darwin University, Universitas Nusa Cendana dan Universitas Halu Oleo, 2017. 151 p.
15. Ильинич В.В., Перминов А.В., Наумова А.А. Оценка влияния климатических характеристик и ландшафтных изменений на максимальный сток малых водосборов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 9. С. 1228–1235. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.9.1228-1235>. EDN: UDKCUS.
16. Althumania D., Achour H. External Validation of the ASTER GDEM2, GMTED2010 and CGIAR-CSI-SRTM v4.1 Free Access Digital Elevation Models (DEMs) in Tunisia and Algeria // Journal of Remote Sensing. 2014. Vol. 6. Iss. 5. P. 4600–4620. <https://doi.org/10.3390/rs6054600>.
17. Patel A., Katiyar S.K., Prasad V. Performance Evaluation of Different Open Source DEM Using Differential Global Positioning System (DGPS) // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. 2016. Vol. 19. Iss. 1. P. 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.12.004>.
18. Ильинич В.В., Перминов А.В., Наумова А.А. Влияние ландшафтных и климатических изменений на максимальный сток малых водосборов // Гидротехническое строительство. 2022. № 7. С. 15–19. EDN: AZIXGJ.
19. Алали Х., Перминов А.В. Мониторинг водохранилища 16 Тишрин с использованием ГИС-технологий и дистанционного зондирования // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 1. С. 11–16. <https://doi.org/10.32962/0235-2524-2024-1-11-16>. EDN: AKHRPC.
20. Алали Х., Перминов А.В. Испарение воды из водохранилища 16 Тишрин в Сирии: измерение объема и оценка экономических последствий // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 3. С. 314–331. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-314-331>. EDN: XFAYAM.
21. Алали Х., Перминов А.В. Использование современных ГИС-технологий при анализе гидрологических данных для реки Ал Кабир Ал Шамали в Сирии // Гидротехническое строительство. 2024. № 4. С. 49–54. <https://doi.org/10.34831/EP.2024.57.90.006>. EDN: MVOLRE.
22. Алали Х., Перминов А.В., Редников С.Н., Алсадек Е.С. Морфометрический анализ бассейн реки Ал Кабир Ал Шамали в Сирии с использованием изображения ASTER (цифровая модель рельефа) на основе ГИС-технологии // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2024. Т.10. №1. С. 46–58.
23. Бухарицин П.И., Овчарова А.Ю., Токарева А.А., Кутлусурина Г.В. Геоэкология природных комплексов низовьев Волги в условиях антропогенного воздействия: коллект. монография. Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. 288 с.

REFERENCES

1. Ilinich V.V., Perminov A.V., Belolybcev A.I., Naumova A. A. Assessment of the Impact of Changes in Storm Rainfall and Landscape Characteristics on the Maximum Flow of Small Rivers. *Springer Water*. 2020:717-725. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5436-0_55. EDN: KDLPPN.
2. Gusev V.L., Potapov S.L., Sinkova M.G. Open Sources Digital Terrain Models and Digital Elevation Models Accuracy Estimation. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2022;66(1):52-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.30533/0536-101X-2022-66-1-52-63>. EDN: UYHXGM.
3. Koshel' S.M., Entin A.L. Contemporary Methods for Calculating Surface Water Distribution from Digital Elevation Models. *Geomorfologi*. 2016;6:24-34. (In Russ.). EDN: WZPQOH.
4. Pavlova A.N. Geomodeling of River Basin Based of the Space Data SRTM (as Example of Tereshka River). *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Nauki o Zemle*. 2009;9(1):39-44. (In Russ.). EDN: JVCBHW.
5. Guliyev A.Sh.O. Evaluation of The Height Accuracy of Air Laser Scanning for Automation of Spatial Transformations of the Functional Model for The Regions. *Interexpo GEO-Siberia*. 2018;1(4):43-51. (In Russ.). EDN: VSFLHW.
6. Fernandez A., Adamowski J., Petroselli A. Analysis of the Behavior of Three Digital Elevation Model Correction Methods on Critical Natural Scenarios. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2016;8:304-315. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.09.009>.
7. Florinsky I.V., Skrypitsyna T.N., Trevisani S., Romaikin S.V. Statistical and Visual Quality Assessment of Nearly-Global and Continental Digital Elevation Models of Trentino, Italy. *Remote Sensing Letters*. 2019;10(8):726-735. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1602790>.
8. Ermolaev O.P., Semenov F.V. Use of Digital Terrain Models in Morphometric Analysis of Tectonic Structures and Prospecting of Placers of Alluvial Genesis. *Geography and Natural Resources*. 2014;1:142-147. (In Russ.). EDN: RXNVPP.
9. Bryzzhev A.V., Rukhovich D.I., Koroleva P.V., Kalinina N.V., Vil'chevskaya E.V., Dolinina E.A. [et al.] Organization of Retrospective Monitoring of Soil Cover and Lands in The Azov District of the Rostov Region.

- Eurasian Soil Science*. 2013;11:1294-1315. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0032180X13110026>. EDN: REKBUEH.
10. Mukherjee S., Joshi P.K., Mukherjee S., Ghosh A., Garg R.D., Mukhopadhyay A. Evaluation of Vertical Accuracy of Open Source Digital Elevation Model (DEM). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2013;21:205-217. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.09.004>.
11. Muborakov Kh., Ruziev A.S., Abdullaev I.U. On The Use of Remote Sensing Materials for Calculating Design Parameters and Monitoring the Regime of Reservoirs. *Izvestiya Geograficheskogo obshchestva Uzbekistana. Spetsial'nyi tom*. 2018:179-181. (In Russ.).
12. Astapovich A.V., Zhanov K.K., Medyanikov D.O., Yakovlev A.I. Relief Model of an Inaccessible Territory, Built Based On the Results of Integrating Heterogeneous Satellite Information. *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*. 2021;677:75-83. (In Russ.). EDN: WDKYET.
13. Biau G., Devroye L. *Lectures On the Nearest Neighbor Method*. New York: Springer, 2015. 300 p.
14. Fisher R., Hobgen S., Mandaya I., Kaho N.R., Zulkarnain *Satellite Image Analysis and Terrain Modelling – A practical manual for natural resource management, disaster risk and development planning using free geospatial data and software*. Charles Darwin University, Universitas Nusa Cendana dan Universitas Halu Oleo, 2017. 151 p.
15. Ilinich V.V., Perminov A.V., Naumova A.A. Assessment of The Impact of Climatic Characteristics and Landscape Changes On the Maximum Flow of Small Watersheds. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2021;16(9):1228-1235. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.9.1228-1235>. EDN: UDKCUS.
16. Althumania D., Achour H. External Validation of the ASTER GDEM2, GMTED2010 and CGIAR-CSI-SRTM v4.1 Free Access Digital Elevation Models (DEMs) in Tunisia and Algeria. *Journal of Remote Sensing*. 2014;6(5):4600-4620. <https://doi.org/10.3390/rs6054600>.
17. Patel A., Katiyar S.K., Prasad V. Performance Evaluation of Different Open Source DEM Using Differential Global Positioning System (DGPS). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 2016;19(1):7-16. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.12.004>.
18. Ilinich V.V., Perminov A.V., Naumova A.A. Impact of Landscape and Climate Changes On the Maximum Runoff of Small Watersheds. *Hydraulic Structures Construction*. 2022;7:15-19. (In Russ.). EDN: AZIXGJ.
19. Alali H., Perminov A.V. Monitoring of The 16 Tishrin Reservoir Using GIS-Technologies and Remote Sensing. *Reclamation and Water Management*. 2024;1:11-16. (In Russ.). <https://doi.org/10.32962/0235-2524-2024-1-11-16>. EDN: AKHRPC.
20. Alali H., Perminov A.V. Water Evaporation from The 16 Tishrin Reservoir in Syria: Volume Measurement and Economic Impact Assessment. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(3):314-331. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-314-331>. EDN: XFAYAM.
21. Alali H., Perminov A.V. Use of Modern GIS Technologies in The Analysis of Hydrological Data of the Alkabeer Alshamali River in Syria. *Hydraulic Structures Construction*. 2024;4:49-54. (In Russ.). <https://doi.org/10.34831/EP.2024.57.90.006>. EDN: MVOLRE.
22. Alali H., Perminov A.V., Rednikov S.N., Alsadek E.S. Morphometric Analysis of Al Kabir Al Shamali River Basin in Syria Using Aster (Digital Elevation Model) Image Based On GIS-Technology. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2024;10(1):46-58. (In Russ.). EDN: YTMFDM.
23. Bukharitsin P.I., Ovcharova A.Yu., Tokareva A.A., Kutlusrina G.V. *Geoecology of Natural Complexes of the Lower Volga Under Conditions of Anthropogenic Impact: Collective Monograph*. Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. 288 p. (In Russ.).

Информация об авторе

Алали Хозефа,
аспирант,
Российский государственный аграрный
университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия,
✉e-mail: Hothefa.alali@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-3691-7230>
Author ID: 1212752

Information about the author

Hothefa Alali,
Postgraduate Student,
Russian State Agrarian University - Moscow
Timiryazev Agricultural Academy,
49 Timiryazevskay St., Moscow 127434, Russia,
✉e-mail: Hothefa.alali@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-3691-7230>
Author ID: 1212752

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 manu-
script for publication and bears the
responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The author declares that there is no conflict of interest.

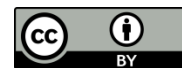
The final manuscript has been read and approved by the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 14.06.2024.
Одобрена после рецензирования 01.07.2024.
Принята к публикации 02.07.2024.

Information about the article

The article was submitted 14.06.2024.
Approved after reviewing 01.07.2024.
Accepted for publication 02.07.2024.



Экспериментальное исследование процесса седиментации твердых частиц разного происхождения

А.В. Бальчугов¹, А.А. Баранова²✉

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

Аннотация. Седиментация является первым этапом очистки сточных вод от механических примесей. На ее скорость влияет плотность и размер частиц примесей, а также плотность и вязкость дисперсионной среды. В промышленных отстойниках осаждение частиц может происходить в ламинарном, переходном или турбулентном режимах. Цель исследования заключалась в установлении критериальных уравнений и их коэффициентов для процессов седиментации частиц песка, стекла и гранул полиамида. Осаждение частиц песка размером 0,001–0,003 м, сферических частиц стекла диаметром 0,0025–0,004 м и гранул полиамида со средним объемно-поверхностным диаметром 0,0022–0,003 м проводилось в мерном стеклянном цилиндре, заполненном дистиллированной водой. Для каждой твердой частицы измерялся диаметр, далее, с помощью пинцета она соприкасалась с уровнем поверхности воды, отпускалась и под действием силы тяжести начинала оседать на дно цилиндра. Секундомером засекалось время прохождения частицы между метками мерной емкости. Расчеты выполнялись на основе метода анализа размерностей. По результатам испытаний установлены зависимости критерия Рейнольдса от критерия Архимеда при осаждении частиц песка и гранул полиамида в переходном режиме и сферических частиц стекла в турбулентном режиме, выведены критериальные уравнения процесса осаждения твердых частиц в слое жидкости. Экспериментально определены коэффициенты для данных уравнений. Уравнения и коэффициенты, полученные в процессе исследования, могут быть полезны при проектировании отстойников, предназначенных для механической очистки сточных вод от частиц песка, стекла и полимеров.

Ключевые слова: осаждение, сточные воды, очистка стоков, критериальное уравнение, отстойники

Для цитирования: Бальчугов А.В., Баранова А.А. Экспериментальное исследование процесса седиментации твердых частиц разного происхождения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 513–523. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-513-523>. EDN: OCIGHE.

Original article

Experimental study into the sedimentation process of solids of different origin

Alexey V. Balchugov¹, Albina A. Baranova²✉

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

Abstract. Abstract. Sedimentation refers to the first stage of wastewater treatment from mechanical impurities. Its rate depends on the density and particle size of impurities, as well as the density and viscosity of dispersion medium. In industrial sedimentation tanks, particle settling can occur in laminar, transient or turbulent modes. **Aim.** To establish the criterion equations and their coefficients for sedimentation processes of sand, glass and polyamide granules. Sedimentation of sand particles of 0.001–0.003 m, spherical glass particles with the diameter of 0.0025–0.004 m and polyamide granules with the volume-surface mean diameter of 0.0022–0.003 m was carried out in a measured glass cylinder filled with distilled water. Each solid particle was measured, then, it came into contact with the water surface by means of tweezers, and released, starting to settle to the bottom of the cylinder under the

action of gravity. A stopwatch was used to time the particle passing between the marks of the measured cylinder. Calculations were performed using dimensional analysis. According to the test results, the dependences of the Reynolds number on the Archimedes number were established for the sedimentation of sand particles and polyamide granules in the transient mode, while spherical glass particles in the turbulent mode. In addition, the criterion equations of the solid particles sedimentation in the liquid were derived. The coefficients for these equations were experimentally determined. The equations and coefficients obtained in the study can be used in the design of settling tanks for mechanical treatment of wastewater to remove sand, glass and polymer particles.

Keywords: precipitation, wastewater, wastewater treatment, criterion equation, settling tanks

For citation: Balchugov A.V., Baranova A.A. Experimental study into the sedimentation process of solids of different origin. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):513-523. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-513-523>. EDN: OCIGHE.

ВВЕДЕНИЕ

Жизненный цикл жилых и промышленных объектов предусматривает наличие инженерных систем для сбора и отведения сточных вод к очистным сооружениям.

Сточные воды представляют собой двухфазную систему «жидкое – твердое» и технология их очистки заключается в удалении твердой фазы. Удельные энергозатраты на очистку сточных вод зависят от концентрации загрязнений и неоднородности их состава. По условиям образования стоки подразделяют на промышленные, бытовые и поверхностные, что обуславливает диапазон изменения дисперсности содержащихся в них взвешенных веществ, их адгезионные свойства и способность к осаждению.

Очистка стоков включает в себя четыре этапа: механический, биологический, физико-химический, дезинфицирующий. На первом этапе сточные воды подвергаются механической очистке, т. е. в процессе седиментации стоки разделяются на фракции в зависимости от плотности примесей. Отстаивание является самым простым и наименее энергозатратным способом удаления грубодисперсных нерастворимых веществ из сточных вод.

На скорость осаждения твердых частиц влияет их плотность и размер, а также плотность и вязкость дисперсионной среды. Седиментация протекает тем медленнее, чем меньше размеры частицы дисперсной фазы и чем меньше значение разности плотностей твердой и жидкой фаз. Если плотность дисперсной фазы больше плотности дисперсионной среды, то взвешенные частицы оседают на дно сосуда. Большая часть грубодисперсных примесей оседает в течение первых двух часов, при этом продолжительность отстаивания зависит от дальнейшего метода очистки сточных вод.

До 60 % нерастворимых загрязнений за-

держивается в процессе механической очистки сточных вод, что позволяет подготовить стоки к последующим этапам очистки.

Для исследователей [1–28], занимающихся вопросами водоснабжения и водоотведения, очистка стоков является важной задачей, препятствующей загрязнению окружающей среды.

В промышленных отстойниках седиментация частиц может происходить в ламинарном, переходном или турбулентном режиме. Целью исследования было установление критерияльных уравнений для процессов осаждения частиц песка, стекла и гранул полиамида на основе метода анализа размерностей и определение их коэффициентов [29, 30].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследованиях использовался речной песок, сферические частицы стекла, гранулы полиамида и дистиллированная вода.

Методика исследования заключалась в следующем. Осаждение твердых частиц проводилось в мерном стеклянном цилиндре, заполненном дистиллированной водой до высоты 40 см. Предварительно, у каждой частицы замерялся диаметр. Далее, с помощью пинцета она соприкасалась с уровнем поверхности воды точно по центру стеклянного цилиндра, отпускалась и под действием силы тяжести оседала, исключая касания о стенки сосуда. Время прохождения частицы между метками мерной емкости фиксировалось с помощью секундомера. Верхняя метка располагалась на 3 см ниже уровня воды. Опыт с каждой частицей повторялся трижды.

Критерии вычислялись по средним значениям диаметра частиц и скорости их осаждения.

Параметрами, влияющими на скорость осаждения (седиментации) твердой частицы в воде (V_{oc} , м/с), являются: d – диаметр твердой

частицы, м; ρ – плотность твердой частицы, кг/м³; ρ_w – плотность воды, кг/м³; $(\rho - \rho_w)$ – разность плотностей твердой частицы и воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; μ_w – динамический коэффициент вязкости воды, Па·с.

Скорость осаждения твердой частицы есть функция от перечисленных параметров:

$$V_{oc} = f(d, \rho_w, (\rho - \rho_w), \mu_w, g) \quad (1)$$

Основными единицами измерения процесса седиментации являются килограммы (единица измерения массы [M]), метры (единица измерения длины [L]), секунды (единица измерения времени [T]). Единица измерения скорости осаждения частицы через основные единицы измерения может быть записана в виде:

$$[V_{oc}] = [L]^1 [M]^0 [T]^{-1}, \quad (2)$$

$$\frac{M}{C} = M^1 \cdot K\mathcal{E}^0 \cdot C^{-1}. \quad (3)$$

Единицы измерения остальных параметров процесса записываются как:

$$[d] = [L]^1 [M]^0 [T]^0, \quad (4)$$

$$[\rho_w] = [L]^{-3} [M]^1 [T]^0, \quad (5)$$

$$[\rho - \rho_w] = [L]^{-3} [M]^1 [T]^0, \quad (6)$$

$$[g] = [L]^1 [M]^0 [T]^{-2}, \quad (7)$$

$$[\mu_w] = [L]^{-1} [M]^1 [T]^{-1}. \quad (8)$$

Табл. 1 содержит сведения об единицах измерения параметров процесса седиментации.

Таблица 1. Единицы измерения параметров процесса седиментации.

Table 1. Units of measurement for the parameters of the sedimentation process.

Параметр	Единица измерения	Формула единицы измерения	Показатели степени		
			[L]	[M]	[T]
V_{oc}	м/с	$[V_{oc}] = [L]^1 [M]^0 [T]^{-1}$	1	0	-1
d	м	$[d] = [L]^1 [M]^0 [T]^0$	1	0	0
ρ_w	кг/м ³	$[\rho_w] = [L]^{-3} [M]^1 [T]^0$	-3	1	0
$\rho - \rho_w$	кг/м ³	$[\rho - \rho_w] = [L]^{-3} [M]^1 [T]^0$	-3	1	0
g	м/с ²	$[g] = [L]^1 [M]^0 [T]^{-2}$	1	0	-2
μ_w	Па·с	$[\mu_w] = [L]^{-1} [M]^1 [T]^{-1}$	-1	1	-1

За основные параметры принимаются диаметр твердой частицы d , плотность воды ρ_w , коэффициент динамической вязкости воды μ_w . Их число равняется числу первичных единиц измерения: кг, с, м. Из формул (4), (5), (8) для единиц измерения d , ρ_w , μ_w составляется система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} [d] &= [L]^{l_1} [M]^{m_1} [T]^{t_1} \\ [\rho_w] &= [L]^{l_2} [M]^{m_2} [T]^{t_2} \\ [\mu_w] &= [L]^{l_3} [M]^{m_3} [T]^{t_3} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Прологарифмировав, получаем:

$$\left. \begin{aligned} \lg[d] &= l_1 \lg[L] + m_1 \lg[M] + t_1 \lg[T] \\ \lg[\rho_w] &= l_2 \lg[L] + m_2 \lg[M] + t_2 \lg[T] \\ \lg[\mu_w] &= l_3 \lg[L] + m_3 \lg[M] + t_3 \lg[T] \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Система уравнений (10) будет иметь единственное решение при определителе матрицы не равном нулю [29].

Для параметров d , ρ_w , μ_w методом треугольника, используя данные табл. 1, вычисляем определитель матрицы:

$$\Delta = \begin{vmatrix} l_1 & m_1 & t_1 \\ l_2 & m_2 & t_2 \\ l_3 & m_3 & t_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -3 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & -1 \end{vmatrix} = -1 \neq 0. \quad (11)$$

Определитель матрицы не равен нулю (11), т. е. основные параметры процесса седиментации d , ρ_w , μ_w выбраны правильно.

Количество переменных величин (параметров процесса) равно $z=6$, а основных единиц измерения $q=3$. Согласно теореме подобия, число критериев подобия, описывающих процесс седиментации, равно $z-q=3$.

Значения критериев подобия определяют как отношение каждой величины (V_{oc} , $(\rho - \rho_w)$, g) к произведению основных величин (d , ρ_w , μ_w), возведенных в степень. Формулы для расчета критериев подобия будут иметь вид:

$$\Pi_1 = \frac{V_{oc}}{d^a \cdot \rho_w^b \cdot \mu_w^c}, \quad (12)$$

$$\Pi_2 = \frac{\rho - \rho_w}{d^k \cdot \rho_w^l \cdot \mu_w^m}, \quad (13)$$

$$\Pi_3 = \frac{g}{d^e \cdot \rho_w^p \cdot \mu_w^f}. \quad (14)$$

Если представить зависимость (1) в виде, отражающем связь между безразмерными критериями, получаем:

$$\frac{V_{oc}}{d^a \cdot \rho_w^b \cdot \mu_w^c} = \varphi \left(\frac{\rho - \rho_w}{d^k \cdot \rho_w^l \cdot \mu_w^m}; \frac{g}{d^e \cdot \rho_w^p \cdot \mu_w^f} \right), \quad (15)$$

т. е.

$$\Pi_1 = \varphi(\Pi_2; \Pi_3).$$

Левая часть уравнения (15) является безразмерной величиной, поэтому справедливы выражения

$$\frac{[V_{oc}]}{[d]^a \cdot [\rho_w]^b \cdot [\mu_w]^c} = 1 \quad (16)$$

или

$$\frac{[L]^1 [T]^{-1}}{[L]^a \cdot ([M][L]^{-3})^b \cdot ([M][L]^{-1} [T]^{-1})^c} = 1 \quad (17)$$

Тогда

$$[M]^{-b-c} [L]^{1-a+3b+c} [T]^{-1+c} = 1 \quad (18)$$

Равенство (18) будет выполняться при

$$\left. \begin{aligned} -b-c &= 0 \\ 1-a+3b+c &= 0 \\ -1+c &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (19)$$

откуда

$$b = -1, c = 1, a = -1$$

Критерий подобия (12) будет иметь вид

$$\Pi_1 = Re = \frac{V_{oc} \cdot d \cdot \rho_w}{\mu_w}$$

Критерий $\Pi_1 = Re$ называется критерием Рейнольдса.

В уравнении (15) безразмерным является выражение

$$\frac{\rho - \rho_w}{d^k \cdot \rho_w^l \cdot \mu_w^m}, \quad (20)$$

поэтому

$$\frac{[\rho - \rho_w]}{[d]^k \cdot [\rho_w]^l \cdot [\mu_w]^m} = 1 \quad (21)$$

или

$$\frac{[M][L]^{-3}}{[L]^k \cdot ([M][L]^{-3})^l \cdot ([M][L]^{-1} [T]^{-1})^m} = 1 \quad (22)$$

$$[M]^{1-l-m} [L]^{-3-k+l+m} [T]^m = 1 \quad (23)$$

Равенство (23) будет выполняться при

$$\left. \begin{aligned} 1-l-m &= 0 \\ -3-k+l+m &= 0 \\ m &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (24)$$

откуда

$$m = 0, l = 1, k = 0.$$

Тогда безразмерный критерий подобия (13) примет вид

$$\Pi_2 = \frac{\rho - \rho_w}{\rho_w}$$

В уравнении (15) безразмерным является выражение

$$\frac{g}{d^e \cdot \rho_w^p \cdot \mu_w^f},$$

тогда

$$\frac{[g]}{[d]^e \cdot [\rho_w]^p \cdot [\mu_w]^f} = 1 \quad (25)$$

или

$$\frac{[L][T]^{-2}}{[L]^e \cdot ([M][L]^{-3})^p \cdot ([M][L]^{-1} [T]^{-1})^f} = 1 \quad (26)$$

$$[M]^{-p-f} [L]^{1-e+3p+f} [T]^{-2-f} = 1 \quad (27)$$

Равенство (27) выполняется в том случае, если

$$\left. \begin{aligned} -p-f &= 0 \\ 1-e+3p+f &= 0 \\ f-2 &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (28)$$

откуда

$$f = 2, p = -2, e = -3$$

Безразмерный критерий подобия (14) будет иметь вид

$$\Pi_3 = \frac{g \cdot d^3 \cdot \rho_w^2}{\mu_w^2}$$

Произведение критериев Π_2 и Π_3 называется критерием Архимеда

$$\begin{aligned} Ar = \Pi_2 \cdot \Pi_3 &= \frac{\rho - \rho_w}{\rho_w} \cdot \frac{g \cdot d^3 \cdot \rho_w^2}{\mu_w^2} = \\ &= \frac{g \cdot d^3 \cdot (\rho - \rho_w) \cdot \rho_w}{\mu_w^2} \end{aligned} \quad (29)$$

Зависимость между безразмерными критериями подобия для процесса осаждения примет вид

$$\frac{V_{oc} \cdot d \cdot \rho_w}{\mu_w} = \varphi \left(\frac{g \cdot d^3 \cdot (\rho - \rho_w) \cdot \rho_w}{\mu_w^2} \right) \quad (30)$$

или

$$Re = \phi(Ar) \quad (31)$$

Зависимость (31) можно представить в виде

$$Re = m \cdot Ar^n \quad (32)$$

Уравнение (32) соответствует уравнению, полученному аналитическим методом. Вид функции (32) можно определить только экспериментально [31].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты экспериментов по осаждению единичных частиц песка, сферических частиц стекла и гранул полиамида в воде приведены в табл. 2, 3 и 4 и изображены на рис. 1, 2.

Диаметры частиц песка d находились в диапазоне от 0,001 м до 0,003 м, плотность твердых частиц песка $\rho = 2650$ кг/м³, высота слоя воды $h = 0,4$ м, температура дистиллированной воды составляла 17 °С, коэффициент динамической вязкости воды $\mu_w = 0,001083$.

Диаметры сферических частиц стекла предполагались в диапазоне от 0,0025 до 0,004 м, плотность частиц $\rho = 2550$ кг/м³.

Гранулы полиамида имели неправильную форму, близкую к цилиндрической, поэтому в расчетах использовался их средний объемно-поверхностный диаметр d_{cp} , диапазон которого составил от 0,0022 м до 0,003 м, плотность твердых частиц полиамида $\rho=1080$ кг/м³. Графические зависимости критерия Рейнольдса от критерия Архимеда при осаждении частиц песка размером 0,001-0,003 м (рис. 1а) и гранул полиамида (рис. 1б) в переходном режи-

ме, т. е. при $2 < Re < 500$ описываются уравнениями

для частиц песка:

$$Re = 2,7675 \cdot Ar^{0,3964}, \quad (33)$$

для гранул полиамида:

$$Re = 0,9317 \cdot Ar^{0,4872} \quad (34)$$

Величина достоверности аппроксимации уравнения (33) составляет 0,94, уравнения (34) – 0,91.

Таблица 2. Результаты экспериментов по осаждению частиц песка в переходном режиме

Table 2. The results of experiments on the deposition of sand particles in the transient regime

№ п/п	Диаметр частиц песка, d , м	Время осаждения частиц, t , с	Скорость осаждения частиц, V_{oc} , м/с	Критерий Рейнольдса, Re	Критерий Архимеда, Ar
1	0,0025	2,32	0,172414	397,6024	215548,34
2	0,0025	2,42	0,165289	381,1726	215548,34
3	0,0017	2,23	0,179372	281,2814	67775,30
4	0,0025	2,75	0,145455	335,4319	215548,34
5	0,0030	2,03	0,197044	545,2834	372467,53
6	0,0015	2,55	0,156863	217,0442	46558,44
7	0,0020	2,56	0,156250	288,2618	110360,75
8	0,0020	2,43	0,164609	303,6832	110360,75
9	0,0015	2,43	0,164609	227,7624	46558,44
10	0,0011	3,05	0,131148	133,0730	18361,27
11	0,0015	3,27	0,122324	169,2546	46558,44
12	0,0015	2,68	0,149254	206,5159	46558,44
13	0,0011	2,66	0,150376	152,5837	18361,27
14	0,0012	2,82	0,141844	157,0107	23837,92
15	0,0013	3,01	0,132890	159,3580	30307,82
16	0,0011	3,09	0,129450	131,3503	18361,27
17	0,0010	3,64	0,109890	101,3668	13795,09
18	0,0010	2,88	0,138889	128,1163	13795,09
19	0,0011	3,47	0,115274	116,9662	18361,27
20	0,0013	2,95	0,135593	162,5992	30307,82
21	0,0029	2,88	0,138889	371,5374	336448,54
22	0,0025	2,64	0,151515	349,4082	215548,34
23	0,0023	3,16	0,126582	262,7196	157134,74
24	0,0023	2,69	0,148699	308,6223	157134,74
25	0,0030	2,56	0,156250	432,3927	372467,53

Экспериментальная зависимость критерия Рейнольдса от критерия Архимеда при осаждении сферических частиц стекла размером 0,0025-0,004 м в турбулентном режиме, т. е. при $Re > 500$ (рис. 1в) описывается уравнением

$$Re = 0,7519 \cdot Ar^{0,5573} \quad (35)$$

Достоверность аппроксимации уравнения (35) составляет 0,9. Зависимость времени

осаждения t , сек. твердых частиц диаметром 2,5 мм от их плотности (рис. 2) описывается уравнением

$$t = 15,964 - 0,0054 \cdot \rho, \quad (36)$$

где ρ – плотность твердых частиц, кг/м³. Величина достоверности аппроксимации уравнения (36) составляет 0,97.

Таблица 3. Результаты экспериментов по осаждению гранул полиамида в переходном режиме
Table 3. The results of experiments on the deposition of polyamide granules in the transient regime

№ п/п	Средний объемно- поверхностный диаметр частиц полиамида, d_{cp} , м	Время осаждения частиц, t , с	Скорость осаждения частиц, V_{oc} , м/с	Критерий Рейнольдса, Re	Критерий Архимеда, Ar
1	0,0027	10,19	0,039254	95,8488	12553,17
2	0,0029	10,28	0,038911	102,5501	15785,51
3	0,0029	10,22	0,039139	103,1521	15785,51
4	0,0023	11,44	0,034965	72,5694	7709,22
5	0,0027	10,2	0,039216	95,7548	12553,17
6	0,0029	10,44	0,038314	100,9784	15785,51
7	0,0025	10,68	0,037453	84,4775	9894,84
8	0,0028	10,07	0,039722	101,2449	14278,41
9	0,0029	10,04	0,039841	105,6148	16063,74
10	0,0025	11,49	0,034813	79,5217	10277,53
11	0,0027	10,97	0,036463	90,8688	13345,54
12	0,0024	11,77	0,033985	74,5616	9106,39
13	0,0029	10,21	0,039177	106,3702	17258,73
14	0,0027	10,02	0,039920	100,1528	13616,45
15	0,0029	10,25	0,039024	102,8502	15785,51
16	0,0027	10,8	0,037037	92,5311	13446,41
17	0,0023	9,89	0,040445	86,5936	8462,87
18	0,0030	9,72	0,041152	115,1190	18876,08
19	0,0022	11,82	0,033841	68,0778	7020,06
20	0,0025	11,49	0,034813	78,8221	10008,66

Таблица 4. Результаты осаждения сферических частиц стекла в турбулентном режиме
Table 4. The results of the deposition of spherical glass particles in a turbulent regime

№ п/п	Средний диаметр частиц стекла, d_{cp} , м	Время осаждения частиц, t , с	Скорость осаждения частиц, V_{oc} , м/с	Критерий Рейнольдса, Re	Критерий Архимеда, Ar
1	0,0029	1,18	0,338983	906,8031	316070,07
2	0,0026	1,38	0,289855	695,1704	227776,77
3	0,0031	1,25	0,320000	915,0582	386077,47
4	0,0032	1,18	0,338983	1000,6104	424658,01
5	0,0029	1,25	0,320000	856,0222	316070,07
6	0,0029	1,25	0,320000	856,0222	316070,07
7	0,0025	1,38	0,289855	668,4331	202492,72
8	0,0030	1,18	0,338983	938,0722	349907,41
9	0,0030	1,47	0,272109	753,0104	349907,41
10	0,0030	1,18	0,338983	938,0722	349907,41
11	0,0031	1,05	0,380952	1089,3550	386077,47
12	0,0039	1,05	0,380952	1370,4789	768746,59
13	0,0039	0,99	0,404040	1453,5382	768746,59
14	0,0030	1,12	0,357143	988,3261	349907,41
15	0,0030	1,12	0,357143	988,3261	349907,41
16	0,0035	0,99	0,404040	1304,4573	555640,01
17	0,0031	1,12	0,357143	1021,2703	386077,47
18	0,0040	1,05	0,380952	1405,6193	829410,17
19	0,0031	1,12	0,357143	1021,2703	386077,47
20	0,0030	1,18	0,338983	938,0722	349907,41

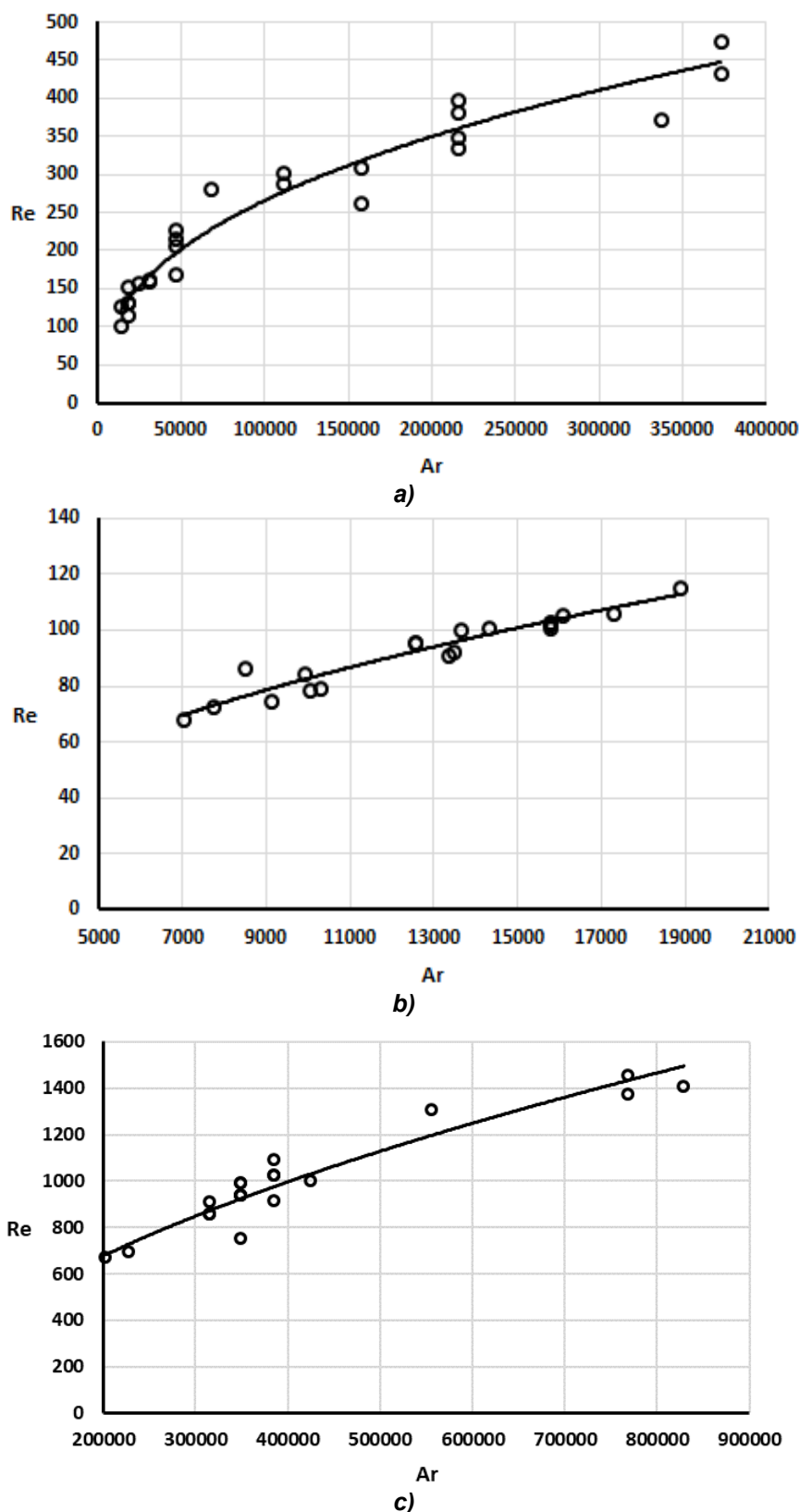


Рис. 1. Экспериментально установленные зависимости критерия Рейнольдса (Re) от критерия Архимеда (Ar) при осаждении частиц песка: а) и гранул полиамида; б) в переходном режиме, сферических частиц стекла; в) в турбулентном режиме
Fig. 1. Experimentally established dependences of the Reynolds criterion (Re) on the Archimedes criterion (Ar) in the deposition of sand particles: a) and polyamide granules; b) in the transient regime, spherical glass particles; c) in turbulent regime

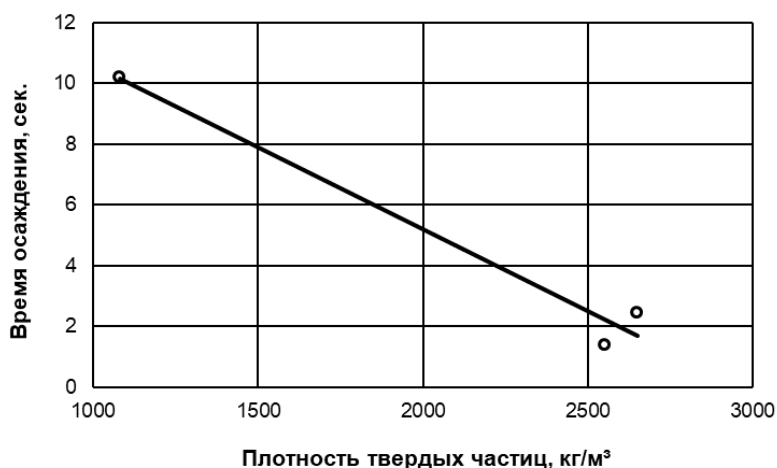


Рис. 2. Зависимость времени осаждения твердых частиц от их плотности
Fig. 2. Dependence of the deposition time of solid particles on their density

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в процессе исследования критериальные уравнения (33–35) и их коэффициенты, а также зависимость (36), могут быть

полезны при проектировании отстойников для механической очистки сточных вод от частиц песка, стекла и полимеров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Галкин Ю.А., Уласовец Е.А., Басков Е.М., Болтаев В.А., Селицкий Г.А. Совершенствование конструкции и интенсификация работы сооружений для механической очистки промышленных и ливневых сточных вод // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2008. № 1 (1). С. 42–48. EDN: IYEMTM.
2. Буренин В.В. Новые технологии очистки сточных вод от нефтепродуктов и механических примесей // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2007. № 4. С. 19–21. EDN: KXASUN.
3. Новоселов А.М., Новоселова Е.Б. Механическое обезвоживание осадка в процессе очистки сточных вод // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Сб. науч. трудов XII-ой Междунар. науч.-практ. конф.: в 4-х т. (г. Курск, 19–20 марта 2015 г.). Курск, 2015. Т. 3. С. 248–250. EDN: TRBEVR.
4. Кадырова А.М. Механические и физико-химические методы очистки сточных вод // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения. 2015. № 1. С. 81–85. EDN: WHJNUN.
5. Ильин П.П. Новые возможности в механической очистке сточных вод // Мясные технологии. 2016. № 11 (167). С. 34–35. EDN: XSFBVL.
6. Попов А.В., Назимко Е.И. Механическая очистка сточных вод // Молодой исследователь: вызовы и перспективы. Сб. статей по материалам XXXI Междунар. науч.-практ. конф. М., 2017. № 6 (31). С. 99–102. EDN: YKBRDJ.
7. Варезкин Ю.М., Михайлова А.Н., Сеницына И.Н. Очистка сточных вод. М.: НИИТЭХИМ, 1989. 54 с.
8. Татевосян Г. Применение автономных систем канализации в процессах очистки сточных вод // Водочистка. 2020. № 1. С. 9–17. EDN: DFUCUD.
9. Myrzaliev S.K., Pratama G.N.I.P., Khamidulla A.G. Wastewater Treatment Using Natural Zeolite Materials // Комплексное использование минерального сырья. 2021. № 2 (317). С. 64–68. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.19>. EDN: AYQITV.
10. Ксенофонов Б.С. Проблемы очистки сточных вод промышленных предприятий // Безопасность жизнедеятельности. 2011. № 3. С. 1–24. EDN: NDXPVJ.
11. Tchobanoglous G., Stensel H.D., Tsuchihashi R., Burton F.L. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. New York: McGraw-Hill, 2013. 2048 p.
12. Дудоров В.Е., Хисматулина Д.Н., Исхакова Э.Р. Методы очистки сточных вод, виды очистных сооружений и инновации в области очистки сточных вод // Наука среди нас. 2019. № 4 (20). С. 43–48. EDN: PREGZQ.
13. Manar Elsayed A.-R., Nermine E. M., Reem K.F., Abdul-Raheim Mahmoud A.-R. Wastewater Treatment Methodologies // International Journal of Environment and Agricultural Science. 2019. Vol. 3. Iss. 1. P. 1–25.

14. Zăbavă B.S., Voicu Gh., Ungureanu N., Dincă M., Safta V.V. Basic Equipment for The Mechanical Treatment of Wastewater // International Symposium ISB-INMA TEH, Agricultural and Mechanical Engineering. 2015. P. 349–356.
15. Aqeel A., Zafar J. Comprehensive Note on Various Wastewater Treatment Strategies // Aquatic Contamination: Tolerance and Bioremediation. Hoboken: John Wiley & Sons, 2023. P. 345–365. <https://doi.org/10.1002/9781119989318.ch20>.
16. Nuralhuda A.J., Hamidi A.A. The Design for Wastewater Treatment Plant (WWTP) With GPS X Modelling // Cogent Engineering. 2020. Vol. 7. Iss. 1. P. 1–33. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1723782>.
17. Avijit Mallik, Md. Arman Arefin, Mhia Md. Zaglul Shahadat Design and Feasibility Analysis of a Low-Cost Water Treatment Plant for Rural Regions of Bangladesh // AIMS Agriculture and Food. 2018. Vol. 3. Iss. 3. P. 181–204. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2018.3.181>.
18. Чеботарева А.А., Бариева Э.Р., Серазеева Е.В. Особенности очистки городских сточных вод и повышение эффективности очистки // Академический вестник ELPIT. 2021. Т. 6. № 4. С. 12–17. EDN: VFBIQA.
19. Bourgin M., Beck B., Boehler M., Borowska E., Fleiner J., Salhi E. [et al.] Evaluation of A Full-Scale Wastewater Treatment Plant Upgraded with Ozonation and Biological Post-Treatments: Abatement of Micropollutants, Formation of Transformation Products and Oxidation By-Products // Water Research. 2018. Vol. 129. Iss. 1. P. 486–498. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.10.036>.
20. Alaa Fahad, Radin Maya Saphira Mohamed, Bakar Radhi, Mohammed Al-Sahari Wastewater and its Treatment Techniques: An Ample Review // Indian Journal of Science and Technology. 2019. Vol. 12. Iss. 25. P. 1–13. <https://doi.org/10.17485/ijst/2019/v12i25/146059>.
21. Архипов В.А., Усанина А.С., Золоторев Н.Н., Маслов Е.А. Динамика процесса осаждения твердых частиц в жидкости // Материалы XX Юбилейной Междунар. конф. по вычислительной механике и современным прикладным системам (ВМСППС 2017) (г. Алушта, 24–31 мая 2017 г.). Москва, 2017. С. 612–613. EDN: ZSLZTV.
22. Кадирова Г.О., Азизова У.Х., Дехканов З.К. Исследование процесса осаждения и укрупнения твердых частиц на промышленных предприятиях Наманганской области // Universum: химия и биология. 2020. № 4 (70). С. 67–70. EDN: VCCICY.
23. Гасанов А.А., Гамзаева Н.Х. Моделирование процесса осаждения твердой частицы из потока жидкости в горизонтальном гравитационном сепараторе // Химическая технология. 2020. Т. 21. № 5. С. 230–235. <https://doi.org/10.31044/1684-5811-2020-21-5-230-235>. EDN: KWXISI.
24. Вороненко Б.А., Пеленко В.В., Поляков С.В. К вопросу об описании гидромеханического процесса осаждения твердых частиц в жидкой среде // Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 4. С. 1–6. EDN: SXIRML.
25. Кырлан В.В., Блазнов А.Н., Фролов А.В. Исследование осаждения твердых частиц в процессах очистки сточных флотационных вод // Водоочистка. 2013. № 5. С. 28–33. EDN: PZVQMP.
26. Блазнов А.Н., Кырлан В.В., Фролов А.В., Бажин В.Е., Иванова Д.Б. Экспериментальные исследования осаждения твердых частиц под действием гравитационных и центробежных сил в процессах очистки сточных флотационных вод // Ползуновский вестник. 2013. № 3. С. 293–299. EDN: RDDXUN.
27. Тарасенко А.С., Губанов Н.Д. Направления модернизации схемы механической очистки сточных вод АО «Ангарская нефтехимическая компания» // Молодежный вестник ИрГТУ. 2019. Т. 9. № 1. С. 89–94. EDN: OQODHP.
28. Вайцель А.А. Механические методы очистки сточных вод // Наука, образование и культура. 2019. № 3 (37). С. 13–14. EDN: QJBYEN.
29. Бальчугов А.В., Бадеников А.В., Баранова А.А. Критериальное уравнение процесса седиментации в переходном режиме // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2023. № 17. С. 53–56. EDN: LLJJCP.
30. Бальчугов А.В., Бадеников А.В., Баранова А.А. Экспериментальное исследование процесса седиментации частиц песка в турбулентном режиме // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2024. № 11. С. 3–4. EDN: GENIDV.

REFERENCES

1. Galkin Yu.A., Ulasovets E.A., Baskov E.M., Boltaev V.A., Selitskii G.A. Improving The Design and Intensifying the Operation of Structures for The Mechanical Treatment of Industrial and Storm Wastewater. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2008;1(1):42-48. (In Russ.). EDN: IYEMTM.
2. Burenin V.V. New Technologies for Treating Wastewater from Petroleum Products and Mechanical Impurities. *Transport i khranenie nefteproduktov*. 2007;4:19-21. (In Russ.). EDN: KXASUN.
3. Novoselov A.M., Novoselova E.B. Mechanical Dewatering of Sludge During Wastewater Treatment. In: *Sovremennye instrumental'nye sistemy, informacionnye tehnologii i innovacii. Sbornik nauchnykh trudov XII-oy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: v 4-h t = Modern Instrumental Systems, Information*

Technologies and Innovations. Collection of Scientific Papers of The XII International Scientific and Practical Conference: In 4 Volumes. 19–20 March 2015, Kursk. Kursk; 2015. Vol. 3. p. 248–250. (In Russ.). EDN: TRBEVR.

4. Kadyrova A.M. The Mechanical and Physico-Chemical Methods of Sewage Treatment. *Nauka v sovremennykh usloviyakh: ot idei do vnedreniya.* 2015;1:81–85. (In Russ.). EDN: WHJNUN.

5. Il'in P.P. New Opportunities in Mechanical Wastewater Treatment. *Meat Technology.* 2016;11(167):34–35. (In Russ.). EDN: XSFBVL.

6. Popov A.V., Nazimko E.I. Mechanical Wastewater Treatment. In: *Molodoi issledovatel': vyzovy i perspektivy. Sbornik statei po materialam XXXI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Young Researcher: Challenges and Prospects. Collection of Articles Based On the Materials of The XXXI International Scientific and Practical Conference.* Moscow; 2017. Iss. 6 (31). p. 99–102. (In Russ.). EDN: YKBRDJ.

7. Varezkhin Yu.M., Mikhailova A.N., Sinitsyna I.N. *Wastewater Treatment.* Moscow: NIITEKHIM, 1989. 54 p. (In Russ.).

8. Tatevosyan G. Application of Autonomous Sewerage Systems in Wastewater Treatment Processes. *Vodoochistka.* 2020;1:9–17. (In Russ.). EDN: DFUCUD.

9. Myrzaliev S.K., Pratama G.N.I.P., Khamidulla A.G. Wastewater Treatment Using Natural Zeolite Materials. *Complex Use of Mineral Resources.* 2021;2(317):64–68. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.19>. EDN: AYQITV.

10. Ksenofontov B.S. Purification of Waste Water from Industrial Enterprises. *Scientific, Practical and Educational-Methodical Journal Life Safety.* 2011;3:1–24. EDN: NDXPVJ.

11. Tchobanoglous G., Stensel H.D., Tsuchihashi R., Burton F.L. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery.* New York: McGraw-Hill, 2013. 2048 p.

12. Dudorov V.E., Khismatulina D.N., Iskhakova E.R. Methods of Wastewater Treatment, Types of Treatment Facilities and Innovations in The Field of Wastewater Treatment. *Nauka sredi nas.* 2019;4(20):43–48. (In Russ.). EDN: PREGZQ.

13. Manar Elsayed A.-R., Nermine E M., Reem K.F., Abdul-Raheim Mahmoud A.-R. Wastewater Treatment Methodologies. *International Journal of Environment and Agricultural Science.* 2019;3(1):1–25.

14. Zăbavă B.S., Voicu Gh., Ungureanu N., Dincă M., Safta V.V. Basic Equipment for The Mechanical Treatment of Wastewater. In: *International Symposium ISB-INMA TEH, Agricultural and Mechanical Engineering.* 2015. P. 349–356.

15. Aqeel A., Zafar J. Comprehensive Note on Various Wastewater Treatment Strategies. In: *Aquatic Contamination: Tolerance and Bioremediation.* Hoboken: John Wiley & Sons, 2023. P. 345–365. <https://doi.org/10.1002/9781119989318.ch20>.

16. Nuralhuda A.J., Hamidi A.A. The Design for Wastewater Treatment Plant (WWTP) With GPS X Modeling. *Cogent Engineering.* 2020;7(1):1–33. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1723782>.

17. Avijit Mallik, Md. Arman Arefin, Mhia Md. Zaglul Shahadat Design and Feasibility Analysis of a Low-Cost Water Treatment Plant for Rural Regions of Bangladesh. *AIMS Agriculture and Food.* 2018;3(3):181–204. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2018.3.181>.

18. Chebotareva A.A., Barieva E.R., Serazeeva E.V. Features of Urban Wastewater Treatment and Increasing Treatment Efficiency. *Akademicheskii vestnik ELPIT.* 2021;6(4):12–17. (In Russ.). EDN: VFBIQA.

19. Bourgin M., Beck B., Boehler M., Borowska E., Fleiner J., Salhi E. [et al.] Evaluation of A Full-Scale Wastewater Treatment Plant Upgraded with Ozonation and Biological Post-Treatments: Abatement of Micropollutants, Formation of Transformation Products and Oxidation By-Products. *Water Research.* 2018;129(1):486–498. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.10.036>.

20. Alaa Fahad, Radin Maya Saphira Mohamed, Bakar Radhi, Mohammed Al-Sahari Wastewater and its Treatment Techniques: An Ample Review. *Indian Journal of Science and Technology.* 2019;12(25):1–13. <https://doi.org/10.17485/ijst/2019/v12i25/146059>.

21. Arkhipov V.A., Usanina A.S., Zolotorev N.N., Maslov E.A. Dynamics of The Process of Sedimentation of Solid Particles in Liquid. In: *Materialy XX Jubilejnoj Mezhdunarodnoj konferencii po vychislitel'noj mehanike i sovremennym prikladnym sistemam (VMSPPS 2017) = Proceedings of the XX Anniversary International Conference on Computational Mechanics and Modern Applied Systems (VMSPPS 2017).* 24–31 May 2017, Alushta. Moscow; 2017. p. 612–613. (In Russ.). EDN: ZSLZTV.

22. Kadirova G.O., Azizova U.Kh., Dekhkanov Z.K. Investigation of The Process of Subsidizing and Fixing Insolvent Demands in Industrial Enterprises of the Namanagan Area. *Universum: khimiya i biologiya.* 2020;4(70):67–70. (In Russ.). EDN: VCCICY.

23. Gasanov A.A., Gamzaeva N.Kh. Imulation of Sedimentation Process of Solid Particle from Liquid Flow in Horizontal Gravity Separator. *Khimicheskaya tekhnologiya.* 2020;21(5):230–235. <https://doi.org/10.31044/1684-5811-2020-21-5-230-235>. (In Russ.). EDN: KWXISI.

24. Voronenko B.A., Pelenko V.V., Polyakov S.V. On The Deposition Process Herein Hydromechanical Solids in A Liquid Medium. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2013;4:1-6. (In Russ.). EDN: SXIRML.
25. Kyrlan V.V., Blaznov A.N., Frolov A.V. Study of Solids Sedimentation in Flotation Wastewater Treatment Processes. *Vodoочистка.* 2013;5:28-33. (In Russ.). EDN: PZVQMP.
26. Blaznov A.N., Kyrlan V.V., Frolov A.V., Bazhin V.E., Ivanova D.B. Experimental Studies of Solid Particle Sedimentation Under the Influence of Gravitational and Centrifugal Forces in Flotation Wastewater Treatment Processes. *Polzunovskii vestnik.* 2013;3:293-299. (In Russ.). EDN: RDDXUN.
27. Tarasenko A.S., Gubanov N.D. Direction of Modernization Scheme for Mechanical Wastewater Treatment of JSC Angarsk Petrochemical Company. *Young Researchers' Journal of ISTU.* 2019;9(1):89-94. (In Russ.). EDN: QQODHP.
28. Vaitseľ A.A. Mechanical Methods of Wastewater Treatment. *Nauka, obrazovanie i kul'tura.* 2019;3(37):13-14. (In Russ.). EDN: QJBYEN.
29. Balchugov A.V., Badenikov A.V., Baranova A.A. Criterion Equation for The Sedimentation Process in The Transition Regime. *Bulletin of The Angarsk State Technical University.* 2023;17:53-56. (In Russ.). EDN: LLJJCP.
30. Balchugov A.V., Badenikov A.V., Baranova A.A. Experimental Study of the Sedimentation Process Sand Particles in Turbulent Regime. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress.* 2024;11:3-4. (In Russ.). EDN: GENIDV.

Информация об авторах**Бальчугов Алексей Валерьевич,**

д.т.н., доцент, проректор,
Ангарский государственный
технический университет,
665835, г. Ангарск, квартал 85а, дом 5, Россия,
e-mail: balchug@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0008-7713-1814>
Author ID: 268365

Баранова Альбина Алексеевна,

к.т.н., доцент,
доцент кафедры промышленного
и гражданского строительства,
Ангарский государственный
технический университет,
665835, г. Ангарск, квартал 85а, дом 5, Россия,
✉e-mail: baranova2012aa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>
Author ID: 680451

Information about the authors**Aleksey V. Balchugov,**

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Vice-Rector,
Angarsk State Technical University,
5, 85A district, Angarsk 665835,
Russia,
e-mail: balchug@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0008-7713-1814>
Author ID: 268365

Albina A. Baranova,

Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Industrial and Civil Engineering,
Angarsk State Technical University,
5, 85A district, Angarsk 665835, Russia,
✉e-mail: baranova2012aa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>
Author ID: 680451

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 05.06.2024.
Одобрена после рецензирования 19.06.2024.
Принята к публикации 24.06.2024.

Information about the article

The article was submitted 05.06.2024.
Approved after reviewing 19.06.2024.
Accepted for publication 24.06.2024.



Особенности строительства в условиях низких температур

Т.В. Данченко¹, А.В. Ластовка²✉^{1,2}Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются особенности строительства в условиях низких температур. В данном материале представлены ранее полученные исследования по повышению надежности металлических и железобетонных конструкций. Низкие температуры негативно сказываются на проплавлении кромок металлоизделий во время сварки. Отмечено, что в проектных организациях, на основании анализа результатов исследовательских работ и проведенных расчетов, инженеры-проектировщики закладывают стальной прокат из низколегированных, нержавеющей сталей никелевых сплавов. Применяемые материалы обладают высокой вязкостью, имеют хорошую свариваемость, сохраняют прочность в процессе изготовления конструкций и их эксплуатации. В статье авторы анализируют строительные работы в зимних условиях. Рассмотрен один из основных технологических процессов в строительстве – монтаж. Перечисляются ограничения на ведение сварочных работ и бетонирования. Указано, в каком случае идет монтаж конструкций на болтах, а в каком – на ручной дуговой сварке. Также было отмечено то, что на заводах-изготовителях металлические изделия и конструкции перед транспортировкой на строительномонтажную площадку обрабатывают защитными покрытиями. Эти технологические операции направлены на защиту от коррозии металла и сохранение тепла в зданиях. Отмечено, что при температуре ниже 5 °С на строительной площадке применяют все технологические приемы зимнего бетонирования. Для того, чтобы цемент набрал необходимую прочность потребуется больше времени, чем при $t=+20^{\circ}\text{C}$. Метод искусственного подогрева, который изложен в материале, направлен на создание прочных бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

Ключевые слова: металлические конструкции, сварка, бетонные работы, низкие температуры, стали, добавки

Для цитирования: Данченко Т.В., Ластовка А.В. Особенности строительства в условиях низких температур // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 524–530. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-524-530>. EDN: RYNQWI.

Original article

Features of construction at low temperatures

Tamara V. Danchenko¹, Anatoliy V. Lastovka²✉^{1,2}Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. The present paper considers the features of construction at low temperatures and introduces the previous studies on improving the reliability of metal and reinforced concrete structures. Low temperatures adversely affect penetration of the edges of metal products during welding. Notably, design engineers consider the results of investigations and calculations, and incorporate steel products made of low-alloy, stainless steels, and nickel alloys. These materials demonstrate high viscosity, good weldability, retain strength in the process of manufacturing structures and their operation. The paper analyzes the construction works in winter conditions and considers installation as one of the main technological processes in construction. In addition, the paper lists the restrictions for welding and concreting, as well as indicates the conditions for structures to be installed using bolts or manual arc welding. Manufacturing plants are known to treat metal products and structures with protective coatings prior to transportation to the construction site. These technological operations are aimed at protecting metal from corrosion and at

retaining heat within buildings. All winter concreting techniques are indicated to be implemented on the construction site at temperatures below 5°C. Gaining the required strength of the cement needs more time in cold temperatures than at a temperature of +20°C. The method of artificial heating, presented in the paper, is intended to create durable concrete and reinforced concrete products and structures.

Keywords: metal structures, welding, concrete work, low temperatures, steels, additives

For citation: Danchenko T.V., Lastovka A.V. Features of construction at low temperatures. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):524-530. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-524-530>. EDN: RYNQWI.

ВВЕДЕНИЕ

Россия – северная страна, где суровый климат, долгая полярная ночь и сильные морозы. Однако жители северных регионов справляются со всеми трудностями (рис. 1). Здесь построены большие города с развитой промышленностью. Инженеры-строители, металлурги, сварщики и химики работают над созданием новых технологий и материалов с целью ис-

ключить негативное воздействие отрицательных температур на возводимые объекты. Северные регионы объединяют одни общие проблемы в плане строительства – большие расстояния от заводов изготовителей до места монтажа, отсутствие необходимой техники для возведения фундаментов, очень низкие температуры зимой (от -45 до -60 °C), высокие снеговые и ветровые нагрузки.

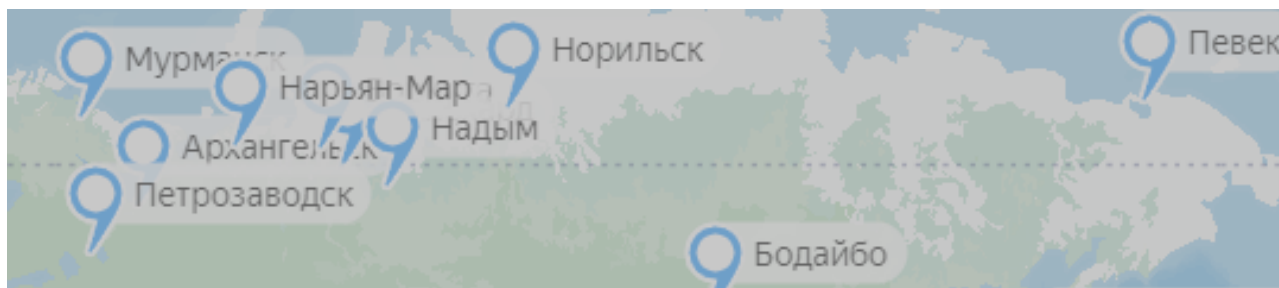


Рис. 1. Карта северных районов России
Fig. 1. Map of the northern regions of Russia

Также возникают сложности, связанные с монтажом конструкций на Севере и в Сибири, из-за глубинного промерзания почв и грунтов и вечной мерзлоты. Строить дом на ледяном панцире, который постоянно меняет свою структуру, очень сложно. Рыхлые грунты – песчаники, галечники и глины – в условиях вечной мерзлоты ведут себя самым непредсказуемым образом. Возведенные на них сооружения нагревают грунт, он теряет монолитность, начинает подтаивать и смещаться.

МЕТОДЫ

Монтажные строительные работы в основном выпадают на зимний период года. Следовательно, необходимо учитывать появления деформаций и напряжений в конструкциях. В них используются металлы с гранецентрированной кубической (ГЦК), гексагональной плотноупакованной (ГПУ) и объемно-центрированной кубической (ОЦК) решетками. Такие металлы обладают достаточной пластичностью для работы при низких (криогенных) температурах, при росте которой повышается проч-

ность. В отрицательных температурах их пластичность снижается даже при малых примесях, решетка становится хрупкой и теряет предел прочности. ГЦК – решетка сложная, имеет прочные связи между молекулами, но наличие примесей более 1 % приводит к хрупкому разрушению и имеет плохую свариваемость. Стоит отметить, что для несущих конструкций колонн и балок применяют металлы с большим количеством примесей, углеродистые стали с ОЦК решетками, сплавы алюминия и титана, такие марки стали, как С245, С285, ГОСТ 27772-2015, Ст. 09Г2С, 10ХСНД, ГОСТ19281-2014 и др.

Материалы, применяемые в конструкциях при низких температурах, должны обладать высокой вязкостью, не допускать хрупкого разрушения, иметь хорошую свариваемость, прочность, не менять свои свойства в процессе изготовления конструкции и эксплуатации [1]. Для этих целей возможно использование нержавеющей сталей, алюминиевых, медных и никелевых сплавов. Положительным влияние

никеля на хладнотокчост является сильное измельчение микроструктуры.

Получить мелкозернистую микроструктуру возможно при термической обработке, включающей закалку и последующий отпуск.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Монтажные работы металлоконструкций в зимних условиях имеют ряд затруднений, если температура ниже -25°C : замерзает гидравлика в строительной технике, кислород и пропан в баллонах. Также люди не могут находиться на объекте более 30 мин и вынуждены отогреваться в бытовых помещениях. Кроме перечисленного, существуют ограничения на ведение сварочных работ – сварку нельзя производить при температуре ниже -30°C .

Не допускаются монтажные работы при гололедице и сильном снегопаде. Следует отметить, что технология монтажа металлических конструкций в зимнее время не отличается от

технологии при положительных температурах. Сварка осуществляется теми же методами и приемами (рис. 2). Возникает необходимость определенных работ, таких как: перед монтажом металлоконструкций нужно удалить наледь скребками и щетками, прогреть обледеневшие места до полного исчезновения следов наледи [2]. В этом случае используются газовые горелки.

Для снижения опасности производства сварочных работ нельзя применять ударные воздействия. Гибку и правку металла выполняют с предварительным его подогреванием.

Для металлических конструкций используют защитные покрытия от воздействия окружающей среды. Гидроизоляционные покрытия защищают конструкции и части здания от агрессивных вод, также это могут быть асфальтовые, битумные, цементные, пластмассовые и металлические.

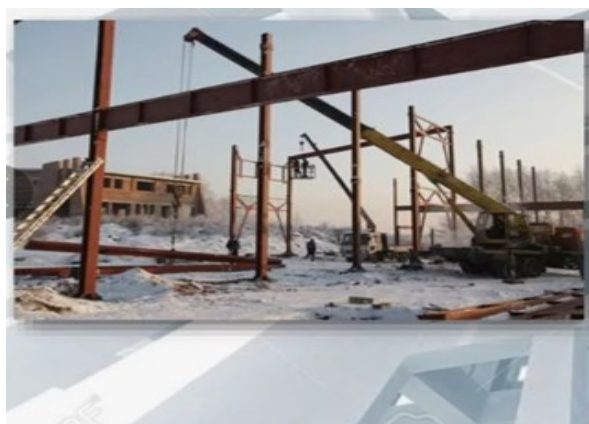


Рис. 2. Монтаж металлических конструкций в зимний период года
Fig. 2. Installation of metal structures in winter

Теплоизоляционные покрытия служат для защиты помещений и конструкций от потерь тепла [3–5]. В качестве теплоизоляционных материалов применяют современные материалы: шлако-, стекло- и минвату, пенополистирол и пробковые изделия, пено- и газобетон, перлит и вермикулит, древесноволокнистые

плиты и др. Чтобы не подвергать металлические конструкции разрушению под воздействием окружающей среды их покрывают антикоррозийными составами. В процессе монтажа металлоконструкций, а также для его крепления и сборки основных частей, применяется сварка.

Допускается применение на участках где исключены вибрационные нагрузки и воздействие со временем способно повредить сварной шов.

Болтовое соединение используется на труднодоступных участках, обеспечивает необходимую точность при стыковке элементов, устойчивость к вибрациям, коррозии, ударам, выдерживающим избыточное давление.

Применяются болты обычной или повышенной точности, изготовленные из марок высокопрочной стали. Монтаж на болтовых соединениях дороже сварочного шва, но имеет преимущества для стыковки деталей, подвергающихся вибрационным и другим нагрузкам. Бетонные работы в зимнее время требуют особого подхода [1].

Основная проблема – низкая температура воздуха, при которой строительные материалы и оборудование замерзают. Поэтому, при зимнем бетонировании главной задачей является не дать замерзнуть воде и другим материалам. Если заливать бетон в теплое время года (при температуре воздуха 20 °С), то за одну неделю он обретет 70 % проектной прочности. Если же температура воздуха достигает всего пяти градусов, то этот же процесс займет в 3–4 раза больше времени. Соответственно, при снижении температуры воздуха процесс гидратации цемента существенно замедляется и для того, чтобы бетон набрал необходимую прочность, потребуется больше времени [9–12]. Замерзшая вода расширяется и из-за этого увеличивается внутреннее давление.

Все это приводит к тому, что бетон становится менее прочным. Также из-за замерзшей воды появляются ледяные пленки, которые повреждают соединение между составляющими смеси.

Согласно СНиП 3.03.01 при температуре ниже пяти градусов требуется применять зимнее бетонирование. В этом случае используются несколько способов бетонирования:

- применение специальных противоморозных добавок;
- использование утеплителя для укрытия бетонной смеси;
- подогрев бетона.

Применение специальных противоморозных добавок является самым экономически выгодным и удобным способом зимнего бетонирования. Ведь при его применении не нужно тратиться на покупку дополнительного утеплителя, а также использовать термоматы для подогрева бетона [5]. Данный способ можно использовать совместно с другими методами подогрева или использовать добавки самостоятельно. Кроме противоморозных добавок в зимний период используют модификаторы. Они условно подразделяются на три группы:

1. В первую группу входят такие модификаторы, как сильные и слабые электролиты, неэлектролиты и составы органического происхождения – карбамид и многоатомные спирты. Они либо немного ускоряют, либо слабо замедляют процесс застывания бетона.

2. Во вторую группу входят «зимние» добавки, которые созданы на основе хлорида кальция. Они позволяют значительно ускорить схватывания бетонной смеси, застывания и обладают антифризными свойствами.

3. К третьей группе относятся вещества, у которых антифризные свойства слабо выражены, но при их использовании бетонная смесь быстро схватывается и твердеет. После применения такого вещества сразу после заливки выделяется тепло. Такие добавки используются крайне редко (рис. 3).



Рис. 3. Применение специальных противоморозных добавок
Fig. 3. Application of special antifreeze additives

Действия, которые увеличивают результативность использования противоморозных веществ

Главной задачей модификаторов является запуск процесса застывания смеси и при этом снижение температуры замерзания жидкой фазы. Однако для наилучшего результата вместе с применением противоморозных веществ параллельно требуется проделать несколько действий. Для того чтобы внутри бетонной смеси образовалось тепло, нужно предварительно подогреть ее составляющие. Для сохранения тепла, после завершения процесса укладки, смесь нужно укрыть матами. В зимнее время использовать высокомарочный быстротвердеющий цемент и портландцементы, ни в коем случае не следует использовать заполнители, которые подверглись заморозке.

Следует помнить, что процесс изготовления смеси зимой отличается от лета [6, 7]. Если при летней температуре воздуха все компоненты будущего бетона складываются одновременно в бетономешалку с водой, то зимой порядок совсем другой. Чтобы избежать заваривания цемента, следует придерживаться определенного порядка добавления составляющих бетона: залить в барабан воду, после засыпать крупный заполнитель, далее все хорошо перемешать (сделать несколько оборо-

тов барабана) и добавить песок и цемент. Доставка готовой смеси должна производиться в теплой машине. У нее должно быть двойное днище. При погрузке и выгрузке смеси не должно быть ветра. При работе с цементом необходимо работать в ускоренном режиме.

Искусственный подогрев бетона

Смысл данного метода заключается в том, что внутри бетона создается определенная температура, и она удерживается на максимально допустимой величине до тех пор, пока бетонная смесь не обретет нужную прочность.

При использовании данного способа в ход идет тепло, которое выделяется при пропускании электрического тока через смесь. Для подведения электротока используются электроды (рис. 4). Пластины прикрепляют к опалубке, которая соприкасается с бетоном, а после подсоединяют к разным фазам сети [7, 8]. Между противоположными электродами происходит токообмен и происходит нагревание всей бетонной конструкции. При контактном нагреве в ход идет тепло, которое выделяется в проводнике, когда по нему проходит электроток. При инфракрасном нагреве лучи преобразуются в тепло, когда их поглощает тело. Данные рекомендации помогут в зимний период года создать прочные бетонные и железобетонные конструкции.



Рис. 4. Электрообогрев бетона
Fig. 4. Electric heating of concrete

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возведение металлоконструкций в условиях низких температур имеет свои особенности на протяжении всего периода монтажа. Это касается работ связанных со строительством фундаментов, а также возведения каркасов зданий. Параметры выбора материалов и марок сталей зависят от климатической зоны

строительства объекта. Следовательно, меняется технология выполнения работ. Сварочные работы проводят ручной дуговой сваркой и определенными электродами. Специфика строительства требует дополнительных затрат как для металлических изделий, так и для железобетонных фундаментов, которые зависят от состава грунта. Чтобы избежать проседания

фундамента есть определенные способы заморозки основания грунтов. Металлические конструкции обладают индустриальностью изготовления. На специализированных заводах есть возможность наладить поточные линии для автоматизированного производства. Есть плюсы монтажных работ зимой. Выгодно покупать не только строительные материалы, но и

металлоконструкции, т. к. производители снижают цены. Количество клиентов на разработку проекта и изготовление снижается, организации предлагают клиентам скидки. Монтажные работы в зимний период имеют преимущества в сравнении с летним сезоном, еще и потому, что нет грязи размытых дорог, а снежные заносы легко почистить.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ершов М.Н., Бабий И.Н., Менеилук И.А. Анализ технологических особенностей применения фасадных систем теплоизоляции // *Технология и организация строительного производства*. 2015. № 4–1. С. 43–47. EDN: TQTXBB.
2. Лapidус А.А., Говоруха П.А. Организационнотехнологический потенциал ограждающих конструкций многоэтажных жилых зданий // *Вестник МГСУ*. 2015. № 4. С. 143–149. EDN: TPKOUB.
3. Данилов Н.Д., Шадрин В.Ю., Павлов Н.Н. Прогнозирование температурного режима угловых соединений наружных ограждающих конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2010. № 4. С. 20–22. EDN: LMCCZH.
4. Алешина Т.А. Строительство на мерзлоте: опыт и новшества // *Сибирский форум: интеллектуальный диалог*. 2010. Режим доступа: <https://sibforum.sfu-kras.ru/node/106>. (дата обращения: 10.09.2024).
5. Поросенкова К.В., Пучков М.В. Проектирование нового города в экстремальных условиях крайнего севера // *Архитектон: известия вузов*. 2011. № 2 (34). Режим доступа: http://archvuz.ru/2011_22/48 (дата обращения: 10.09.2024).
6. Овчинникова Т.С., Маринин А.Н., Овчинников И.Г. Коррозия и антикоррозийная защита железобетонных мостовых конструкций // *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2014. № 5 (24). С. 1–11. EDN: TKELFZ.
7. Топчий Д.В., Токарский А.Я. Концепция контроля качества организации строительных процессов при проведении строительного надзора на основе использования информационных технологий // *Вестник евразийской науки*. 2019. Т. 11. № 3. С. 1–9. EDN: BWLDSN.
8. Qi Chunping, Dam-Johansen K., Weinell C.E., Bi Huichao, Wu Hao Enhanced Snticorrosion Performance of Zinc Rich Epoxy Coatings Modified with Stainless Steel Flakes // *Progress in Organic Coatings*. 2022. Vol. 163. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106616>.
9. Horszczaruk E., Mijowska E., Kalenczuk R.J., Aleksandrak M., Mijowska S. Nanocomposite of Cement/Grapheme Oxide-Impact on Hydration Kinetics and Young's Modulus // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 78. P. 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.009>.
10. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. М.: Бастет. 2009. 766 с.
11. Подольский В.И. Железобетонные опоры контактной сети. Конструкции, эксплуатация, диагностика: монография. М.: Интекст, 2007. 152 с. EDN: VLZZPH.
12. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Ванян С.С., Евсюков К.К., Зарецкий А.В., Коржаева Е.Э. Особенности изменения прочностных и деформативных характеристик обычного и модифицированного центрифугированных бетонов при циклическом замораживании и оттаивании // *Вестник Евразийской науки*. 2019. Т. 11. № 6. С. 1–9. EDN: VUKISA.

REFERENCES

1. Ershov M.N., Babii I.N., Meneilyuk I.A. Analysis of The Technological Features of Application of Facade Systems Insulation. *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva*. 2015;4–1:43-47. (In Russ.). EDN: TQTXBB.
2. Lapidus A.A., Govorukha P.A. Organizational and Technological Potential of Enveloping Structures of Multi-Storeyed Residential Buildings. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2015;4:143-149. (In Russ.). EDN: TPKOUB.
3. Danilov N.D., Shadrin V.I., Pavlov N.N. Forecasting of A Temperature Regime of Corner Joints of External Enclosing Structures. *Industrial and Civil Engineering*. 2010;4:20-22. (In Russ.). EDN: LMCCZH.
4. Aleshina T.A. Construction on Permafrost: Experience and Innovations. *Sibirskii forum: intellektual'nyi dialog*. 2010. Available from: <https://sibforum.sfu-kras.ru/node/106>. [Accessed 10th September 2024]. (In Russ.).
5. Porosenkova K.V., Puchkov M.V. Designing a New City in The Extreme Conditions of The Far North. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2011;2(34). Available from: http://archvuz.ru/2011_22/48. [Accessed 10th September 2024]. (In Russ.).

6. Ovchinnikova T.S., Marinin A.N., Ovchinnikov I.G. Corrosion and Corrosion Protection of Reinforced Concrete Bridge Structures. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2014;5(24):1-11. (In Russ.). EDN: TKELFZ.
7. Topchiy D.V., Tokarskiy A.Ya. The Concept of Quality Control of the Organization of Construction Processes During Construction Supervision Through the Use of Information Technology. *The Eurasian Scientific Journal*. 2019;11(3):1-9. (In Russ.). EDN: BWLDSN.
8. Qi Chunping, Dam-Johanssen K., Weinell C.E., Bi Huichao, Wu Hao Enhanced Anticorrosion Performance of Zinc Rich Epoxy Coatings Modified with Stainless Steel Flakes. *Progress in Organic Coatings*. 2022;163:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106616>.
9. Horszczaruk E., Mijowska E., Kalenczuk R.J., Aleksandrak M., Mijowska S. Nanocomposite of Cement/Graphene Oxide-Impact on Hydration Kinetics and Young's Modulus. *Construction and Building Materials*. 2015;78:234-242. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.009>.
10. Baikov V.N., Sigalov E.E. *Reinforced Concrete Structures*. Moscow: Bastet. 2009. 766 p. (In Russ.).
11. Podol'skii V.I. *Reinforced Concrete Supports of The Contact Network. Designs, Operation, Diagnostics: Monograph*. Moscow: Intext, 2007. 152 p. (In Russ.). EDN: VLZZPH.
12. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Vanyan S.S., Evsyukov K.K., Zaretskii A.V., Korzhaeva E.E. Features of Changing the Strength and Deformation Characteristics of Conventional and Modified Centrifuged Concrete During Cyclic Freezing and Thawing. *The Eurasian Scientific Journal*. 2019;11(6):1-9. (In Russ.). EDN: VUKISA.

Информация об авторах**Information about the authors**

Ластовка Анатолий Васильевич,
к.т.н., доцент, доцент кафедры строительных
конструкций и управляемых систем,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82А,
Россия,
e-mail: last_pro@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0751-1631>
Author ID: 1230823

Anatoliy V. Lastovka,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate
Professor of the Department of Building Structures
and Controlled Systems,
Siberian Federal University,
82A Svobodny pr., Krasnoyarsk 660041, Russia,
e-mail: last_pro@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0751-1631>
Author ID: 1230823

Данченко Тамара Владимировна,
старший преподаватель кафедры
изобразительное искусство
и компьютерная графика,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82А,
Россия,
✉e-mail: danchenko.toma@internet.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8146-6608>
Author ID: 901334

Tamara V. Danchenko,
Senior Lecturer
of the Department of Fine Arts and Computer
Science Graphics,
Siberian Federal University,
82A Svobodny pr., Krasnoyarsk 660041,
Russia,
✉e-mail: danchenko.toma@internet.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8146-6608>
Author ID: 901334

Вклад авторов**Contribution of the authors**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов**Conflict of interests**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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**Information about the article**

Статья поступила в редакцию 15.07.2024.
Одобрена после рецензирования 29.07.2024.
Принята к публикации 31.07.2024.

The article was submitted 15.07.2024.
Approved after reviewing 29.07.2024.
Accepted for publication 31.07.2024.



Автоматизированная беспроводная система мониторинга технического состояния дымовых труб

А.К. Комаров¹, В.В. Кажарский^{2✉}, А.М. Павлов³

^{1,2,3}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В представленной статье изучена и описана технология мониторинга технического состояния дымовых труб для выявления участков повышенных тепловых потерь с применением автоматизированной беспроводной системы мониторинга, в состав которой входит беспилотный летательный аппарат, оснащенный дополнительным оборудованием. Целью данной работы является исследование вопроса, связанного с обеспечением безопасности эксплуатации железобетонных дымовых труб, используемых в составе опасных производственных объектов. Основной задачей представленной технологии мониторинга является оперативное выявление дефектов и повреждений для снижения рисков возникновения аварийно-опасных ситуаций. При разработке особое внимание уделено автономности и интеллектуальности предлагаемой технологии мониторинга технического состояния. На первом этапе производится монтаж датчиков, координаторов и система дистанционной термометрии с передачей данных о температуре тела ствола дымовой трубы в диспетчерский центр. На следующем этапе проводится обследование участков наружной поверхности дымовой трубы с применением беспилотного летательного аппарата, оснащенного тепловизионной камерой, для подтверждения информации о потерях тепла. На завершающем этапе составляется термограмма объекта, на основе которой создается схема вероятного расположения выявленных дефектов и план производства ремонтных работ. Также указаны основные преимущества предлагаемой технологии.

Ключевые слова: автоматизированная беспроводная система мониторинга, датчик, координатор, диспетчерский центр, беспилотный летательный аппарат, термограмма

Для цитирования: Комаров А.К., Кажарский В.В., Павлов А.М. Автоматизированная беспроводная система мониторинга технического состояния дымовых труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 531–539. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-531-539>. EDN: QCYHYK.

Original article

Automated wireless system for monitoring the technical condition of chimneys

Andrey K. Komarov¹, Vitaly V. Kazharsky^{2✉}, Andrey M. Pavlov³

^{1,2,3}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The present paper considers the technology of monitoring the technical condition of chimneys in order to identify areas of increased heat losses. The technology involves an automated wireless monitoring system that includes an unmanned aircraft with additional equipment. Aim. To study the operation safety of reinforced concrete chimneys used in hazardous industrial facilities. The presented monitoring technology tackles the task of prompt identification of defects and damages to reduce the risks of potentially hazardous conditions. While developing technology for monitoring the technical condition, special attention is paid to its autonomy and intelligence. At the first stage, sensors, coordinators and remote thermometry system are installed with the transmission of data on the temperature of the chimney trunk to the control center. At the next stage, the outer surface of the chimney is examined using an unmanned aircraft equipped with a thermal imaging camera to verify information about heat losses. The final stage involves creating a thermogram of the object and a scheme of the possible locations of the identified

defects in order to plan repair works. In addition, the paper introduces main advantages of the suggested technology.

Keywords: automated wireless monitoring system, sensor, coordinator, dispatch center, unmanned aerial vehicle, thermogram

For citation: Komarov A.K., Kazharsky V.V., Pavlov A.M. Automated wireless system for monitoring the technical condition of chimneys. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):531-539. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-531-539>. EDN: QCYHYK.

ВВЕДЕНИЕ

Важным элементом в поддержании безопасности таких сооружений, как дымовые трубы, является применение систематизированного подхода, основанного на теоретических принципах оценки рисков и их управления, способного решить проблемы, связанные с промышленной безопасностью [1, 2]. Это дает возможность усилить защиту опасных производственных объектов от аварийных разрушений, при этом оптимизируя финансовые затраты.

Данный метод предполагает, что будущее за инновационными подходами в оценке безопасности, живучести объектов и анализе рисков.

В связи с этим предложено использовать новую технологию мониторинга, позволяющую определить техническое состояние дымовых труб. Данная технология состоит из следующих этапов:

1. Применение автоматизированной беспроводной системы мониторинга (АБСМ) для сбора информации.

2. Применение беспилотного летательного аппарата (БПЛА), оснащенного дополнительным оборудованием с использованием специального программного обеспечения, для проведения обследования на основе информации, полученной на предыдущем этапе, а также сбора дополнительных данных.

3. Определение объемов ремонтных работ на основании данных, полученных по результатам обследования.

Подробное описание каждого из этапов представлено ниже.

Описание этапов предлагаемой технологии. Автоматизированная беспроводная система мониторинга

Одним из перспективных направлений в сфере обследования дымовых труб является применение АБСМ. В состав такой системы мониторинга предложено включить малогабаритные беспроводные инфракрасные датчики температуры (с аккумуляторными батареями и

радиопередающими антеннами), несколько координаторов беспроводной сети (пунктов сбора данных) и персональный компьютер (диспетчерский центр) с установленным специальным программным обеспечением.

Малогабаритные беспроводные инфракрасные датчики температуры проводят измерения температуры наружной поверхности дымовой трубы и передают полученные показания координаторам беспроводной сети (пунктам сбора данных) посредством радиосвязи на расстояние до 1000 м, затем полученная информация с помощью интернет-соединения поступает на персональный компьютер (диспетчерский центр) с установленным специальным программным обеспечением для последующей обработки (рис. 1).

Технология монтажа оборудования, входящего в состав АБСМ для контроля температуры ствола дымовой трубы, включает следующие операции:

- осуществляется подъем монтажников системы с соответствующим оборудованием и инструментами на уровни световорных площадок дымовой трубы по ходовым лестницам;

- с помощью специального инструмента, производится монтаж кронштейнов, используемых для фиксации корпусов беспроводных инфракрасных датчиков температуры к конструкциям световорных площадок;

- производится монтаж датчиков температуры на ранее подготовленные кронштейны с надежной фиксацией;

- осуществляется монтаж и подключение координаторов беспроводной сети;

- производится подготовка диспетчерского центра (установка персонального компьютера и специального программного обеспечения);

- производится запуск, тест и отладка системы дистанционной термометрии с устранением всех неисправностей;

- система дистанционной термометрии с передачей данных о температуре тела ствола дымовой трубы в диспетчерский центр запускается в работу.

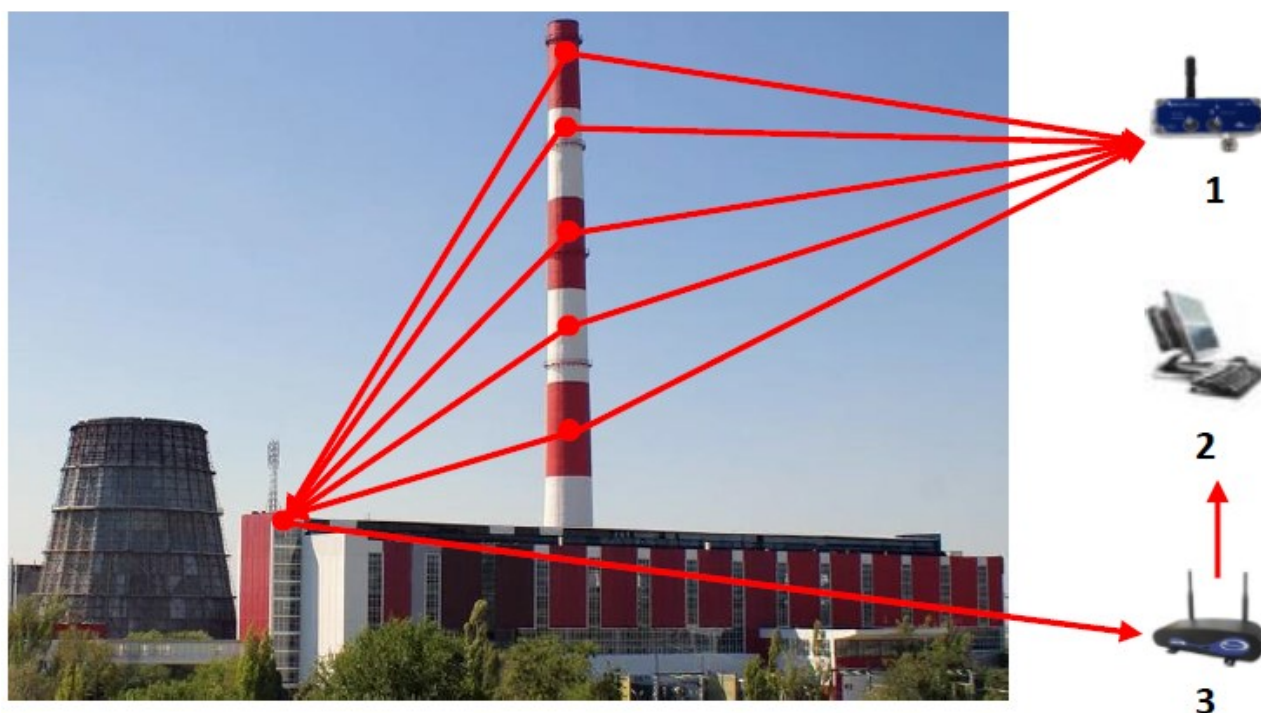


Рис. 1. Схема действия автоматизированной беспроводной системы мониторинга:
1 – беспроводной инфракрасный датчик температуры; 2 – диспетчерский центр;
3 – координатор беспроводной сети

Fig. 1. The scheme of operation of the automated wireless monitoring system: 1 – wireless infrared temperature sensor; 2 – dispatch center; 3 – wireless network coordinator

БПЛА, оснащенный дополнительным оборудованием с использованием специального программного обеспечения

На основе показаний беспроводных датчиков температуры, которые были получены на предыдущем этапе мониторинга, проводится обследование наружной поверхности ствола дымовой трубы.

Данное обследование необходимо для подтверждения наличия возможных участков тепловых потерь, а также фиксации мест расположения и размеров возможных дефектов ствола дымовой трубы.

Предложено проводить обследование с применением БПЛА, оснащенного датчиком дистанции, фото-, видео- и тепловизионной камерами (рис. 2).

Контроль состояния наружной теплоизоляции дымовых труб с применением тепловизионного оборудования подтвердил свою эффективность как ключевой метод контроля эксплуатируемых дымовых труб благодаря скорости, наглядности и точности результатов [1, 2, 3, 12].

По результатам проведенного тепловизионного обследования выявляется расположение и размер участков, требующих оперативного проведения ремонтных работ для восста-

новления соответствующих теплоизоляционных свойств внешних конструкций дымовых труб, что способствует уменьшению потерь тепла и сбережению ресурсов.

Для определения параметров и автоматизации полета БПЛА предлагается использовать специальное программное обеспечение Ground Station Pro (GS Pro), которое помогает в составлении маршрутов и определении границ полетной зоны [5, 8, 15].

В состав данного программного обеспечения входят следующие алгоритмы полета БПЛА:

1. Точечный полет – пользователь задает полет по точкам на карте (до 99 точек маршрута), в которых БПЛА может выполнять до 15 действий, например, зависание в воздухе, фотографирование или начало/окончание видеозаписи. Также можно задать действие, которое БПЛА выполнит после того как пройдет все точки на маршруте, например, вернуться в точку вылета или приземлиться сразу.

2. Виртуальное ограждение – определяет границы, за которые БПЛА не сможет вылететь, даже если оператор его туда направит (точность позиционирования). Размер и форма виртуального ограждения определяются пользователем.

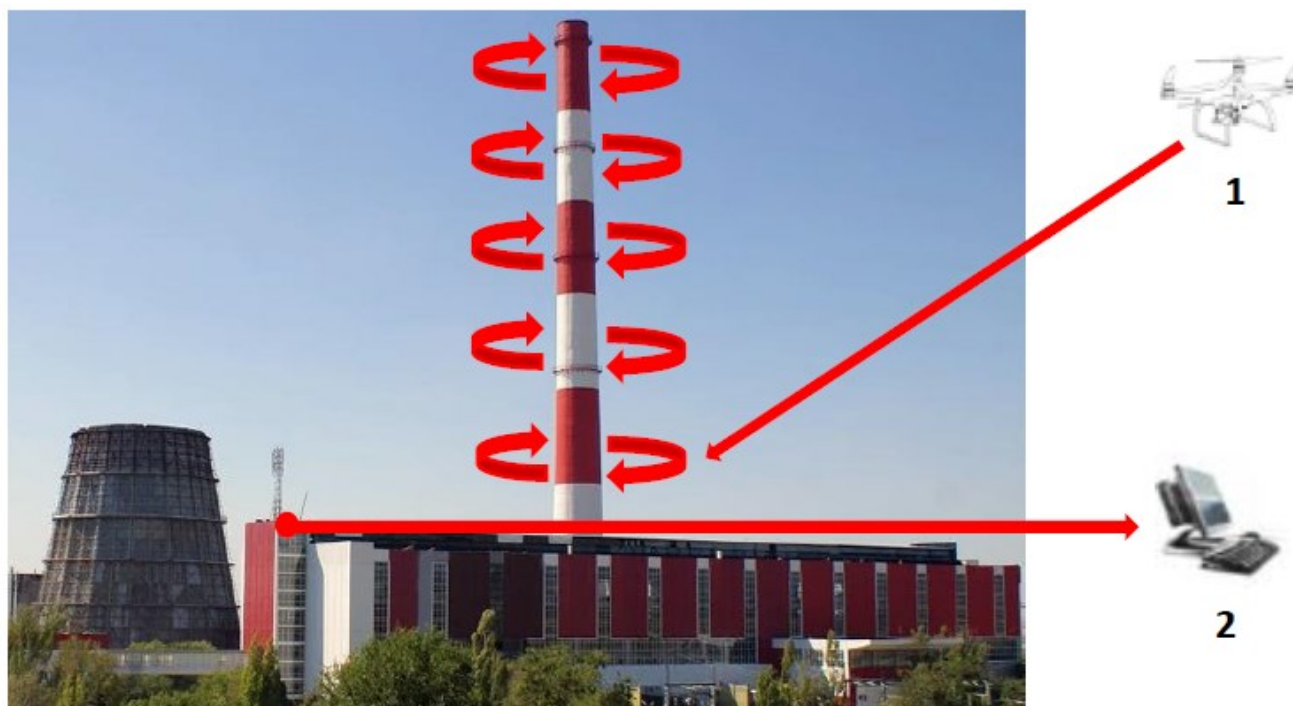


Рис. 2. Схема обследования ствола дымовой трубы: 1 – беспилотный летательный аппарат, оснащенный дополнительным оборудованием; 2 – диспетчерский центр
Fig. 2. The scheme of the inspection of the chimney trunk: 1 – unmanned aerial vehicle equipped with additional equipment; 2 – dispatch center

В дополнение к обследованию наружной поверхности дымовых труб целесообразно провести обследование внутренней поверхности с помощью противоударного инспекционного БПЛА, оснащенного 360-градусным защитным каркасом из углеродного волокна с гибким покрытием [4, 13].

Прочная конструкция БПЛА не боится пыли и влаги, а профессиональная камера, оснащенная дальномером и яркими светодиодами с различными углами наклона для оптимизации освещения в суровых условиях, позволит сделать качественные снимки внутренней поверхности дымовых труб.

Определение объемов ремонтных работ на основании данных, полученных по результатам обследования

Создание термограммы обследуемого объекта происходит на основании анализа данных, собранных в ходе тепловизионного обследования с использованием БПЛА.

В этом документе отображается температура наружной поверхности дымовой трубы с обязательным указанием мест привязки (отметок высоты) [1, 12, 16]. Исходя из анализа тер-

мограммы можно установить участки повышенных тепловых потерь по наличию мест с температурными аномалиями.

Для того, чтобы значительно упростить интерпретацию данных тепловизионной съемки, создают панорамную термограмму, полученную в результате сшивки видимого и инфракрасного изображения поверхности дымовой трубы (рис. 3).

Следующим этапом обработки информации, полученной в ходе обследования поверхности дымовой трубы с применением БПЛА, является составление схемы расположения дефектов и повреждений.

На данной схеме указываются вид и геометрические размеры дефектов с указанием мест привязки (отметок высоты) в соответствии с принятой формой обозначения, указанной в нормативно-технической документации (рис. 4) [7, 9, 12].

В завершении процесса обследования дымовой трубы составляется план производства ремонтных работ с указанием объемов работ и применяемых строительных материалов [10, 11, 14].

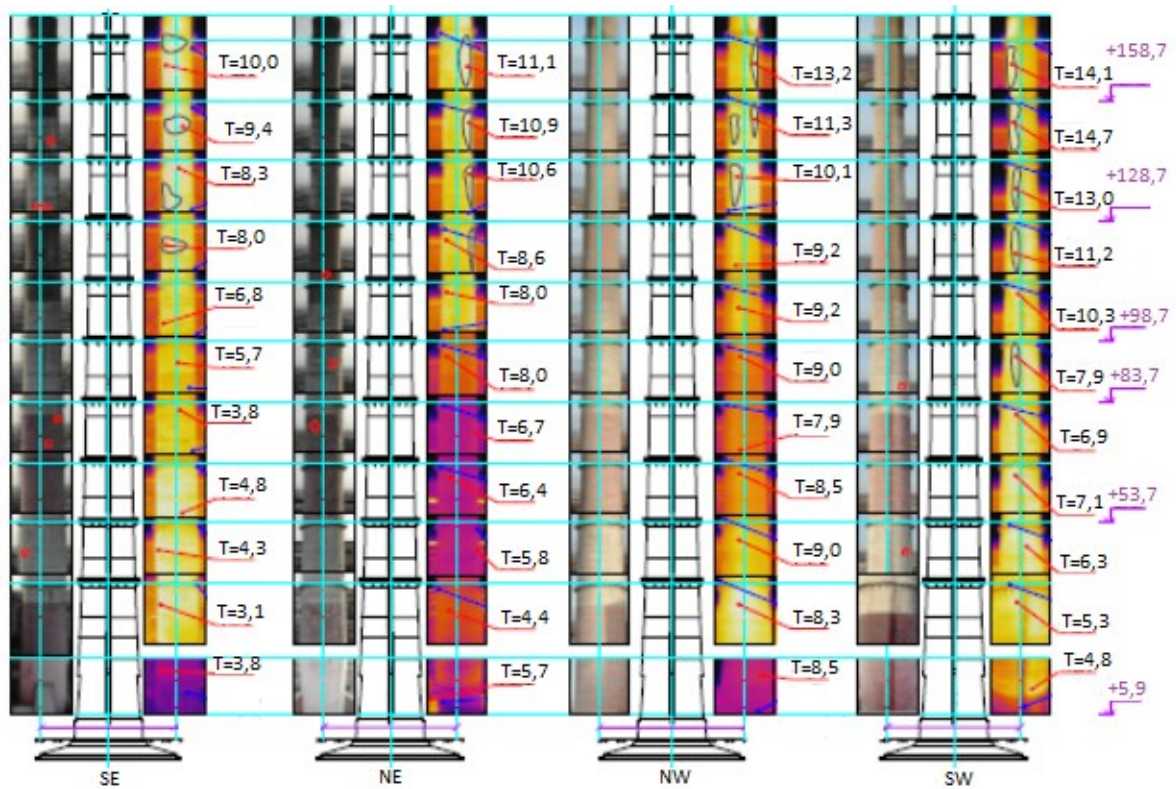


Рис. 3. Панорамная термограмма
Fig. 3. Panoramic thermogram

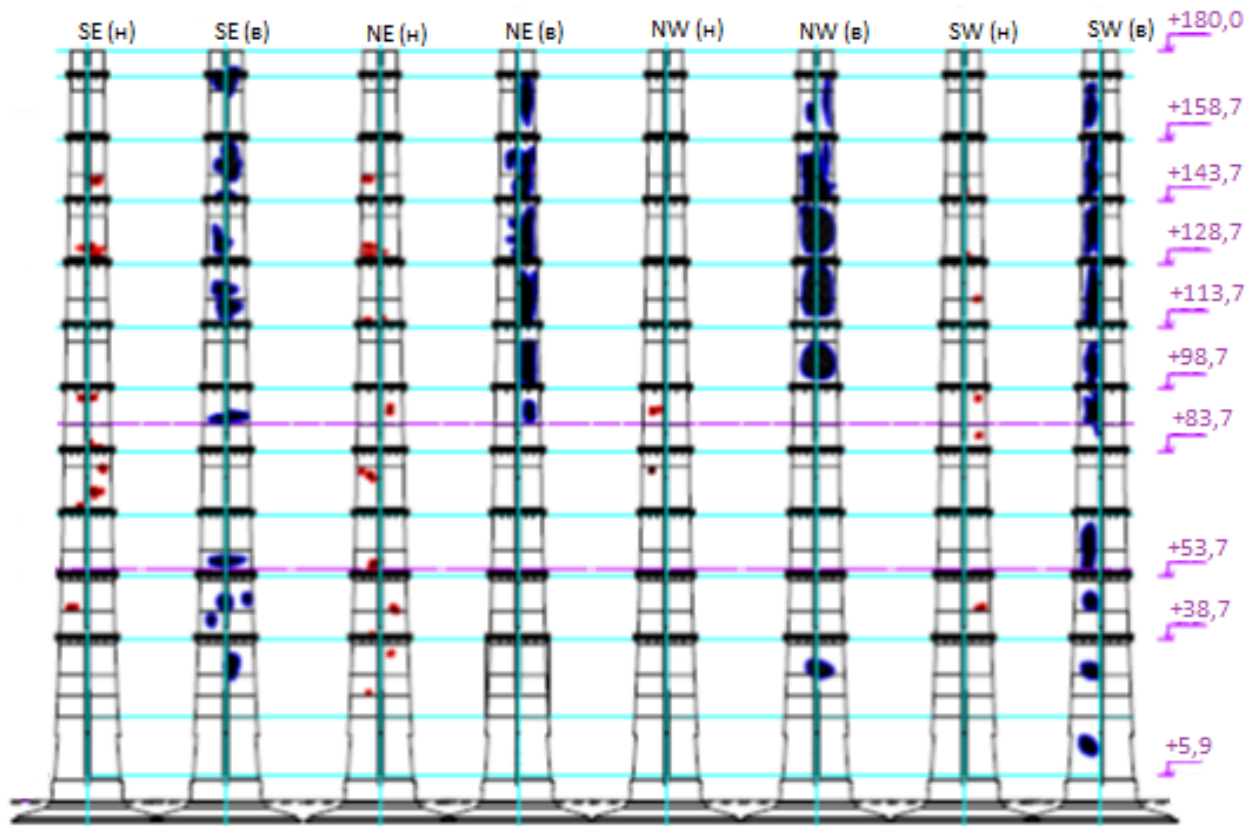


Рис. 4. Схема расположения выявленных дефектов и повреждений
Fig. 4. The layout of the identified defects and damages

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемая технология обладает следующими преимуществами:

- значительное снижение рисков – исключается возможность возникновения потенциально опасных ситуаций с участием персонала, таких как работы на высоте, работы в условиях загрязненного воздуха и т. д.;
- минимальное простое оборудование – монтаж элементов системы и проведение осмотров наружной поверхности дымовых труб с помощью БПЛА не требует вывода оборудования из эксплуатации, что приводит к существенной экономии материальных средств;
- автоматизация процесса – исключение человеческого фактора благодаря автоматизации измерений и траектории полета БПЛА;
- сокращение материальных затрат – отсутствуют расходы, связанные с укладкой кабелей для монтажа датчиков системы, а также нет необходимости в устройстве подвесных люлек для проведения осмотров, а, следовательно, в работе монтажников;
- повышение качества мониторинга – возможность проводить большое количество проверок благодаря системе термометрии дымовых труб с помощью датчиков и полетов БПЛА, что позволяет вывести процесс мониторинга на более качественный уровень;

– эффективность использования персонала – контроль системы и проведение полетов БПЛА может осуществлять один специалист (оператор диспетчерского центра);

– устойчивость к помехам – высокая степень защиты от промышленных и бытовых радиопомех системы термометрии и БПЛА благодаря отдельному защищенному радиоканалу;

– интеллектуальность – система оповещает оператора при достижении критических показателей при измерениях и полетах БПЛА, оснащенного дополнительным оборудованием;

– масштабируемость – легкость в добавлении новых модулей для расширения функционала и получения дополнительных данных.

ВЫВОДЫ

Использование предлагаемой технологии применения АБСМ технического состояния дымовых труб с использованием БПЛА позволит значительно сократить издержки времени и материальных ресурсов, а самое главное – вывести процесс мониторинга на более качественный уровень, что позволит обеспечить промышленную безопасность критически важных опасных производственных объектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кавелин А.С., Тютина А.Д., Нуриев В.Э., Колотиенко М.А. Использование тепловизионного метода для обследования зданий и сооружений: обзор // Инженерный вестник Дона. 2019. № 6 (57). С. 11–13. EDN: WGEKMY.
2. Гладких Т.Я., Мигачев А.Н. Использование БПЛА для тепловизионного мониторинга объектов инфраструктуры с целью повышения энергетической эффективности // XIII Всеросс. совещание по проблемам управления, ВСПУ–2019. Сб. трудов XIII Всеросс. совещания по проблемам управления ВСПУ–2019 (г. Москва, 17–20 июня 2019 г.). М., 2019. С. 433–437. <https://doi.org/10.25728/vspu.2019.0433>. EDN: RXUXDN.
3. Halder S., Afsari K. Robots in Inspection and Monitoring of Buildings and Infrastructure: A Systematic Review // Applied Sciences. 2023. Vol. 13. Iss. 4. P. 1–37. <https://doi.org/10.3390/app13042304>.
4. Yi Tan, Silin Li, Hailong Liu, Penglu Chen, Zhixiang Zhou Automatic Inspection Data Collection of Building Surface Based on BIM and UAV // Automation in Construction. 2021. Vol. 131. P. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103881>.
5. Ruiz R.D.B., Lordsleem Jr.A.C., Rocha J.H.A., Irizarry J. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) as a Tool for Visual Inspection of Building Facades in AEC+FM Industry // Construction Innovation. 2021. Vol. 22. Iss. 4. P. 1155–1170. <https://doi.org/10.1108/CI-07-2021-0129>.
6. Daeho Kim, Meiyin Liu, SangHyun Lee, Vineet R. Kamat Remote Proximity Monitoring between Mobile Construction Resources Using Camera-Mounted UAVs // Automation in Construction. 2019. Vol. 99. P. 168–182. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.014>.
7. Patel T., Suthar V., Bhatt N. Application of Remotely Piloted Unmanned Aerial Vehicle in Construction Management // Recent Trends in Civil Engineering. 2021. Vol. 77. P. 319–329. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5195-6_25.
8. Taj, G.; Anand, S.; Haneefi, A.; Kanishka, R.P.; Mythra, D.H.A. Monitoring of Historical Structures Using Drones // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 955. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/955/1/012008>.

9. Keyvanfar A., Shafaghat A., Awanghamat A.M. Optimization and Trajectory Analysis of Drone's Flying and Environmental Variables for 3D Modelling the Construction Progress Monitoring // *International Journal of Civil Engineering*. 2022. Vol. 20. P. 363–388. <https://doi.org/10.1007/s40999-021-00665-1>.
10. Kayhani N., McCabe B., Abdelaal A., Heins A., Schoellig A.P. Tag-Based Indoor Localization of UAVs in Construction Environments: Opportunities and Challenges in Practice // *Proceedings of the Construction Research Congress 2020 (USA, 8–10 March 2020)*. USA, 2020. p. 226–235. <http://doi.org/10.1061/9780784482865.025>.
11. Junda Lyu, Tianyue Zhao, Gang Xu Research on UAV's Fixed-Point Cruise Method Aiming at the Appearance Defects of Buildings // *AIAM2021: 2021 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacture*. 2022. P. 783–787. <https://doi.org/10.1145/3495018.3495157>.
12. Massaro A., Savino N., Selicato S., Panarese A., Galiano A., Dipierro G. Thermal IR and GPR UAV and Vehicle Embedded Sensor Non-Invasive Systems for Road and Bridge Inspections // *Proceedings of the 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0&IoT) (Rome, 7–9 June 2021)*. Rome, 2021. p. 248–253. <http://doi.org/10.1109/MetroInd4.0IoT51437.2021.9488483>.
13. Yusof H., Ahmad M.A., Abdullah A.M.T. Historical Building Inspection Using the Unmanned Aerial Vehicle (Uav) // *Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. 2020. Vol. 11. Iss. 3. P. 12–20. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2020.11.03.002>.
14. Mirzabeigi S., Razkenari M. Automated Vision-Based Building Inspection Using Drone Thermography // *Proceedings of the Construction Research Congress 2022 (Arlington, 9–12 March 2022)*. Arlington, 2022. p. 737–746. <http://doi.org/10.1061/9780784483961.077>.
15. Xiong Peng, Xingu Zhong, Anhua Chen, Chao Zhao, Canlong Liu Y., Frank Chen Debonding Defect Quantification Method of Building Decoration Layers via UAV-Thermography and Deep Learning // *Smart Structures and Systems*. 2021. Vol. 28. Iss. 1. P. 55–67. <https://doi.org/10.12989/sss.2021.28.1.055>.
16. Rakha T., El Masri Y., Chen K., Panagoulia E., De Wilde P. Building Envelope Anomaly Characterization and Simulation Using Drone Time-Lapse Thermography // *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 259. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111754>.

REFERENCES

1. Kavelin A.S., Tyutina A.D., Nuriev V.E., Kolotienko M.A. Using The Thermal Imaging Method to Examine Buildings and Structures: Review. *Engineering journal of Don*. 2019;6(57):11-13. (In Russ.). EDN: WGEKMOV.
2. Gladkikh T.Ya., Migachev A.N. Using UAVs for Thermal Imaging Monitoring of Infrastructure to Improve Energy Efficiency. In: *XIII Vserossiiskoe soveshchaniye po problemam upravleniya, VSPU–2019. Sbornik trudov XIII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2019 = XIII All-Russian Conference On Management Problems, VSPU–2019. Collection of Proceedings of The XIII All-Russian Conference On Management Problems VSPU–2019*. 17–20 June 2019, Moscow. Moscow; 2019. p. 433–437. (In Russ.). <https://doi.org/10.25728/vspu.2019.0433>. EDN: RXUXDN.
3. Halder S., Afsari K. Robots in Inspection and Monitoring of Buildings and Infrastructure: A Systematic Review. *Applied Sciences*. 2023;13(4):1-37. <https://doi.org/10.3390/app13042304>.
4. Yi Tan, Silin Li, Hailong Liu, Penglu Chen, Zhixiang Zhou Automatic Inspection Data Collection of Building Surface Based on BIM and UAV. *Automation in Construction*. 2021;131:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103881>.
5. Ruiz R.D.B., Lordsleem Jr.A.C., Rocha J.H.A., Irizarry J. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) as a Tool for Visual Inspection of Building Facades in AEC+FM Industry. *Construction Innovation*. 2021;22(4):1155-1170. <https://doi.org/10.1108/CI-07-2021-0129>.
6. Daeho Kim, Meiyin Liu, SangHyun Lee, Vineet R. Kamat Remote Proximity Monitoring between Mobile Construction Resources Using Camera-Mounted UAVs. *Automation in Construction*. 2019;99:168-182. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.014>.
7. Patel T., Suthar V., Bhatt N. Application of Remotely Piloted Unmanned Aerial Vehicle in Construction Management. *Recent Trends in Civil Engineering*. 2021;77:319-329. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5195-6_25.
8. Taj G., Anand S., Haneefi A., Kanishka R.P., Mythra D.H.A. Monitoring of Historical Structures Using Drones. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;955:1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/955/1/012008>.
9. Keyvanfar A., Shafaghat A., Awanghamat A.M. Optimization and Trajectory Analysis of Drone's Flying and Environmental Variables for 3D Modelling the Construction Progress Monitoring. *International Journal of Civil Engineering*. 2022;20:363-388. <https://doi.org/10.1007/s40999-021-00665-1>.
10. Kayhani N., McCabe B., Abdelaal A., Heins A., Schoellig A.P. Tag-Based Indoor Localization of UAVs in Construction Environments: Opportunities and Challenges in Practice. In: *Proceedings of the Construction Research Congress 2020*. 8–10 March 2020, USA. USA; 2020. p. 226-235. <http://doi.org/10.1061/9780784482865.025>.

11. Junda Lyu, Tianyue Zhao, Gang Xu Research on UAV's Fixed-Point Cruise Method Aiming at the Appearance Defects of Buildings. In: *AIAM2021: 2021 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacture*. 2022. p. 783-787. <https://doi.org/10.1145/3495018.3495157>.
12. Massaro A., Savino N., Selicato S., Panarese A., Galiano A., Dipierro G. Thermal IR and GPR UAV and Vehicle Embedded Sensor Non-Invasive Systems for Road and Bridge Inspections. In: *Proceedings of the 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0&IoT)*. 7–9 June 2021, Rome. Rome; 2021. p. 248-253. <http://doi.org/10.1109/MetroInd4.0IoT51437.2021.9488483>.
13. Yusof H., Ahmad M.A., Abdullah A.M.T. Historical Building Inspection Using the Unmanned Aerial Vehicle (Uav). *Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. 2020;11(3):12-20. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2020.11.03.002>.
14. Mirzabeigi S., Razkenari M. Automated Vision-Based Building Inspection Using Drone Thermography. In: *Proceedings of the Construction Research Congress 2022*. 9–12 March 2022, Arlington. Arlington, 2022. p. 737–746. <http://doi.org/10.1061/9780784483961.077>.
15. Xiong Peng, Xingu Zhong, Anhua Chen, Chao Zhao, Canlong Liu Y., Frank Chen Debonding Defect Quantification Method of Building Decoration Layers via UAV-Thermography and Deep Learning. *Smart Structures and Systems*. 2021;28(1):55-67. <https://doi.org/10.12989/sss.2021.28.1.055>.
16. Rakha T., El Masri Y., Chen K., Panagoulia E., De Wilde P. Building Envelope Anomaly Characterization and Simulation Using Drone Time-Lapse Thermography. *Energy and Buildings*. 2022;259:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111754>.

Информация об авторах

Комаров Андрей Константинович,
к.т.н., профессор,
заведующий кафедры строительного
производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: komarov@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-4514-9939>
Author ID: 980919

Кажарский Виталий Владимирович,
к.т.н., доцент кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: Kazharskyw@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0009-0008-9164-4843>
Author ID: 334244

Павлов Андрей Михайлович,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: Pavloff007@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Andrey K. Komarov,
Cand. Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of Construction
Production,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: komarov@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-4514-9939>
Author ID: 980919

Vitaly V. Kazharsky,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: Kazharskyw@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0009-0008-9164-4843>
Author ID: 334244

Andrey M. Pavlov,
Master's Student,
Irkutsk National Research
Technical University
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: Pavloff007@mail.ru

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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Информация о статье**Information about the article**

Статья поступила в редакцию 26.07.2024.
Одобрена после рецензирования 09.08.2024.
Принята к публикации 12.08.2024.

The article was submitted 26.07.2024.
Approved after reviewing 09.08.2024.
Accepted for publication 12.08.2024.



К вопросу надежности стального рамного узла в сейсмоопасных зонах с пониженными температурами

Ю.С. Кость^{1✉}, Т.Л. Дмитриева²

¹Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Россия

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье представлен анализ существующих конструктивных решений стальных каркасов с колонной коробчатого сечения и ригелем из двутавра с целью их применения в сейсмоопасных зонах, включая территории с пониженной температурой. Такие решения позволяют сооружению воспринимать инерционные силы сейсмического воздействия, сохраняя при этом его несущую способность в течение всего периода эксплуатации. Для решения этой проблемы предлагается использовать стальные рамные узлы, которые можно применять как для всего каркаса здания в целом, так и на отдельных этажах, для создания эффекта «гибкого этажа». Авторами изучены статьи, книги и патенты из России, США, Японии, Китая и Ирана, проведен анализ факторов, снижающих надежность и эксплуатационные характеристики узлов. Выявлено, что главным таким фактором является сварное соединение, которое используется для крепления ригелей к колоннам, поперечных ребер в теле колонны и формированию коробчатого сечения колонны из листов, уголков или швеллеров. Учитывая тот факт, что на территории России присутствуют сейсмоопасные зоны с пониженными температурами, надежность сварного соединения снижается еще сильнее. В то же время, узлы без сварного соединения требуют специальных литых деталей или устройств, что снижает их доступность. В связи с этим ставится задача по разработке новых оригинальных конструктивных решений узлов, удовлетворяющим требованиям надежности и доступности.

Ключевые слова: стальной рамный узел, коробчатое сечение, сейсмика, низкие температуры, сварной шов, «гибкий этаж»

Для цитирования: Кость Ю.С., Дмитриева Т.Л. К вопросу надежности стального рамного узла в сейсмоопасных зонах с пониженными температурами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 540–555. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-540-555>. EDN: JPAPBK.

Original article

On the reliability of steel frame joints in earthquake zones exposed to low temperatures

Yurii S. Kost^{1✉}, Tatiana L. Dmitrieva²

¹North-Eastern State University, Magadan, Russia

²Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper analyzes the existing construction solutions of steel frames with a box-section column and an I-beam crossbar in order to use them in earthquake zones, including areas with low temperatures. Such solutions will allow the structure to accept the seismic inertial forces, while maintaining its bearing capacity throughout the entire period of operation. In order to solve this problem, the study proposes to use steel frame joints, which can be used both for the entire frame of the building and on individual floors, thereby creating a “flexible story” effect. The authors studied articles, books and patents issued in Russia, the United States, Japan, China and Iran, analyzed the factors that reduce the reliability and performance characteristics of the joints. The main factor consists in a welded joint, which

is used to attach the crossbars to the columns, transverse ribs in the column body, and to form the box section of the column from sheets, angles or channels. The reliability of the welded joint is reduced even more under conditions of seismic zones with low temperatures in Russia. However, units without welded joints require special cast parts or structures, thereby reducing their availability. In this regard, the task consists in developing new original construction solutions for joints that meet the requirements of reliability and availability.

Keywords: joint for steel frame, box-section column, seismic, low temperature, weld, soft story

For citation: Kost Yu.S., Dmitrieva T.L. On the reliability of steel frame joints in earthquake zones exposed to low temperatures. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):540-555. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-540-555>. EDN: JPAPBK.

ВВЕДЕНИЕ

Более 20 % территории России относится к сейсмоактивным районам (в том числе 5 % территории подвержено чрезвычайно опасным 8–10-балльным землетрясениям). Сейсмостойкое строительство оправдано в районах с интенсивностью землетрясений от 7 до 9 баллов, где согласно СП 14.13330.2018, проектировщик может принять один из двух вариантов развития событий во время сейсмодара, когда¹:

- в конструкциях повреждения или неупругие деформации не допускаются;
- в конструкциях могут быть допущены остаточные деформации и повреждения, затрудняющие нормальную эксплуатацию, при обеспечении безопасности людей и сохранности оборудования.

Применительно к стальным каркасным сооружениям первый случай самый надежный, однако итоговая стоимость становится слишком дорогой, к тому же может возникнуть ситуация, когда невозможно подобрать сечения элементов каркаса, в которых возникнут только упругие деформации. Учитывая тот факт, что землетрясение крайне редкое явление, допускается рассеивание его энергии за счет остаточных деформаций элементов каркаса. Для снижения сейсмических нагрузок, кроме свойств материала, можно применять специальные конструктивные решения в виде сейсмоизоляторов или гасителей колебаний [1, 2]. Помимо этого, есть вариант использования эффекта «гибкого этажа», когда сейсмические нагрузки на здание снижаются за счет повышения его гибкости и улучшения динамических характеристик, либо использовать его как динамический гаситель колебания. Влияние «гибкого этажа», расположенного на разных этажах сооружения, изучено в работах [3] и [4]. Для реализации такого решения необходимо

применять полный рамный каркас, который имеет такое важное преимущество относительно рамно-связевого, как свободная планировка помещений здания в виду отсутствия вертикальных связей, что соответствует запросам заказчика и архитектора.

МЕТОДЫ

Одной из самых важных частей каркаса, которая и обеспечивает его работу в соответствии со всеми расчетными предпосылками, является узел сопряжения ригеля с колонной. Данный узел должен быть одновременно податливым и прочным, чтобы при возникновении пластического шарнира, рассеивающего сейсмическую энергию, сохранялась его несущая способность при больших углах поворота. Перед поиском необходимого конструктивного решения узла, необходимо изучить требования, изложенные в СП 14.13330.2018¹:

– п.6.9.1: «Стальные колонны многоэтажных каркасов рамного типа следует проектировать замкнутого (коробчатого или круглого) сечения, равноустойчивого относительно главных осей инерций» и «Ригели стальных каркасов следует проектировать из прокатных или сварных двутавров, в том числе с гофрированной стенкой»;

– п.6.9.2: «В колоннах рамных каркасов на уровне ригелей должны быть установлены поперечные ребра жесткости».

Таким образом, необходимо провести обзор существующих в России и за рубежом жестких узлов сопряжения ригеля из двутавра и колоны коробчатого сечения, усиленных поперечными ребрами жесткости.

Варианты узловых соединений, полученные из отечественных источников

На рис. 1 показаны пространственный элемент стального каркаса с неразрезными полками и стенками и зонами развития пластических деформаций (а); эскиз пространственного

¹СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* (с Изменениями № 2, 3).

элемента (б) и деталь вырезов в уголках колонн для пропуска стенок и полок ригелей (в). Достоинством такого решения является формирование внутренних ребер колонны самим ригелем, однако под двутавр необходимо делать вырез в уголках колонны и все элементы узла соединяются с помощью сварки. На рис. 2 изображен узел со вставкой. Элементы вставки выполнены с помощью заводской сварки, соединение ригелей и колонны фланцевое. На рис. 3 изображены узлы, в которых

поперечная сила передается через вертикальную пластину, привариваемую к поясу колонны, а опорный момент передается через горизонтальные пластины. Горизонтальные пластины привариваются к колонне угловым швом с полным проваром и предварительным разделом кромок.

Ребра привариваются отдельно к каждому составляющему элементу колонны. Для увеличения прочности пластины усиливают вертикальными ребрами.

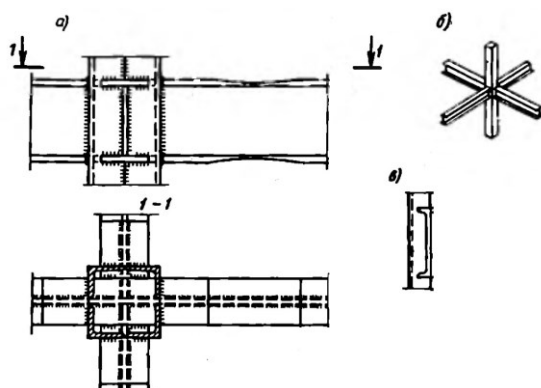


Рис. 1. Узел из книги С.В. Полякова, Л.Ш. Килимник, А.В. Черкашина, 1989 г. [1]
Fig. 1. Joint from the book by S.V. Polyakov, L.S. Kilimnik, A.V. Cherkashin, 1989 [1]

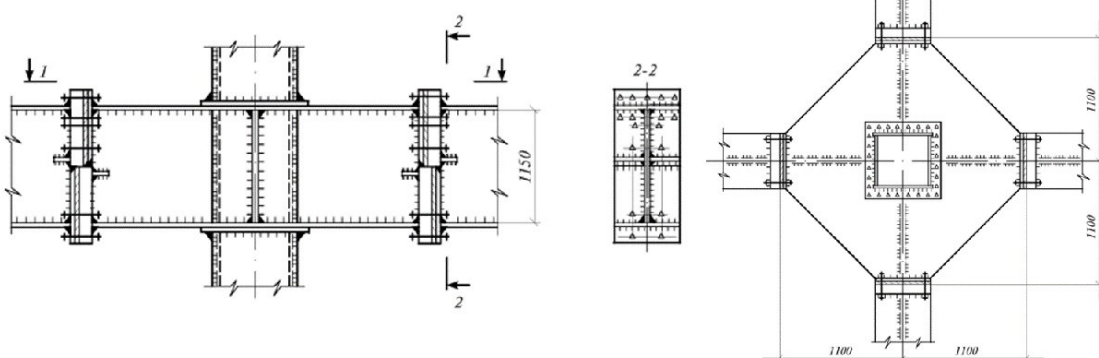


Рис. 2. Узел со вставкой из книги В.В. Кузнецова, 1999 г.
Fig. 2. Joint with an insert from the book by V.V. Kuznetsov, 1999²

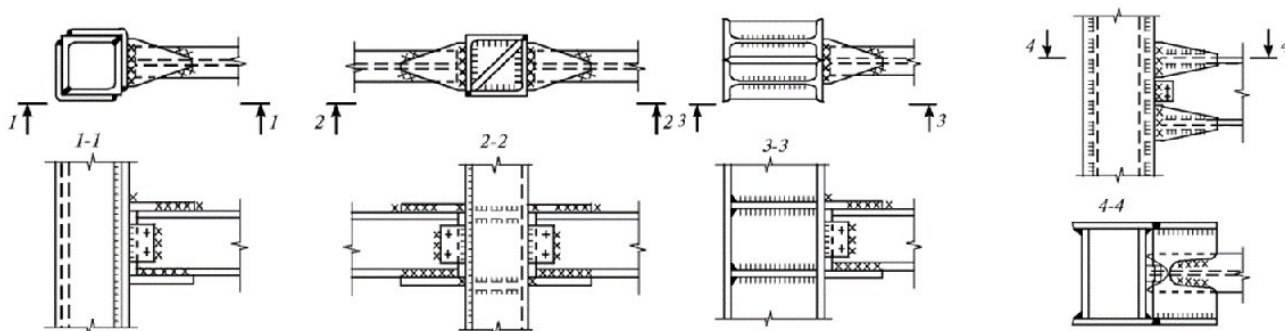


Рис. 3. Узлы из книги В.В. Кузнецова, 1999 г.
Fig. 3. Joint from the book by V.V. Kuznetsov 1999

²Кузнецов В.В. Металлические конструкции: в 3 т. Стальные конструкции зданий и сооружений. Справочник проектировщика. М.: АСВ, 1999. Т. 2. 512 с.

На рис. 4 показаны узлы с уширением поясов ригелей (4а) и плавным переходом к основному сечению (4б). Колонны выполняются

квадратного трубчатого сечения из четырех равнобоких уголков или листов, а также двух швеллеров.

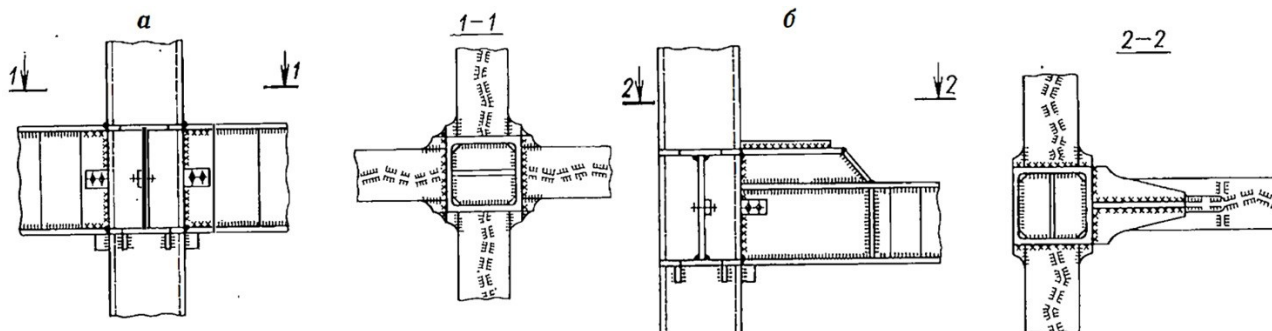


Рис. 4. Узлы из книги Г.М. Острикова, 1985 г. [5]
Fig. 4. Joint from the book by G.M. Ostrikov, 1985 [5]

На рис. 5 представлен узел, где вместо обычных диафрагм внутри колонны устанавливаются корытообразные вкладыши, к которым с помощью высокопрочных болтов крепятся пояса ригелей. Вкладыши, отлитые из стали или сваренные из листов, одновременно слу-

жат кондукторами для сборки колонны из листовой стали. На рис. 6 показан узел со вставкой, усиленный болтами. На рис. 7 показано решение, аналогичное тому, что представлено на рис. 3 и 4, с дополнительным вертикальным ребром в теле колонны³.

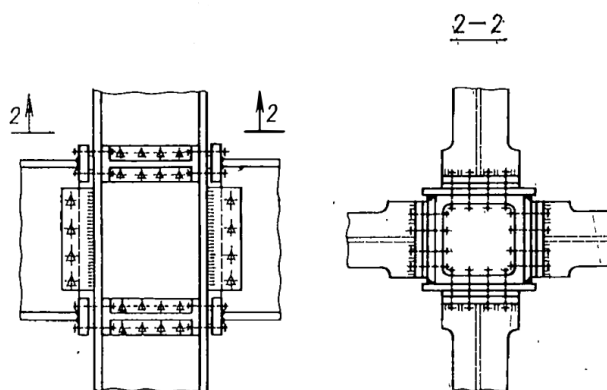


Рис. 5. Фланцевые узлы из книги Г.М. Острикова, 1985 г. [5]
Fig. 5. Flange joint from the book by G.M. Ostrikov, 1985 [5]

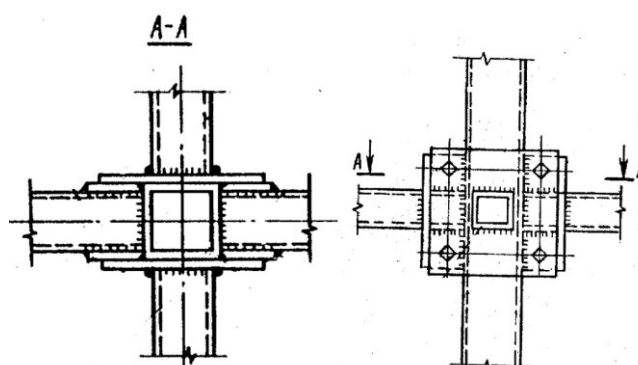


Рис. 6. Узел из патента № SU1030507A1, 1983 г. [6]
Fig. 6. Joint from patent № SU1030507A1, 1983 [6]

³Перминов Д.А. Повышение несущей способности узлов рамных каркасов с колоннами коробчатого сечения: дис. ... к.т.н. Ростов-на-Дону, 2016. 180 с.

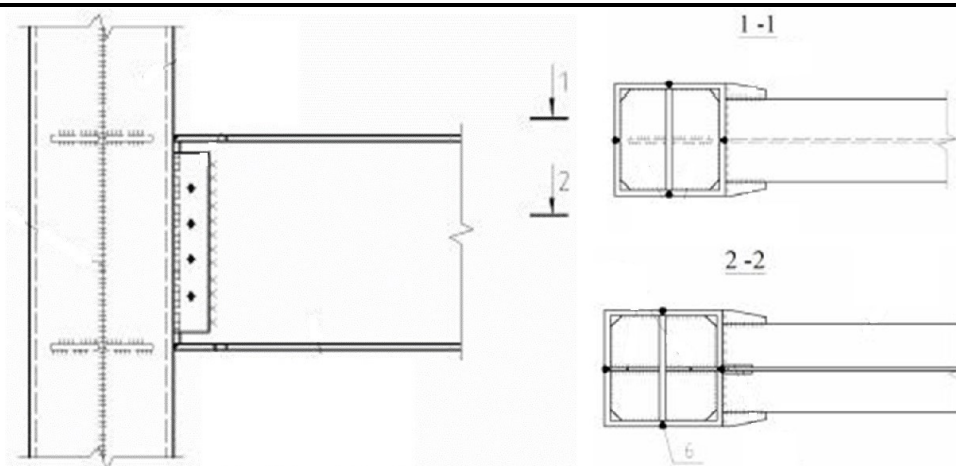


Рис. 7. Узел из диссертации Д.А. Перминова
Fig. 7. Joint from the dissertation by D.A. Perminov

Варианты узловых соединений, полученные из зарубежных источников

Здесь можно отметить нормативный документ американского института стального строительства ANSI/AISC 358-22⁴.

В нем представлены стальные узлы, согласно их классификации, допущенные для применения в стальных рамах в сейсмоопасных районах.

На рис. 8а продемонстрирован узел, где соединение достигается за счет обоймы из специальных литых деталей, труба заполнена бетоном, ребра внутри трубы отсутствуют. На рис. 8б в узле передача момента от ригеля к колонне происходит через приваренные боковые пластины, ребра внутри трубы отсутствуют. На рис. 8в узел с тем же принципом, но другой ориентацией боковых пластин.

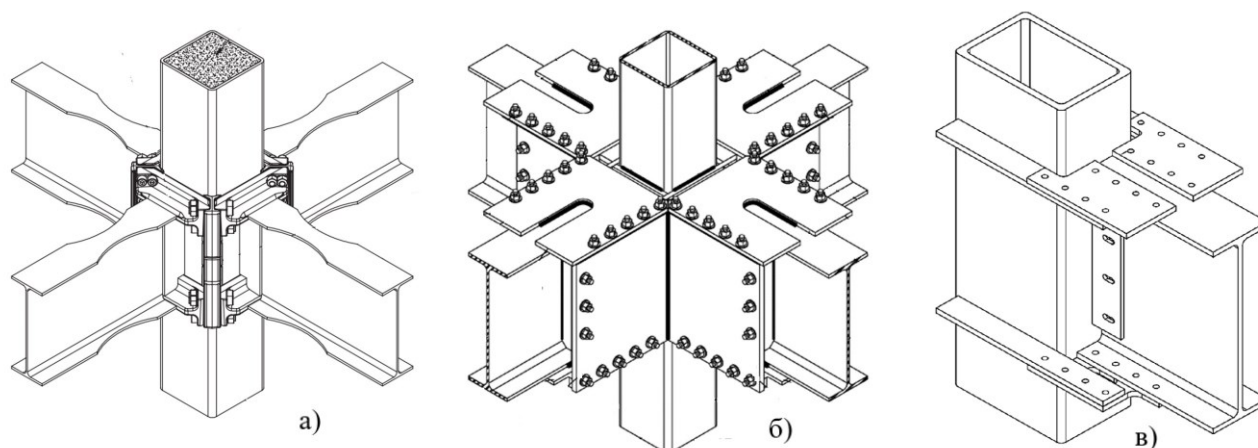


Рис. 8. Узлы из ANSI/AISC 358-22
Fig. 8. Joint from ANSI/AISC 358-22

Рассмотрим варианты узлов из японских источников.

На рис. 9 показаны альтернативные варианты усиления узла внутри колонны вертикальными пластинами.

На рис. 10 показаны узлы с ребрами, выполненными вне колонны. На рис. 11 показан способ приварки внутренних ребер колонны с

помощью электро-шлаковой сварки (ЭШС) и монтаж в заводских условиях опорных элементов ригелей. На рис.12 показан узел, полностью исполненный на болтовых соединениях. На рис. 13 вместо установки поперечных ребер устанавливается часть колонны с утолщенной стенкой. На рис. 14 показан способ болтового соединения полки ригеля со стенкой колонны с

⁴ANSI/AISC 358-22. Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications. Режим доступа: <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a358-22w.pdf>. (дата обращения: 20.05.2024).

помощью специальной детали.

На рис. 15 представлено такое же соедине-

ние, как и на рис. 14, только болтовое соедине-
 ние осуществляется к стальной обойме.

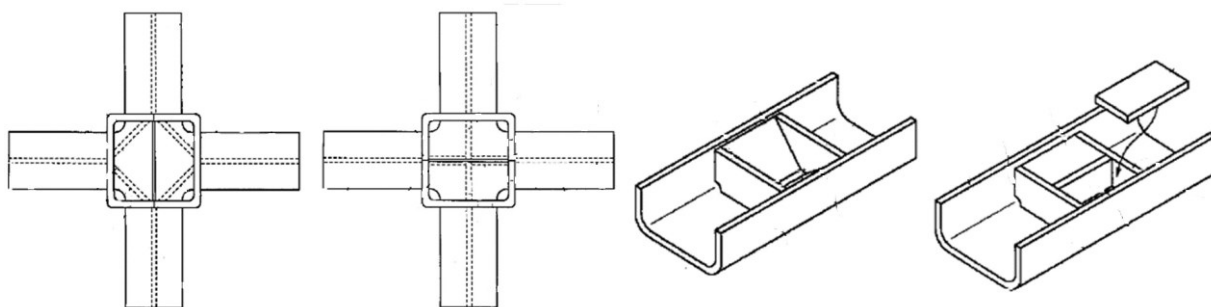


Рис. 9. Узел из патента № JPH09328817A, 1997 г. [9]
Fig. 9 Joint from patent № JPH09328817A, 1997 [9]

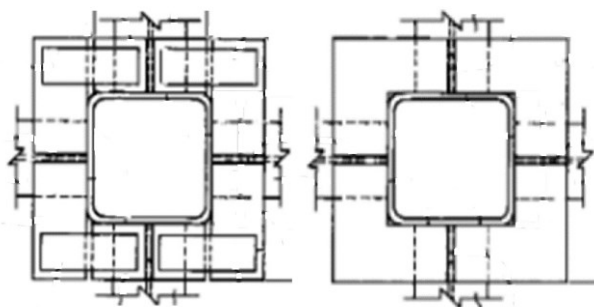


Рис. 10. Узел из патента № JP2002188208A, 2002 г. [10]
Fig. 10. Joint from patent № JP2002188208A, 2002 [10]

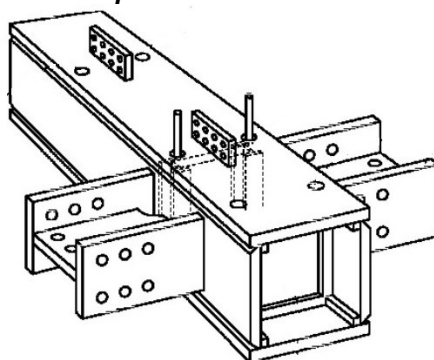


Рис. 11. Узел из патента № JP2003227172A, 2003 г. [11]
Fig. 11. Joint from patent № JP2003227172A, 2003 [11]

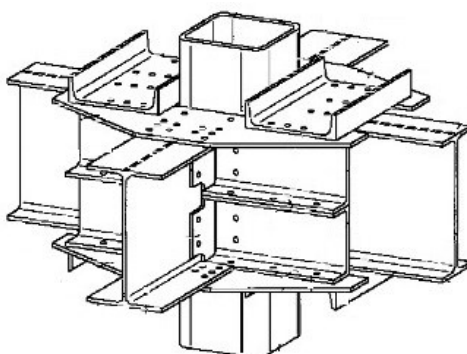


Рис. 12. Узел из патента № JPH11117389A, 1999 г. [12]
Fig. 12. Joint from patent № JPH11117389A, 1999 [12]

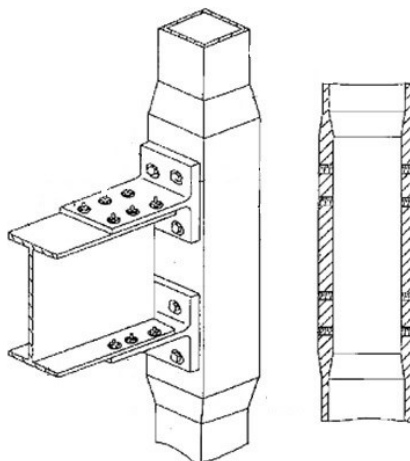


Рис. 13. Узел из патента № JP2821095B2, 1998 г. [13]
Fig. 13. Joint from patent № JP2821095B2, 1998 [13]

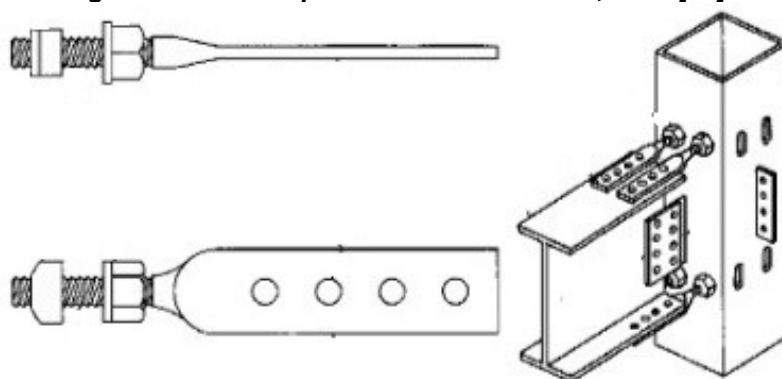


Рис. 14. Узел из патента № JP3116023B2, 2000 г. [14]
Fig. 14. Joint from patent № JP3116023B2, 2000 [14]

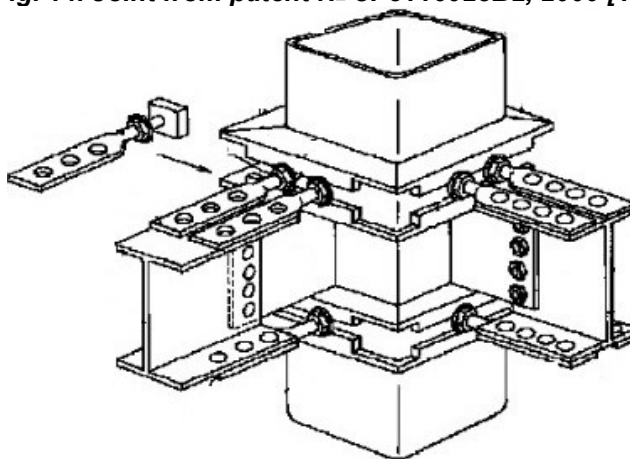


Рис. 15. Узел из патента № JPH11148174A, 1999 г. [15]
Fig. 15. Joint from patent № JPH11148174A, 1999 [15]

Среди китайских источников представлены следующие варианты узлов.

На рис. 16 фланцевый узел, где стык колонн расположен на уровне верхнего ребра.

На рис. 17 верхняя пластина заводского опорного элемента проходит насквозь колонны и является его ребром.

На рис. 18 усиление узла происходит за счет внешнего элемента двутаврового сечения. Минус такого решения состоит в невозможности сделать узел примыкания ригелей с четырех сторон. На рис.19 внутренние ребра реализованы с отверстием и усилены вертикальными пластинами.

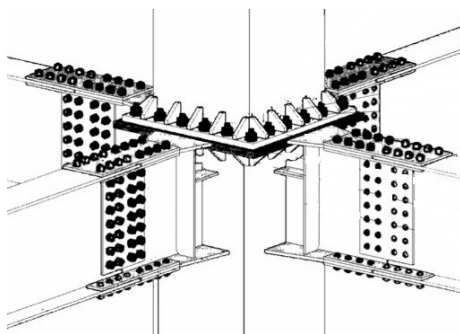


Рис. 16. Узел из патента № CN217379243U, 2022 г. [16]
Fig. 16. Joint from patent № CN217379243U, 2022 [16]

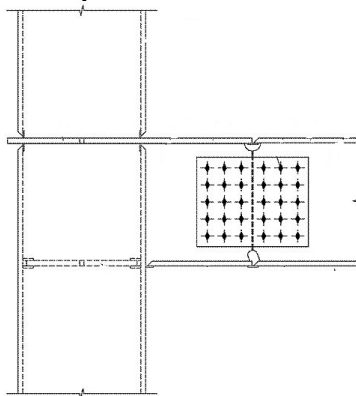


Рис. 17. Узел из патента № CN206220248U, 2017 г. [17]
Fig. 17. Joint from patent № CN206220248U, 2017 [17]

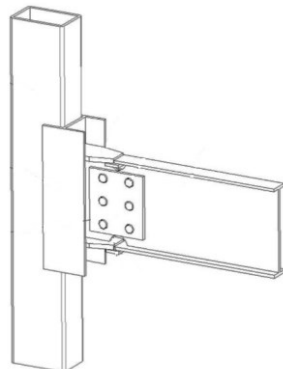


Рис. 18. Узел из патента № CN215106097U, 2021 г. [18]
Fig. 18. Joint from patent № CN215106097U, 2021 [18]

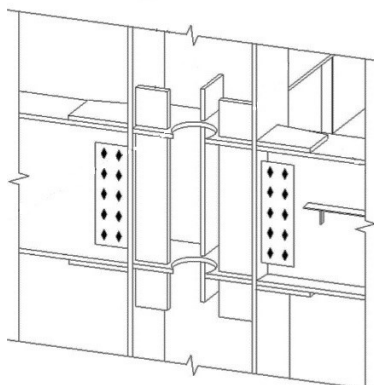


Рис. 19. Узел из патента № CN217782366U, 2021 г. [19]
Fig. 19. Joint from patent № CN217782366U, 2021 [19]

На рис. 20 показан узел, похожий на рис. 8б, но с овальными отверстиями, повышающими податливость соединения. Рассмотрим иранские варианты узлов. На рис. 21 продемонстрировано решение, в котором вместо горизонтальных ребер в колонне установлено

одно сквозное вертикальное через угол колонны. На рис. 22 узел, в котором вместо горизонтальных ребер в колонне установлено одно или два вертикальных. Минус такого решения состоит в невозможности сделать узел примыкания ригелей с четырех сторон.

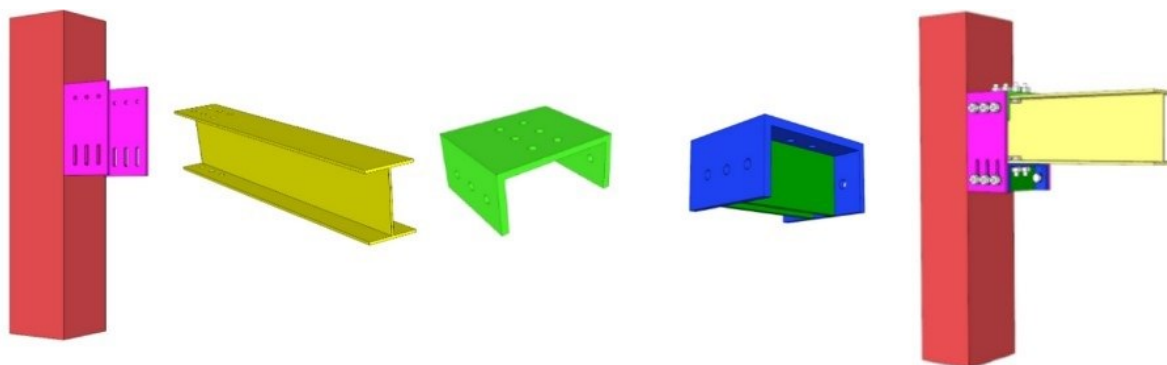


Рис. 20. Узел из статьи, 2024 г. [20]
Fig. 20. Joint from the article, 2024 [20]

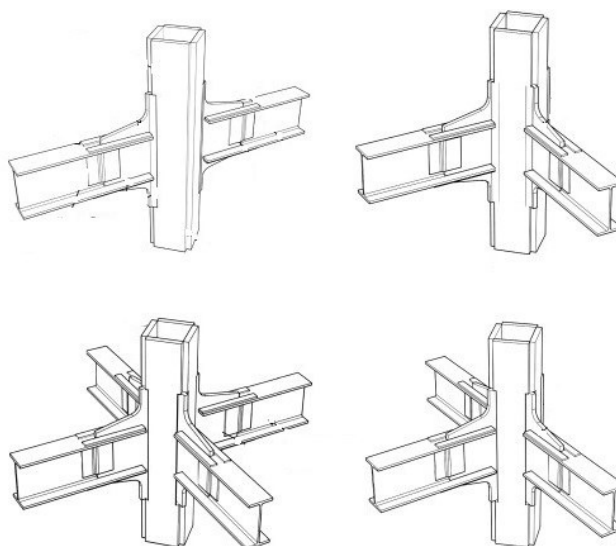


Рис. 21. Узел из статьи, 2012 г. [21]
Fig. 21. Joint from the article, 2012 [21]

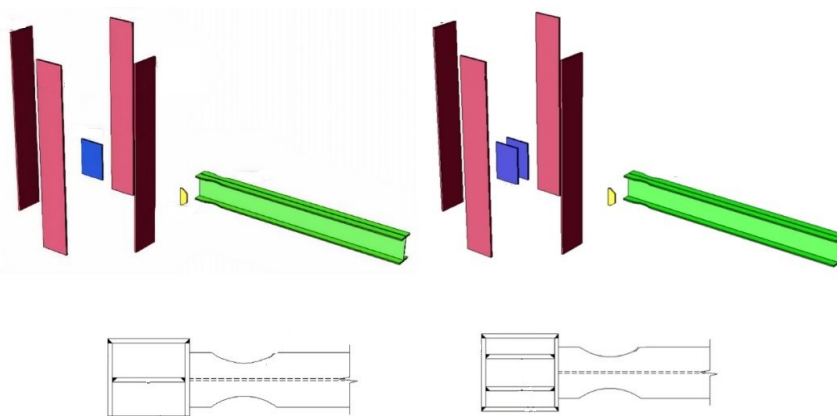


Рис. 22. Узел из статьи, 2023 г. [22]
Fig. 22. Joint from the article, 2023 [22]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучив приведенные выше схемы узлов, можно сделать следующие выводы:

1. Основное решение, благодаря которому внутри колонны можно установить ребро жесткости, связано с установкой сварной колонны из четырех равносторонних уголков или листов, либо из двух швеллеров.

2. Из-за особенностей коробчатого сечения в большинстве узлов нагрузка от ригеля к колоннам передается через сварку.

3. Некоторые решения требуют специальных литых деталей или устройств.

Сварка является слабым звеном в данных узлах (рис. 23). Эксперименты, проведенные с различными типами соединений и марок стали,

показали, что при возникновении переменных нагрузок будет значительно падать прочность сварного соединения [23]. Землетрясение в Нортридже (штат Калифорния) в январе 1994 г. показало, что сварные швы были подвержены повреждениям из-за дефектов в корне сварного шва, остаточных напряжений, концентрации напряжений и геометрических нарушений, что повлекло за собой работу узлов, не соответствующую ожиданиям проектировщиков. Уроки, извлеченные из этого землетрясения приведены в статье Д. Миллера [24]. Исследования в [8] и [25] для рам колонн коробчатого сечения также показывают хрупкую работу сварных узлов полков двутавров к полкам колонн из-за концентраций напряжений.

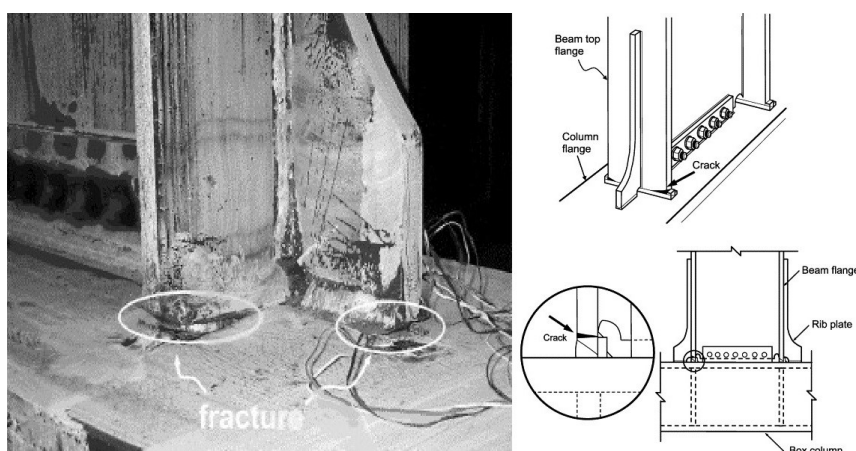


Рис. 23. Хрупкая работа сварных швов в двух разных образцах [25]
Fig. 23. Brittle work of welds in 2 different samples [25]

Многие дефекты легко не заметить, для их обнаружения требуются продвинутые методы контроля. Более того, трещины в сварных швах могут появиться после землетрясений. Если соединение не было своевременно усилено и отремонтировано, оно получает большие повреждения при афтершоках. В статье [26] приведено исследование сварных соединений с изначальными сварочными дефектами

(рис. 24). Соединения с начальной трещиной будут растрескиваться и разрушаться независимо от глубины начальной трещины и типа соединения.

Изначальная трещина практически не влияет на начальную жесткость соединений, в то время как предел прочности, деформация, пластичность и рассеяние энергии значительно снижаются.

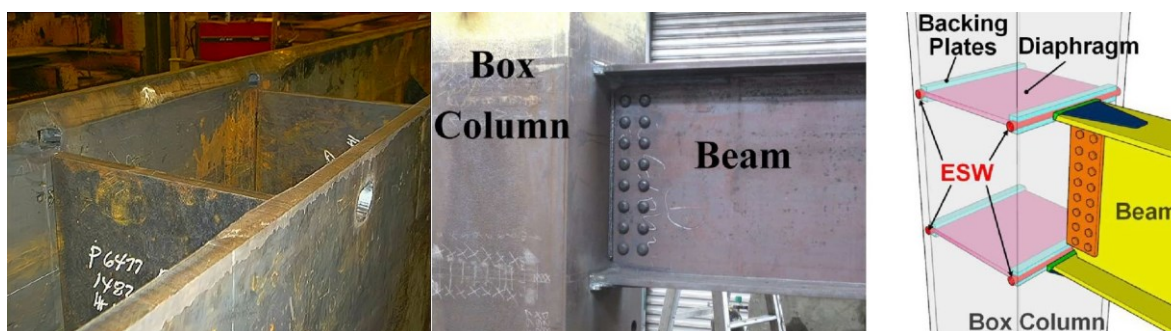


Рис. 24. Устройство поперечных ребер в колоннах коробчатого сечения с помощью электрошлаковой сварки
Fig. 24. Arrangement of transverse ribs in box-shaped columns using electroslag welding

В Азиатско-Тихоокеанском регионе широко распространены сварные колонны коробчатого сечения из четырех листов. И если угловое сварное соединение между пластинами показало себя достаточно пластичным, согласно результатам исследования [27], то для приварки ребер используют ЭШС через предварительно просверленные отверстия в пластинах.

В соединениях ЭШС могут возникнуть хрупкие разрушения из-за эксцентриситетов между

полкой ригеля и ребрами и самого сварного шва.

Результаты исследования таких соединений и рекомендации по повышению надежности приведены в статьях [28] и [29] (рис. 25).

Все вышесказанное не означает, что в сейсмоопасных районах нужно полностью отказаться от сварных соединений, но надежность их остается под вопросом и требует пристального внимания.



Рис. 25. Оценка сейсмического разрушения соединений ребер с помощью электрошлаковой сварки

Fig. 25. Assessment of seismic fracture of rib joints using electroslag welding

По этой причине, например, в СП 16.13330.2017 с последними изменениями для предотвращения хрупкого разрушения есть требование в п 13.2: «...при расположении сварных швов в зонах действия растягивающих напряжений, превышающих $0,4 R_y$, следует назначать повышенные объемы неразрушающих методов их контроля». Стоит также отметить, что в версии оригинальном СП 16.13330.2017, была другая формулировка: «...избегать расположения сварных швов в зонах действия растягивающих напряжений, превышающих $0,4 R_y$ », что значительно снижало прочность проектируемого сварного соединения⁵.

Отметим еще один факт, связанный с применением сварных соединений. На территории России имеются (согласно СП 20.13330.2016) арктические и субарктические климатические пояса, характеризующиеся низкими температурами и относящиеся к сейсмоопасным зонам, куда входят Магаданская область, Якутия, Хабаровский край, Амурская область. Данные

регионы относятся к Дальневосточному федеральному округу⁶. Согласно монографии [7], при эксплуатации в условиях с низкими температурами усталостная трещина небольшого размера, расположенная в зоне термического влияния соединения, может стать очагом хрупкого разрушения сварного элемента. Таким образом, для повышения надежности, следует минимизировать количество сварных швов и, по возможности, выполнять их в заводских условиях с разделом кромок и полным проплавлением. Среди узлов, в которых сварка представлена в минимальном количестве, можно отметить узлы на рисунках: 5, 8, 12, 13, 14, 20. Однако среди них есть узлы, которые требуют специальных литых деталей или приспособлений, что снижает их доступность.

В большинстве представленных узлов присутствуют ребра жесткости. Это согласуется с требованием п.6.9.2 и является следствием того, что благодаря ребру значительно лучше распределяется напряжение в узле⁷. Также, согласно исследованию [30], соединения балки

⁵ СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*»

⁶ СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1-5)

⁷ СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* (с Изменениями № 2, 3)

с колонной на участке, непосредственно прилегающем к стенке колонны, не могут считаться жесткими.

Узлы, у которых отсутствуют внутренние ребра, представлены на рисунках:

- 8а – нагрузка приложена через литые детали на углы колонны, заполненной бетоном;
- 8б, 8в, 20 – нагрузка приложена на стенки колонны параллельные ригелю;
- 10, 12 – ребра выполнены снаружи;
- 14 – вместо ребер производится локальное утолщение стенки колонны в месте примыкания ригеля;
- 21 – используется вертикальное ребро, проходящее через угол сварной колонны;
- 22 – используются пару ребер внутри сварной колонны.

Узлы, продемонстрированные в [20] и [22], показывают свои сейсмостойкие качества. Пример работы узла «SIDEPLATE» можно увидеть на официальном канале⁸. Однако, для применения подобных узлов на территории России, необходимо разрабатывать специальные технические условия (СТУ) для обхода требования п.6.9.2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная статья охватывает конструктивные решения рамных узловых соединений ригеля из двутавра и колонны коробчатого сечения, применяемые в России и за рубежом. Основная проблема большинства узлов связана с их сварными соединениями, которые в условиях

сейсмике и низких температур показывают хрупкую работу и снижают надежность конструкции. Вместе с тем, узлы, имеющие минимум сварных швов, либо требуют специальных литых деталей и устройств, либо не соответствуют требованиям отечественных норм, и, таким образом, для них необходима разработка СТУ.

Отсюда следует востребованность в таких конструктивных решениях узловых соединений, которые:

- позволяют повысить надежность строительных конструкций в условиях сейсмике и низких температур;
- имеют простоту в исполнении без использования специальных литых деталей и устройств;
- соответствуют требованиям норм и не требуют разработки СТУ.

Проблемы эксплуатации стальных каркасов в условиях сейсмике и низких температур применимы к таким регионам, как Дальневосточный федеральный округ. В настоящее время правительство России заинтересовано в активном развитии и повышении естественного прироста населения в этом округе. Действует Национальная программа социально-экономического развития Дальнего Востока с перспективой до 2035 г., которая предполагает интенсивное промышленное и гражданское строительство. В свете этого тема настоящего исследования актуальна и своевременна.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1988. 320 с.
2. Выхребенцева М.А., Ву Ле.К. Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1 (52). С. 1–20. EDN: NKHMJV.
3. Белаш Т.А. Использование эффекта «гибкого этажа» в зданиях жестких конструктивных систем // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2023. № 2. С. 45–53. <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-2-45-53>. EDN: EQNFVM.
4. Ujwal M.S., Kumar G.S., Sathvik S., Ramaraju H.K. Effect of Soft Story Conditions On the Seismic Performance of Tall Concrete Structures // Asian Journal of Civil Engineering. 2024. Vol. 25. P. 3141–3149. <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00968-9>.
5. Остриков Г.М., Максимов Ю.С. Стальные сейсмостойкие каркасы многоэтажных зданий. Алма-Ата: Казахстан, 1985. 120 с.
6. Пат. № 1030507, СССР, E04B 1/24, E04B 1/58. Узел рамного каркаса / М.И. Герзон, Г.Ф. Коваль, Т.А. Ковтун-Горбачева, А.Г. Килиевич; заявитель и патентообладатель Государственный проектный институт Днепрпроектстальконструкция. Заявл. 29.03.1982; опубл. 23.07.1983.
7. Труфяков В.И. Усталость сварных соединений. Киев: Наукова думка, 1973. 216 с.
8. Wu Jian, Tong Wei Guang Experimental Seismic Behavior of RHS Column-To-I Beam Connection with Additional Plates // Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering. 2022. Vol. 46. P. 2053–2065. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00770-0>.
9. Pat. № JPH09328817A, Japan, B23K9/00, E04B1/24, E04C3/32. Reinforcing Construction of Joint Section

⁸SidePlate Connection Designs // YouTube. Режим доступа: <https://www.youtube.com/@SidePlateConnectionDesigns> (дата обращения: 10.05.2024)

- and Manufacturing of Pipe-Like Body Used Therefor / F. Yoshio, M. Mikio, G. Shokichi, O. Hideo, T. Yasuhiko, S. Koichi, S. Kenji; applicant and the patent holder Ohbayashi Corp, Nittetsu Column KK; appl. 11.06.1996; publ. 22.12.1997.
10. Pat. № JP2002188208A, Japan, E04B1/24, E04B1/58. Steel-Framed Beam-Column Connecting Section Structure of Box-Shaped Section Column / Y. Atsuhide, Y. Tatsuo, U. Masahiko, T. Ryoichi, S. Isao; applicant and the patent holder H. Atsuhide, Tomoe Corp.; appl. 18.12.2000; publ. 05.07.2002.
11. Pat. № JP2003227172A, Japan, B23K25/00, B23K9/00. Manufacturing Method of Box-Shaped Cross Section Steel Column Material with Built-In Diaphragm, and Building Iron Frame Column and Beam Joint Part Using the Box-Shaped Cross Section Steel Column Material with The Built-In Diaphragm Manufactured by The Manufacturing Method / A. Seizaburo; applicant and the patent holder Nippon Steel Corp.; appl. 05.02.2002; publ. 15.08.2003.
12. Pat. № JPH11117389A, Japan, E04B1/24. Beam-Column Joint Method of Steel Frame Construction / A. Tsutomu, F. Yoshihiro, N. Katsuhisa; applicant and the patent holder OHBAYASHI Corp.; appl. 14.10.1997; publ. 27.04.1999.
13. Pat. № JP2821095B2, Japan, E04B1/24. Column-Beam Connective Structure and Method Therefor / F. Akira, N. Susumu, W. Yasuo; applicant and the patent holder Daiwa House Ind, Dai Ichi High Frequency CO LTD; appl. 22.12.1994; publ. 05.11.1998.
14. Pat. № JP3116023B2, Japan, E04B1/24, E04B1/58. Joint Device for Steel Column and Steel Beam / I. Shoei, H. Kazufumi; applicant and the patent holder ITO Shoei, H. Kazufumi; appl. 07.08.1997; publ. 11.12.2000.
15. Pat. № JPH11148174A, Japan, E04B1/24, E04B1/58. Connecting Structure of Closed Type Sectional Column and Beam / S. Kuniaki, I. Shoei, M. Eiji; applicant and the patent holder Arutesu KK; appl. 18.11.1997; publ. 02.06.1999.
16. Pat. № CN217379243U, China, E04B1/24, E04B1/58. Joint for Steel Frame Box Section Column Bolt Welding and Flange Connection / Z. Haijun; applicant and the patent holder Z. Haijun; appl. 27.05.2022; publ. 06.09.2022.
17. Pat. № CN206220248U, China, E04B1/24, E04B1/58. Steel Frame Joint Structure / Z. Haoxiang; applicant and the patent holder Shenzhen A+E Design CO LTD; appl. 22.11.2016; publ. 06.06.2017.
18. Pat. № CN215106097U, China, E04B1/24, E04B1/58. Novel Steel Structure Beam Column Rigid Connection Joint / Z. Chuanxin, L. Hui, D. Yuhui, S. Yanyong, G. Mojun; applicant and the patent holder China IPPR INT Engineering CO LTD; appl. 14.12.2020; publ. 10.12.2021.
19. Pat. № CN217782366U, China, E04B1/24, E04B1/58, E04C3/04, E04C3/32. Steel Structure Beam-Column Joint Adopting Integral H-Shaped Steel Connecting Piece / X. Qiang; applicant and the patent holder Hangzhou Jiurong Arch Design Studio; appl. 15.08.2022; publ. 11.11.2022.
20. Zhiwei Zhang, Dong Li, Huajie Wang, Songling Li, Hongliang Qian, Yanhua Bi [et al.] Static and Seismic Experimental Study of Novel Prefabricated Beam-Column Joints with Elongated-Hole Brackets // *International Journal of Steel Structures*. 2024. Vol. 24. P. 118–131. <https://doi.org/10.1007/s13296-023-00804-5>.
21. Torabian S., Mirghaderi S.R., Keshavarzi F. Moment-Connection Between I-Beam and Built-Up Square Column by A Diagonal Through Plate // *Journal of Constructional Steel Research*. 2012. Vol. 70. P. 385–401. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.10.017>.
22. Peykari K., Najafgholipour M.A. Behavior of Steel Beam to Built-Up Box Column Moment Connections with Vertically Stiffened Panel Zone // *Journal of Building Pathology*. 2023. Vol. 8. P. 1–21. <https://doi.org/10.1007/s41024-022-00253-3>.
23. Труфяков В.И. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках. Киев: Наукова думка, 1990. 255 с.
24. Miller D.K. Lessons Learned from The Northridge Earthquake // *Engineering Structures*. 1998. Vol. 20. Iss. 4–6. P. 249–260.
25. Cheng-Chih Chen, Chun-Chou Lin, Chia-Liang Tsai Evaluation of Reinforced Connections Between Steel Beams and Box Columns // *Engineering Structures*. 2004. Vol. 26. Iss. 13. P. 1889–1904. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.06.017>.
26. Jiaming Li, Haoran Yu, Weibin Li, Weijia Cheng Seismic Performance of Welded Steel Beam-To-Column Connections with Initial Weld Defects // *International Journal of Steel Structures*. 2022. Vol. 22. P. 566–584. <https://doi.org/10.1007/s13296-022-00591-5>.
27. Satoshi Yamada, Yuko Shimada, Takanori Ishida, Yuka Matsumoto, Jun Iyama, Hiroumi Shimokawa [et al.] Experimental Study of the Ductility of a Submerged Arc Welded Corner Joint in A High-Performance Steel Built-Up Box Column // *International Journal of Steel Structures*. 2020. Vol. 20. P. 1454–1464. <https://doi.org/10.1007/s13296-020-00379-5>.
28. Chui-Hsin Chen, Ker-Chun Lin, Sheng-Jhih Jhuang, Heui-Yung Chang Seismic Performance Evaluation of Steel Box-Column Connections with ESW Stiffeners // *International Journal of Steel Structures*. 2020.

Vol. 20. P. 766–776. <https://doi.org/10.1007/s13296-020-00321-9>.

29. Ching-Yi Tsai, Keh-Chyuan Tsai, Chao-Hsien Li, Chung-Che Wu, Ker-Chun Lin, Sheng-Jhih Jhuang Seismic Fracture Evaluation of Diaphragm Joints in Welded Beam-To-Box Column Moment Connections // *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 2020. Vol. 49. Iss. 13. P. 1344–1362. <https://doi.org/10.1002/eqe.3293>.

30. Tusnina O.A., Danilov A.I. The Stiffness of Rigid Joints of Beam with Hollow Section Column // *Magazine of Civil Engineering*. 2016. Iss. 4 (64). P. 40–51. <https://doi.org/10.5862/MCE.64.4> EDN: WWPEYH.

REFERENCES

1. Polyakov V.S., Kilimnik L.Sh., Cherkashin A.V. *Modern Methods of Seismic Protection of Buildings*. Moscow: Stroyizdat, 1988. 320 p. (In Russ.).
2. Vyscrebentseva M.A., Vu Le.Q. Methods of Seismic and Seismic Isolation Using Special Devices. *Engineering journal of Don*. 2019;1(52):1-20. (In Russ.). EDN: NKHMJV.
3. Belash T.A. The Use of The "Flexible Floor" Effect in Buildings of Rigid Structural Systems. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*. 2023;2:45-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-2-45-53>. EDN: EQNFVM.
4. Ujwal M.S., Kumar G.S., Sathvik S., Ramaraju H.K. Effect of Soft Story Conditions On the Seismic Performance of Tall Concrete Structures. *Asian Journal of Civil Engineering*. 2024;25:3141-3149. <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00968-9>.
5. Ostrikov G.M., Maksimov Yu.S. *Steel Earthquake-Resistant Frames of Multi-Storey Buildings*. Alma-Ata: Kazakhstan, 1985. 120 p. (In Russ.).
6. Gerzon M.I., Koval' G.F., Kovtun-Gorbacheva T.A., Kilievich A.G. *Frame Assembly*. Patent USSR, no. 1030507; 1983. (In Russ.).
7. Trufyakov V.I. *Fatigue of Welded Joints*. Kyiv: Naukova Dumka, 1973. 216 p. (In Russ.).
8. Wu Jian, Tong Wei Guang Experimental Seismic Behavior of RHS Column-To-I Beam Connection with Additional Plates. *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering*. 2022;46:2053-2065. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00770-0>.
9. Yoshio F., Mikio M., Shokichi G., Hideo O., Yasuhiko T., Koichi S., Kenji S. *Reinforcing Construction of Joint Section and Manufacturing of Pipe-Like Body Used Therefor*. Patent Japan, no. JPH09328817A; 1997.
10. Atsuhide Y., Tatsuo Y., Masahiko U., Ryoichi T., Isao S. *Steel-Framed Beam-Column Connecting Section Structure of Box-Shaped Section Column*. Patent Japan, no. JP2002188208A; 2002.
11. Seizaburo A. *Manufacturing Method of Box-Shaped Cross Section Steel Column Material with Built-In Diaphragm, and Building Iron Frame Column and Beam Joint Part Using the Box-Shaped Cross Section Steel Column Material with The Built-In Diaphragm Manufactured by The Manufacturing Method*. Patent Japan, no. JP2003227172A; 2003.
12. Tsutomu A., Yoshihiro F., Katsuhisa N. *Beam-Column Joint Method of Steel Frame Construction*. Patent Japan, no. JPH11117389A; 1999.
13. Akira F., Susumu N., Yasuo W. *Column-Beam Connective Structure and Method Therefor*. Patent Japan, no. JP2821095B2; 1998.
14. Shoei I., Kazufumi H. *Joint Device for Steel Column and Steel Beam*. Patent Japan, no. JP3116023B2; 2000.
15. Kuniaki S., Shoei I., Eiji M. *Connecting Structure of Closed Type Sectional Column and Beam*. Patent Japan, no. JPH11148174A; 1999.
16. Haijun Z. *Joint for Steel Frame Box Section Column Bolt Welding and Flange Connection*. Patent China, no. CN217379243U; 2022.
17. Haoxiang Z. *Steel Frame Joint Structure*. Patent China, no. CN206220248U; 2017.
18. Chuanxin Z., Hui L., Yuhui D., Yanyong S., Mojun G. *Novel Steel Structure Beam Column Rigid Connection Joint*. Patent China, no. CN215106097U; 2021.
19. Qiang X. *Steel Structure Beam-Column Joint Adopting Integral H-Shaped Steel Connecting Piece*. Patent China, no. CN217782366U; 2022.
20. Zhiwei Zhang, Dong Li, Huajie Wang, Songling Li, Hongliang Qian, Yanhua Bi [et al.] Static and Seismic Experimental Study of Novel Prefabricated Beam-Column Joints with Elongated-Hole Brackets. *International Journal of Steel Structures*. 2024;24:118-131. <https://doi.org/10.1007/s13296-023-00804-5>.
21. Torabian S., Mirghaderi S.R., Keshavarzi F. Moment-Connection Between I-Beam and Built-Up Square Column by A Diagonal Through Plate. *Journal of Constructional Steel Research*. 2012;70:385-401. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.10.017>.
22. Peykari K., Najafgholipour M.A. Behavior of Steel Beam to Built-Up Box Column Moment Connections with

- Vertically Stiffened Panel Zone. *Journal of Building Pathology*. 2023;8:1-21. <https://doi.org/10.1007/s41024-022-00253-3>.
23. Trufyakov V.I. *Strength of Welded Joints Under Variable Loads*. Kyiv: Naukova Dumka, 1990. 255 p. (In Russ.).
24. Miller D.K. Lessons Learned from The Northridge Earthquake. *Engineering Structures*. 1998;20(4–6):249–260.
25. Cheng-Chih Chen, Chun-Chou Lin, Chia-Liang Tsai Evaluation of Reinforced Connections Between Steel Beams and Box Columns. *Engineering Structures*. 2004;26(13):1889–1904. <https://doi.org/10.1016/j.eng-struct.2004.06.017>.
26. Jiaming Li, Haoran Yu, Weibin Li, Weijia Cheng Seismic Performance of Welded Steel Beam-To-Column Connections with Initial Weld Defects. *International Journal of Steel Structures*. 2022;22:566–584. <https://doi.org/10.1007/s13296-022-00591-5>.
27. Satoshi Yamada, Yuko Shimada, Takanori Ishida, Yuka Matsumoto, Jun Iyama, Hiroumi Shimokawa [et al.] Experimental Study of the Ductility of a Submerged Arc Welded Corner Joint in A High-Performance Steel Built-Up Box Column. *International Journal of Steel Structures*. 2020;20:1454–1464. <https://doi.org/10.1007/s13296-020-00379-5>.
28. Chui-Hsin Chen, Ker-Chun Lin, Sheng-Jhih Jhuang, Heui-Yung Chang Seismic Performance Evaluation of Steel Box-Column Connections with ESW Stiffeners. *International Journal of Steel Structures*. 2020;20:766–776. <https://doi.org/10.1007/s13296-020-00321-9>.
29. Ching-Yi Tsai, Keh-Chyuan Tsai, Chao-Hsien Li, Chung-Che Wu, Ker-Chun Lin, Sheng-Jhih Jhuang Seismic Fracture Evaluation of Diaphragm Joints in Welded Beam-To-Box Column Moment Connections. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 2020;49(13):1344–1362. <https://doi.org/10.1002/eqe.3293>.
30. Tushina O.A., Danilov A.I. The Stiffness of Rigid Joints of Beam with Hollow Section Column. *Magazine of Civil Engineering*. 2016;4(64):40–51. <https://doi.org/10.5862/MCE.64.4> EDN: WWPEYH.

Информация об авторах

Кость Юрий Сергеевич,
аспирант,
Северо-Восточный государственный
университет,
685000, г. Магадан, ул. Портовая, д. 13, Россия,
✉e-mail: kost.svgu@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-9784-2668>
Author ID: 1138840

Дмитриева Татьяна Львовна,
д.т.н., доцент, заведующий кафедрой механики
и сопротивления материалов,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: dmitrievat@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4622-9025>
Author ID: 312501

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.

Information about the authors

Yurii S. Kost,
Postgraduate Student,
North-Eastern State University,
13 Portovaya St., Magadan 685000,
Russia,
✉e-mail: kost.svgu@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-9784-2668>
Author ID: 1138840

Tatiana L. Dmitrieva,
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Mechanics
and Resistance of Materials,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: dmitrievat@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4622-9025>
Author ID: 312501

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 30.05.2024
Одобрена после рецензирования 28.06.2024.
Принята к публикации 03.07.2024.

Information about the article

The article was submitted 30.05.2024.
Approved after reviewing 28.06.2024.
Accepted for publication 03.07.2024.



Методы эффективной генерации машин Тьюринга, решающих NP-трудные задачи

В.И. Мартьянов^{1,2,3✉}, А.С. Волков²

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

²Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия

³Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Целью исследования является анализ программной реализации концепции генерации машин Тьюринга, решающих NP-трудные задачи. Формулируется математическая постановка проблемы генерации машин, представленная как решение задач ресурсного планирования для удобства адаптации к программным решениям, используемым для задач проектирования расписания занятий или, более широко, для задач сетевого планирования. Представлены программные решения представления данных, частично использующие технические решения для задачи проектирования расписания занятий. Приведено описание основных стратегий (процедурная семантика методов) сокращения переборных (глубокий возврат, «смотри вперед» и др.). В них также используются технические решения для задачи проектирования расписания занятий и других стратегий (например, применение оракула), которые не использовались для задачи проектирования расписания занятий. Целью исследования является анализ промежуточных результатов программной реализации концепции генерации машин Тьюринга, решающих NP-сложные задачи. Обсуждаются дальнейшие планы по разработке программного комплекса для генерации машин Тьюринга, который может стать открытой платформой для обучения студентов теории алгоритмов и информационным технологиям, проведения всеми желающими экспериментов по определению не полиномиальной сложности решения определенной серии NP-трудных задач, сгенерированных машинами Тьюринга.

Ключевые слова: задачи ресурсного планирования, удовлетворение ограничений, программирование в ограничениях, глубокий возврат, неполное восстановление среды точки возврата

Для цитирования: Мартьянов В.И., Волков А.С. Методы эффективной генерации машин Тьюринга, решающих NP-трудные задачи // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 556–569. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-556-569>. EDN: QJQXZL.

Original article

Methods for efficient generation of Turing machines to solve NP-hard problems

Vladimir I. Martyanov^{1,2,3✉}, Andrey S. Volkov²

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

²Baikal State University, Irkutsk, Russia

³Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Abstract. The present study analyzes the software implementation of the concept of generating Turing machines that solve NP-hard problems. The paper describes a mathematical formulation of machine generation, presented as a solution of resource planning problems to be adapted to software for designing class schedules or, more generally, for network scheduling. The proposed software solutions for data representation are partially based on technical solutions for designing a class schedule. Basic strategies (procedural semantics of methods) for reducing searches (deep return, look ahead, etc.) utilize technical solutions for designing class schedules and other strategies (e.g., application of oracle) that have not been used for this purpose. The study is aimed at analyzing the intermediate results of software

implementation of the concept of generating Turing machines that solve NP-hard problems. The paper proposes further plans for developing a software package for generating Turing machines into an open platform for teaching students the theory of algorithms and information technology, conducting experiments to determine the non-polynomial complexity of solving certain NP-hard problems generated by Turing machines.

Keywords: resource planning tasks, satisfaction of constraints, programming in constraints, deep return, incomplete restoration of the return point environment

For citation: Martyanov V.I., Volkov A.S. Methods for efficient generation of Turing machines to solve NP-hard problems. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):556-569. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-556-569>. EDN: QJQXZL.

ВВЕДЕНИЕ

Общая концепция создания программного комплекса генерации машин Тьюринга (МТ) рассмотрена в статьях [1–4].

В статье [1] отмечается, что генерация МТ функционирует до некоторой степени подобно генераторам криптовалют [5–8], но формирует МТ, решающие математические задачи.

В данной работе рассмотрены более детально технические вопросы организации:

- данных (лента и запись на ней исходных задач, функций перехода состояний, печати, движения головки) и др.;
- стандартных переборов исходных задач на ленте и МТ;
- стратегии оптимизации переборов как исходных данных, так и МТ.

Кроме того, изучены результаты вычислительных экспериментов и планы решения задач большой размерности.

Также в качестве эталонных NP-сложных задач на ленте МТ записываются задачи покрытия [9].

Сравнительный анализ технических решений стратегий оптимизации переборов при генерации МТ и в задаче проектирования расписания занятий проводится только тогда, когда это возможно.

Генерации расписания занятий и МТ в формате задач ресурсного планирования

Для задачи генерации расписания основными являются множества:

- преподавателей $L = \{l_1, l_2, \dots, l_{kp}\}$;
- контингентов учащихся $K = \{k_1, k_2, \dots, k_{kc}\}$;
- предметов $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{kd}\}$;
- аудиторий $M = \{m_1, m_2, \dots, m_{ka}\}$;
- пар (двухнедельный или иной цикл) $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{km}\}$.

Совокупность планируемых занятий $Za \subseteq L \times K \times P$.

Расписание занятий Ih – инъективное отображение $Za \rightarrow Re$, где $Re: M \times C$ – ресурс.

Таким образом, генерация расписания занятий – важный частный случай задачи ресурсного планирования. Следует отметить, что сетевой план пар (расписание) Ih должен учитывать условия как по группам студентов, так и по лекторам (смены для групп студентов, равномерное распределение занятий по учебной неделе и пр.), а также правила для исполнителей нагрузки (свободные от занятий дни недели или часы, ограниченное число пар в день, принимать во внимание число типов занятий в день, особенно лекций, и пр.).

Компоненты МТ

1. Лента L , разбитая на клетки (ячейки). При выполнении команд программы головка МТ может сдвигаться по ленте влево и право, формируя новые клетки так, что лента L может считаться потенциально бесконечной. В любой из клеток ленты указаны какие-то буквы из алфавита $AL = \{b_0, b_1, b_2, \dots, b_w, \dots\}$, т.е. в клетках ленты b_{ij} являются буквами алфавита AL . При выполнении команд программы головка МТ движется по клеткам ленты L и буквы могут изменяться и не изменяться. Ленту L определяют также как внешнюю память МТ (в отличие от состояния, которое определяют как внутреннюю память МТ). При переходе на новые клетки слева или справа считаем, что в ней находится одна и та же буква алфавита $AL = \{b_0, b_1, b_2, \dots, b_w, \dots\}$, а именно b_0 , предполагая в данном случае клетку пустой.

2. Совокупность состояний МТ. $QQ = \{qq_0, qq_1, qq_2, \dots, qq_t\}$, составляющие эту совокупность называются внутренней памятью. Будем считать, что МТ постоянно существует лишь в единственном состоянии, поэтому определяется как детерминированная, но также используются не детерминированные МТ, которые могут иногда или постоянно использовать больше, чем одно состояние. Состояние qq_0 определяется как конечное (или стоп-состояние) при возникновении которого МТ стопорится.

3. Головка МТ читает букву одной клетки ленты L.

4. Правила функционирования МТ. На каждом шаге деятельности МТ головка воспринимает из клетки ленты букву алфавита МТ и записывает в данную клетку некоторую букву алфавита $AL = \{b_0, b_1, b_2, \dots, b_w, \dots\}$, а затем смещает головку МТ в ближайшую (левую или правую) клетку. МТ получает то или иное состояние из совокупности $QQ = \{qq_0, qq_1, qq_2, \dots, qq_i\}$. Следует учитывать, что МТ может зацикливаться, т. к. стоп-состояние qq_0 может оказаться недостижимым. Сущностью (машинным словом) МТ определим множество, образованное словом $aa_{j1}, aa_{j2}, \dots$, букв всех клеток ленты, буквой qq_i и номером kk считываемой клетки aa_{jk} . Следовательно, каждая сущность (машинное слово) имеет всего одно применение буквы состояния qq_i . Это означает, что данное машинное слово (сущность) буква qq_i стоит на позиции kk , что можно представить словом

$$aa_{j1} aa_{j2} \dots aa_{jk-1} qq_i aa_{jk} \dots aa_{js} \quad (1)$$

Напомним, что всякая сущность (машинное слово) обязательно в конце имеет букву алфавита $AL = \{b_0, b_1, b_2, \dots, b_w, \dots\}$, но иногда начинается буквой из $QQ = \{qq_0, qq_1, qq_2, \dots, qq_i\}$.

5. Функции перехода, печати и сдвига:

– переход состояний: $Trans : (QQ \times AL) \rightarrow QQ$;

– печать: $Write : (QQ \times AL) \rightarrow AL$;

– сдвиг головки: $Move : (QQ \times AL) \rightarrow \{-1, 1\}$.

Изучим изменения формулы (1) при использовании функций $Trans$, $Write$, $Move$. Пусть $Trans(qq_i, aa_{ik}) = qq_\xi$, $Write(qq_i, aa_{ik}) = aa_\lambda$, $Move(qq_i, aa_{ik}) = tt$. Если $tt = -1$, то это производит сдвиг головки по ленте влево, а если $tt = 1$, то сдвиг головки вправо. Таким образом, получаем следующие два случая.

1. Пусть $tt = -1$. Тогда формула (1) будет переделана в слово $aa_{j1} aa_{j2} \dots qq_\xi aa_{jk-1} aa_\lambda \dots aa_{js}$

2. Пусть $tt = 1$. Тогда формула (1) будет переделана в слово $aa_{j1} aa_{j2} \dots aa_{jk-1} aa_\lambda qq_\xi aa_{jk+1} \dots aa_{js}$.

Отображения $Trans$, $Write$, $Move$ определяют программу МТ и исходную ленту L – задачей. Лента МТ позволяет формулировать любые классические NP-трудные проблемы:

- приблизительные вычисления;
- маршрутизация;
- планирование и др. [10].

При постановке задачи генерации МТ в формате задач ресурсного планирования рассматривается построение отображений, удовлетворяющих ограничениям для функций $Trans$, $Write$, $Move$, получаемых из F естественным образом.

$$F: (QQ \times AA) \rightarrow (QQ \times AA \times \{-1, 1\}) \quad (2)$$

Методы генерации МТ [11] можно применять для ускорения перебора входных данных (задачи на ленте МТ), а также для ускорения перебора программ МТ (функций $Trans$, $Write$, $Move$), что показывает возможность считать проблему генерации МТ еще одним примером важного частного случая задачи ресурсного планирования.

Генерация производится для МТ со следующими параметрами:

1. Алфавит $ho_alphabet.slw = \{0; 1; \odot; \blacksquare; \#; 5; 6\}$. Количество букв в алфавите $Alp = 7$. Буква $\odot$ – начальный символ, который стоит на нулевой позиции ленты и не изменяется при работе МТ (головка МТ не сдвигается влево от нулевой позиции); $\blacksquare$ – конец формирования исходных данных; $\#$ – разделитель отрезков из 0 и 1, выборка из которых может формировать покрытие (отрезок, состоящий только из 1).

2. Словарь состояний $ho_state.slw = \{q_begin; q_0, q_1, q_2, q_3\}$; q_begin – начальное состояние; q_0 – стоп (конец работы); q_1, q_2, q_3 – без свойств. Количество состояний $Sta = 5$.

3. Словарь сдвигов головки $ho_displace.slw = \{1; -1\}$; 1 – сдвиг головки вправо; -1 – сдвиг головки влево; количество сдвигов $k_displ = 2$.

В статье [10] отмечается, что генерация программ, хотя бы только для МТ, является принципиально новым шагом, а в данной работе показаны результаты, которые могут быть значительно продвинуты вперед в ближайшее время.

Постановка проблемы генерации МТ в формате задач ресурсного планирования

Определяются основные программные конструкции представления данных, управляющих структур, приемов минимизации переборов и другие способы решения проблем ресурсного планирования.

В частности, это делается для алгоритмического представления следующих данных и процедур проверки выполнимости:

- множеств элементов (доменов реляционной БД);
- отношений, связывающих элементы множеств (таблиц реляционной БД);
- определения ограничений для кортежей множеств и средств определения истинности ограничений;
- определения процедур преобразований исходных данных и построения эффективных переборов наборов преобразований;
- стратегии оптимизации перебора наборов преобразований.

Представление множества элементов и структурных конструкций

Отметим, что в алгоритмическом представлении множества элементов и управляющие структуры реализуются одинаковыми структурами, а именно «деревьями», что гарантирует применение концепции «обратной связи», т.е. исходные или промежуточные данные постановки задачи можно преобразовывать в структуры управления и наоборот. Отметим, что принцип «обратной связи» является очень важным для кибернетики, а также для систем искусственного интеллекта. Программе генерации сетевых планов необходимо работать и с примитивной организацией данных. А именно, для памяти – выделение конкретных частей: куч (heap), а для внешней памяти – системы файлов, т. к. в системах управления базами данных практически невозможно хранить конструкции алгоритмов планирования решения задач, основанных на предлагаемых в работе [10] методах. В дальнейшем будем применять команды языка программирования C++, calloc или new, определяющие по дескриптору pointer часть машинной памяти – heap.

Для внешней памяти файлы создаются командой C++ `Discip = _creat(const char *File, 0)`, где файл с именем File имеет указатель файла Discip. Команды считывания – `_read`, фиксации – `_write`, сдвига дескриптора – `lseek`.

В дальнейшем части программного кода, показывающие организацию задания исходных данных, программные конструкции задания структур планирования расчетов и задач, будут представлены на C++ или подобном языке программирования.

Основной программной конструкцией для задания данных и структур планирования расчетов будут «деревья» (tree) [12, 13]. Также будут применяться и классические методы обработки низкоуровневой организации данных:

- хеширование;
- сортировка;
- двоичный поиск и др.

Программная конструкция, определяющая узел дерева:

```
struct Tree {  
    int value;        //число, соответствующее  
    узлу (операция, наименование и др.)  
    int down;        //адрес узла вниз (-1: нет  
    пути вниз);  
    int right;       // адрес узла вправо (-1:  
    нет пути вправо);  
};
```

Тупиковое состояние движения на другой узел для элементов дерева down и right задается числом -1.

Определение kk узлов структуры Tree по указателю tree задается оператором

```
tree = (struct Tree *)  
calloc(kk, sizeof(struct Tree));    (3)
```

Оператор sizeof задает раздел памяти, хватающий для задания узлов struct Tree. Таким образом, оператор (3) задает по указателю tree область величиной в $kk * \text{sizeof}(\text{struct Tree})$.

При работе с данными и структурами управления генерации решения ресурсных задач, представленных «деревьями», важные значения имеют следующие базовые алгоритмы:

- проход структуры (tree) «в глубину – направо»;
- установка включения (или наличия общих вершин) у данных «деревьев»;
- преобразования «деревьев» (замена значений переменных, перестройка и изменения «поддеревьев» на другие, изменения, связанные с выполнением вычислительных операций и по вопросам, возникающим с выполнением технологических преобразований для уменьшения возвратов, генерации графиков), такие как «просмотр вперед», «глубокий возврат», «быстрая проверка ограничений» и др. [12].

Отметим следующие положительные свойства «деревьев»:

1. При генерации расписаний и МТ «деревья» применяют как для формирования данных, так и для управляющих структур алгоритмов.

2. Динамическая интерпретация и преобразование структуры данных выполняется с высокой экономией вычислительных затрат и почти всегда при минимальных затратах на выделение дополнительной памяти.

3. Очищение оперативной памяти от отработанных данных и структур управления, представленных «деревьями», выполняется тоже достаточно просто.

Далее рассмотрим представление данных (основных множеств), отношений и ограничений, как программных конструкций для математических моделей, определенных следующим образом:

$MM = \langle AA_1, AA_2, \dots, AA_s; pp_1, \dots, pp_k \rangle$,
где $AA_1, AA_2, \dots, AA_s$ – домены (основные множества) и $pp_1, \dots, pp_k$ – таблицы (отношения или предикаты), причем также заданы рестрикции (ограничения) – $RR_1, RR_2, \dots, RR_m$. Следует отметить, что описанная математическая модель MM является удобным формализмом для изложения математических основ эффективных стратегий решения задач ресурсного планирования. Например, отображение (2) может быть задано математической моделью $MM_1 = \langle QQ, AA, \{-1, 1\}; Trans1, Write1$,

Move1 >, где отношения Trans1, Write1 и Move1 соответствуют функциям Trans, Write и Move, а ограничения $R_1, R_2, \dots, R_k$ определяют необходимые требования для математической модели MM_1 .

Определение доменов (основных множеств) $AA_1, AA_2, \dots, AA_s$ математической модели MM реализуется определением разделов памяти (heap или куч):

$$\begin{aligned} SS_1 &= (\text{struct Seet}_1 \ *) \text{calloc} (kk_1, \\ &\quad \text{sizeof}(\text{struct Seet}_1)), \\ SS_2 &= (\text{struct Seet}_2 \ *) \text{calloc} (kk_2, \\ &\quad \text{sizeof}(\text{struct Seet}_2)), \\ SS_s &= (\text{struct Seet}_s \ *) \text{calloc} (kk_s, \\ &\quad \text{sizeof}(\text{struct Seet}_s)), \end{aligned}$$

где, соответственно, конструкции $Seet_1, Seet_2, \dots, Seet_s$ определяют основные качества элементов доменов $AA_1, AA_2, \dots, AA_s$, соответственно, $kk_1, kk_2, \dots, kk_s$ – размерности доменов $AA_1, AA_2, \dots, AA_s$.

Определение предикатов $pp_1, \dots, pp_k$ математических моделей в компьютере реализуется заданием, соответственно, разделов памяти (heap или куч):

$$\begin{aligned} Rt_1 &= (\text{struct Rit}_1 \ *) \text{calloc} (m_1, \\ &\quad \text{sizeof}(\text{struct Rit}_1)), \\ Rt_2 &= (\text{struct Rit}_2 \ *) \text{calloc} (m_2, \\ &\quad \text{sizeof}(\text{struct Rit}_2)), \\ Rt_k &= (\text{struct Rit}_k \ *) \text{calloc} (m_k, \\ &\quad \text{sizeof}(\text{struct Rit}_k)), \end{aligned}$$

где, соответственно, конструкции $Rit_1, Rit_2, \dots, Rit_k$ используются для элементов декартова произведения множеств $AA_1, AA_2, \dots, AA_s$, образующих предикаты $pp_1, \dots, pp_k$, а числа $m_1, m_2, \dots, m_k$ задают количество элементов декартова произведения в $pp_1, \dots, pp_k$, определенных на основных множествах $AA_1, AA_2, \dots, AA_s$, т. е. предполагаем, что отношения выстраиваются следующим образом:

$$pp_1, \dots, pp_k \subseteq AA_1 \times AA_2 \times \dots \times AA_s.$$

Определение рестрикций (ограничений) $RR_1, RR_2, \dots, RR_m$, которые обязаны исполняться на математической модели MM , и алгоритмы их проверки

Приводимые в предшествующем пункте алгоритмы не подходят для этого, т. к. рестрикции $RR_1, RR_2, \dots, RR_m$ не представлены в явном виде как предикаты, заданные на доменах $AA_1, AA_2, \dots, AA_s$.

Главные проблемы эффективной проверки рестрикций $RR_1, RR_2, \dots, RR_m$ две:

- количество кортежей, которые задают некоторые из ограничений $RR_1, RR_2, \dots, RR_m$, может быть очень большим, что не позволяет все их одновременно держать в оперативной памяти;

- при преобразованиях многоосновной модели необходимо редактировать совокупности

кортежей, представляющих ограничения $RR_1, RR_2, \dots, RR_m$, что усложняет все технические задачи построения древовидных структур.

Достаточно часто первая проблема может быть решена введением так называемых декубов, т. е. всеобщих значений (*) элементов из какого-либо основного множества $AA_1, AA_2, \dots, AA_s$ для кортежей. Из-за ввода декубов возникает переход к более сложной древовидной структуре, где вершина (узел) задается в виде:

```
struct Tree_decube {
    int value; //значение, приписанное вершине
                (операция, число, имя и др.)
    int down; //ссылка на первого потомка (-1:
                отсутствие ссылки);
    int right; //ссылка на следующего брата (-1:
                отсутствие ссылки);
    int decube; //ссылка на декуб (-1: отсут-
                ствие ссылки);
};
```

Так, сложность вычислений для древовидной структуры с декубами не линейная, а квадратичная.

Полученная древовидная структура называется «деревом решения» и позволяет проверить все ограничения одновременно, т. е. перебор по проверке ограничений исчезает.

Определение функционалов перестройки моделей и формирование подбора планов действий наглядно можно показать на задаче генерации графика пар по дневной форме обучения (расчет расписания занятий), что была подробно расписана выше.

Совокупность планируемых занятий $Za \subseteq L \times K \times P$. Расписание занятий Ih – инъективное отображение $Za \rightarrow Re$, где $Re: M \times C$ – ресурс. Таким образом, любой паре из $Za \subseteq L \times K \times P$ нужно сопоставить ресурс, т. е. элемент из $Re: M \times C$ (аудиторию и время проведения занятий).

Следовательно, преобразование многоосновной модели состоит в построении (формировании) одного кортежа отношения или его «уничтожения». Организация перебора преобразований состоит в процедуре выбора элементов, которым сопоставляется ресурс.

Стратегии оптимизации перебора последовательностей преобразований состоят в возможно более быстром решении в каждой точке пространства поиска трех фундаментальных задач:

- просмотру вперед (checking forward) для уменьшения количества применяемых преобразований;

- определению точки возврата для тупика (intelligent backtracking или глубокий возврат по принятой у ряда российских авторов терминологии);

– проверки выполнимости ограничений на многоосновной модели, полученной после выполнения выбранного преобразования (применение «демонов» для определения невязок – используется терминология специалистов по системам искусственного интеллекта).

Оптимизация переборных для этих трех задач для каждой предметной области производится весьма специфическим образом, но для рассматриваемых в статье задач есть общие черты, которые будут описаны ниже.

Оптимизация, реализуемая просмотром вперед (checking forward) для уменьшения количества применяемых преобразований, достигается уменьшением ресурса при применении каждого преобразования (большинство задач сетевого планирования происходит при убывающем ресурсе).

Для других задач используется стратегия «первой неудачи» (first fail) [12], которая, как правило, существенно уменьшает пространство перебора следующего шага решения.

Оптимизация, реализуемая определением точки возврата для тупика (intelligent backtracking или глубокий возврат), для задач сетевого планирования с убывающим ресурсом достигается рассмотрением либо правой точки, либо левой точки, где произошло преобразование с объектами тупика.

Если возврат осуществляется с правой точки, то это соответствует стандартному глубокому возврату, а если с левой точки, то глубокому возврату со стратегией «чем хуже, тем лучше», где решение может быть найдено быстрее, но данная стратегия не полна (может пропустить возможные решения, что для задачи генерации МТ неприемлемо). В рамках стратегии неполного восстановления среды

точки возврата откат может осуществляться к точке пространства состояний, соответствующей применению слова $w_1 \dots w_s u_1 \dots u_n$, где слово $u_1 \dots u_n$ входит с точностью до вычеркивания букв в слово $w_{s+1} \dots w_v$.

Такой подход значительно усложняет многие технические моменты программной реализации метода как в плане обеспечения корректности решения, так и в организации данных, фиксирующих траекторию решения, сбор мусора и т. п. Но отключение этой возможности (неполное восстановление среды точки возврата) не позволяет в реальное время решать, например, задачу планирования расписания занятий.

Данная стратегия (неполное восстановление среды точки возврата) может применяться и в задаче генерации МТ, но пока оценка эффективности ее применения и возможности пропуска решений не проведена.

Основные стратегии ускорения генерации МТ в формате задач ресурсного планирования

Пусть генерация МТ, решающих NP-трудные задачи покрытия, производится при фиксированном алфавите $A = \{0; 1; \odot; \blacksquare; \#; 5; 6\}$, где $\odot$ – начальный символ, который стоит на нулевой позиции ленты и не изменяется при работе МТ (головка МТ не сдвигается влево от нулевой позиции); $\blacksquare$ – конец формирования исходных данных; $\#$ – разделитель отрезков из 0 и 1, выборка из которых может формировать покрытие (отрезок, состоящий только из 1).

Пример исходных данных размерности (2, 2) задан табл. 1. Общий вид исходных данных размерности (m, n), где m – длина отрезков из 0 и 1, а n – количество отрезков из 0 и 1, может быть задан табл. 2, где a_{ij} являются 0 или 1.

Таблица 1. Исходные данные размерности (2, 2)

Table 1. The initial data of dimension (2, 2)

Позиция на ленте	0	1	2	3	4	5	6
Буквы алфавита	$\odot$	0	0	#	0	0	$\blacksquare$

Таблица 2. Исходные данные размерности (m, n)

Table 2. Initial data of dimension (m, n)

№ строки	Буквы алфавита	Буквы алфавита	Буквы алфавита	...	Буквы алфавита	Буквы алфавита
1	$\odot$	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	...	$a_{1,m}$	#
2		$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	...	$a_{2,m}$	#
...	...	...	...	...	...	...
n - 1		$a_{n-1,1}$	$a_{n-1,2}$	...	$a_{n-1,m}$	#
n		$a_{n,1}$	$a_{n,2}$	...	$a_{n,m}$	$\blacksquare$

По определению данные табл. 2 имеют покрытие, если выборка строк с номерами $i_1, i_2,$

..., i_w для любого столбца с номером k выполняется:

$$a_{i_1,k} + a_{i_2,k} + \dots + a_{i_w,k} = 1. \quad (4)$$

Отметим, что, если для исходных данных выборка с условием (4) существует, то сгенерированная МТ должна оканчивать работу успехом (останавливаться при получении состояния q_0), а в противном случае должна работать бесконечно. Начальные данные размерности (m, n) представлены в табл. 3.

При сдвиге данные табл. 2 перестраиваются следующим образом.

Пусть элемент $a_{i,j}$ является первым 0 при проходе от $a_{n,m}$ налево (и вверх при необходимости). Тогда все пройденные элементы таблицы зануляются, а элемент $a_{i,j}$ превращается в 1. Все остальные элементы таблицы остаются неизменными. Таким образом, если изначальный вариант был как в табл. 4, то данные размерности (m, n) после сдвига будут как в табл. 5.

Таблица 3. Начальные данные размерности (m, n)

Table 3. Initial data of dimension (m, n)

№ строки	Буквы алфавита	Буквы алфавита	Буквы алфавита	...	Буквы алфавита	Буквы алфавита
1	☀	0	0	...	0	#
2		0	0	...	0	#
...	...	...	...	...	...	...
$n - 1$		0	0	...	0	#
n		0	0	...	0	■

Таблица 4. Исходные данные размерности (m, n)

Table 4. Initial data of dimension (m, n)

№ строки	Буквы алфавита	Буквы алфавита	Буквы алфавита	...	Буквы алфавита	...	Буквы алфавита	Буквы алфавита
1	☀	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	...	$a_{1,j}$	...	$a_{1,m}$	#
2		$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	...	$a_{2,j}$	...	$a_{2,m}$	#
...	...	...	...	...	...	...	...	...
i		$a_{i,1}$	$a_{i,2}$	...	$a_{i,j}$	...	$a_{i,m}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n - 1$		$a_{n-1,1}$	$a_{n-1,2}$	...	$a_{n-1,2}$	...	$a_{n-1,m}$	#
n		$a_{n,1}$	$a_{n,2}$	...	$a_{n,2}$	...	$a_{n,m}$	■

Таблица 5. Данные размерности (m, n) после сдвига

Table 5. Dimension data (m, n) after the shift

№ строки	Буквы алфавита	Буквы алфавита	Буквы алфавита	...	Буквы алфавита	...	Буквы алфавита	Буквы алфавита
1	☀	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	...	$a_{1,j}$	...	$a_{1,m}$	#
2		$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	...	$a_{2,j}$	...	$a_{2,m}$	#
...	...	...	...	...	...	...	...	...
i		$a_{i,1}$	$a_{i,2}$	...	1	...	0	
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n - 1$		0	0	...	0	...	0	#
n		0	0	...	0	...	0	■

Таблица 6. Данные размерности (m, n) конечные

Table 6. Finite dimension data (m, n)

№ строки	Буквы алфавита	Буквы алфавита	Буквы алфавита	...	Буквы алфавита	...	Буквы алфавита	Буквы алфавита
1	☀	1	1	...	1	...	1	#
2		1	1	...	1	...	1	#
...	...	...	...	...	...	...	...	...
i		1	1	...	1	...	0	#
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n - 1$		1	1	...	1	...	0	#
n		1	1	...	1	...	0	■

Если на сдвиг данных вышли при таблице, состоящей из единиц, как представлено в

табл. 6, то получена МТ, решающая задачу покрытия размерности (m, n) , а это значит, что

можно осуществлять переход на генерацию следующей МТ.

Описан стандартный сдвиг, но при генерации МТ он может быть существенно более глубоким, а именно, благодаря тому, что МТ для получения ответа о существовании покрытия прошла только часть данных. И тогда 0 ищется только в пройденной части и, соответственно, сдвиг будет не стандартным, а глубоким.

Переходим к рассмотрению стандартных сдвигов при генерации МТ, имеющих, как было указано выше, алфавит $ho_alphabet.slw = \{0; 1; \odot; \blacksquare; \#; 5; 6\}$, словарь состояний $ho_state.slw = \{q_begin; q0, q1, q2, q3\}$, словарь сдвигов головки $ho_displace.slw = \{1; -1\}$.

Таблица 7. Программа МТ

Table 7. MT Program

№ команд	Аргументы команд			Значения команд		
	Буква	Состояние		Буква	Состояние	Сдвиг
1	a_1	s_1	$\rightarrow$	aa_1	ss_1	dd_1
2	a_2	s_2	$\rightarrow$	aa_2	ss_2	dd_2
...	...	...		...	...	...
i	a_i	s_i	$\rightarrow$	aa_i	ss_i	dd_i
...	...	...		...	...	...
n	a_n	s_n	$\rightarrow$	aa_n	ss_n	dd_n

Таблица 8. Программа исходной для генерации МТ

Table 8. The source program for generating MT

№ команд	Аргументы команд			Значения команд		
	Буква	Состояние		Буква	Состояние	Сдвиг
1	$\odot$	q_begin	$\rightarrow$	$\odot$	q_begin	1

Таким образом, команды печати, перехода состояний и движения головки определены только для пары $(\odot, q_begin)$. Отметим также, что всегда:

$\odot$	*	$\rightarrow$	$\odot$	q_begin	1
---------	---	---------------	---------	------------	---

где * – любое состояние и, таким образом, лента имеет на нулевой позиции всегда букву $\odot$, а головка не может уходить влево от нулевой позиции (лента ограничена слева нулевой позицией).

При генерации (перестройки) МТ для решения NP-трудной задачи покрытия реконструк-

ция МТ, заданной программой по табл. 7, может производиться следующими двумя способами:

- пополнением программы МТ новой командой;
- перестройкой программы МТ.

Пополнение программы МТ новой командой производится в случае, когда она, находясь в состоянии s считывает букву a , а в табл. 7 нет в аргументах команд пары (a, s) , т. е. имеет место (5). Тогда табл. 7 перестраивается в табл. 9.

$$\begin{aligned} \text{Write}(a, s) &= ?; \text{Trans}(a, s) = ?; \\ \text{Move}(a, s) &= ?. \end{aligned} \quad (5)$$

Генерация МТ начинается со следующей исходной позиции (табл. 8).

Таблица 9. Программа МТ после пополнения

Table 9. MT program after replenishment

№ команд	Аргументы команд			Значения команд		
	Буква	Состояние		Буква	Состояние	Сдвиг
1	a_1	s_1	$\rightarrow$	aa_1	ss_1	dd_1
2	a_2	s_2	$\rightarrow$	aa_2	ss_2	dd_2
...	...	...		...	...	...
i	a_i	s_i	$\rightarrow$	aa_i	ss_i	dd_i
...	...	...		...	...	...
n	a_n	s_n	$\rightarrow$	aa_n	ss_n	dd_n
$n+1$	a_{n+1}	s_{n+1}	$\rightarrow$	aa_{n+1}	ss_{n+1}	dd_{n+1}

где $a_{n+1} = a$, $s_{n+1} = s$, $aa_{n+1} = 0$, $ss_{n+1} = q_begin$, $dd_{n+1} = 1$.

Более наглядно $n+1$ строку можно отобразить таблицей.

a	S	→	0	q_begin	1
---	---	---	---	---------	---

Перестройка (один шаг перебора вариантов) программы МТ производится для одной из строк табл. 7. Выбор строки табл. 7 отдельный сложный вопрос, который рассматривается в дальнейшем в стратегиях ускорения генерации МТ.

Стандартный шаг перестройки программы МТ производится для последней сформированной команды

n	a _n	s _n	→	aa _n	ss _n	dd _n
---	----------------	----------------	---	-----------------	-----------------	-----------------

по следующим правилам: если dd_n не является последним элементом в словаре сдвигов головки $ho_displace.slw = \{1; -1\}$, то

n	a _n	s _n	→	aa _n	ss _n	-1
---	----------------	----------------	---	-----------------	-----------------	----

если dd_n является последним элементом в словаре сдвигов головки, а ss_n не является последним элементом в словаре состояний $ho_state.slw = \{q_begin; q0, q1, q2, q3\}$, то ss_n заменяется на следующий элемент ss_n и таким образом получаем

n	a _n	s _n	→	aa _n	ss _n	-1
---	----------------	----------------	---	-----------------	-----------------	----

Если же ss_n является последним элементом в словаре состояний $ho_state.slw = \{q_begin; q0, q1, q2, q3\}$, т.е. $ss_n = q3$, то ss_n заменяется на q_begin , и получаем

n	a _n	s _n	→	aa _n	q_begin	-1
---	----------------	----------------	---	-----------------	---------	----

и далее надо сдвигать aa_n на следующий элемент aa_n алфавита $ho_alphabet.slw = \{0; 1; \odot; \blacksquare; \#; 5; 6\}$, причем элемент алфавита $\odot$ пропускается (конечно, если n больше 1) и в этом случае

n	a _n	s _n	→	aa _n	q_begin	-1
---	----------------	----------------	---	-----------------	---------	----

Если же $aa_n = 6$, то переходим к работе с МТ с программой.

Таблица 10. Программа МТ, где n -ая строка (команда) сокращена

Table 10. The MT program, where the n th line (command) is shortened

№ команд	Аргументы команд			Значения команд		
	Буква	Состояние		Буква	Состояние	Сдвиг
1	a ₁	s ₁	→	aa ₁	ss ₁	dd ₁
2	a ₂	s ₂	→	aa ₂	ss ₂	dd ₂
...	...	...		...	...	...
i	a _i	s _i	→	aa _i	ss _i	dd _i
...	...	...		...	...	...
n-1	a _{n-1}	s _{n-1}	→	aa _{n-1}	ss _{n-1}	dd _{n-1}

Таким образом, описанный выше процесс необходимо запускать для $n-1$ строки МТ, программа которой задана табл. 10. Если будет сокращена и 1-ая строка, то процесс генерации МТ будет закончен для данной размерности МТ (количество букв в алфавите $ho_alphabet.slw$ и словарь состояний $ho_state.slw$) и данных размерности (m, n) .

Нестандартный шаг перестройки программы МТ может производиться с любой i -ой команды и тогда для МТ, заданной табл. 7 по стандартной перестройке, надо работать с МТ,

заданной табл. 11. Далее, работа с МТ, заданной табл. 11 идет по стандартной перестройке, описанной выше.

Нестандартный шаг перестройки при генерации МТ является наиболее мощным механизмом сокращения переборов, но и наиболее опасным в плане пропуска МТ, решающих задачи покрытия, поэтому на настоящем этапе использование стратегии неполного восстановления среды точки возврата исключается (при сокращении переборов данных указанная стратегия может использоваться).

Таблица 11. Программа МТ, где строки (команды) сокращены до i

Table 11. The MT program, where the lines (commands) are shortened to i

№ команд	Аргументы команд			Значения команд		
	Буква	Состояние		Буква	Состояние	Сдвиг
1	a ₁	s ₁	→	aa ₁	ss ₁	dd ₁
2	a ₂	s ₂	→	aa ₂	ss ₂	dd ₂
...	...	...		...	...	...
i	a _i	s _i	→	aa _i	ss _i	dd _i

Далее будут рассмотрены основные стратегии ускорения генерации МТ при постановке задачи в формате ресурсного планирования.

Следует заметить, что эти стратегии были опробованы на реализации следующих проектов:

- системы управления региональной сетью автомобильных дорог (СУРАД) Иркутской области [14];

- генерации графа автомобильных дорог для системы взимания платы с большегрузного транспорта [15];

- программы сетевого планирование содержания сети автомобильных дорог Иркутской области [16];

- теоретико-множественные модели данных в задаче расчета вторичных структур РНК [17];

- программы планирование работ по нормативному содержанию сети автодорог [18];

- программы обработки видеорядов, снятых дорожными лабораториями на автодорогах [19];

- программы расчета (генерации) расписания [20], используемой с 2006 г. в Иркутском научно-исследовательском техническом университете.

Аналоги организации данных и требования к расчету можно найти в итоговых результатах расчета расписания.

Глубокий (глобальный) возврат по 1-ой решетке (Fir_Grid)

Структура данных struct Grid_new (gridd_new): файл Fi_Grid.fil

Верш ДВЛ (Tr_Full_L);

№ inizi ленты (inii_lent);

Позиция на ленте (poza);

№ начал отрезка inizi ленты (N_ini);

№ начал отрезка текущ ленты (N_cur 1 - 8);

№ начал отрезка текущ ленты (N_cur1 9 - 16);

№ начал отрезка текущ ленты (N_cur2 17 - 24);

Оракул № позы # где покрытие; -1 нет (orac);

Шаг решения (vaar).

Ссылка на след (refe).

Кол-во вершин: k_Fir_Grid ; 1 free: fr_Fir_Grid

int jj0; // = (poi_grid + i_u)->poza;

jj2 = 2 - не совпад orac (1 –совпад);

jj3 = 2 - не совпад N_ini (1 –совпад);

jj4 = 2 - не совпад N_cur (1 –совпад).

Данная стратегия обеспечивает до 10 % всех сокращений переборов.

Применение оракула (oracle)

При формировании данных, которые надо проверять, важное значение имеет знание о том, существует ли для них покрытие.

Действительно, если сгенерированная МТ зацикливается на данных, где покрытие существует, то надо генерировать следующую МТ, причем сдвиг может быть нестандартным (по результатам анализа процесса работы МТ).

Если же сгенерированная МТ достигает успеха на данных, где покрытие не существует, то надо генерировать следующую МТ, причем сдвиг может быть также нестандартным (по результатам анализа процесса работы МТ).

При формировании данных проверку, существует ли для них покрытие, осуществляет модуль oracle, что существенно ускоряет генерацию. Использование модуля oracle обеспечивает до 15 % всех сокращений переборов.

Применение стратегии «смотри вперед»

Если на каком-то этапе сгенерированная МТ W получает ленту, которая одинакова с лентой ранее рассмотренной МТ V, и можно построить такие исходные данные, что МТ V и W получают противоположные результаты, то надо генерировать (глубокий возврат) следующую МТ, причем сдвиг практически всегда нестандартный.

Данная стратегия обеспечивает до 20 % всех сокращений переборов, но требует весьма сложной подготовки организации данных.

Для примера представлен небольшой фрагмент табл. 12, загружаемой в оперативную память для отслеживания возможности применения данной стратегии.

Другие стратегии

Из других стратегий отметим:

- алгоритмы редактирования шагов решения между тупиковой точкой и точкой возврата (обеспечивают глубокий возврат без полного восстановления среды точки возврата);

- структуры управления, фиксирующие траекторию решения и обеспечивающие откат назад на любой шаг решения (т.е. обеспечивающие полное восстановление среды точки возврата);

- алгоритмы проверки выполнимости ограничений на каждом шаге решения («демоны»);

- алгоритмы полного восстановления среды точки возврата;

- алгоритмы сдвига в выборе следующего элемента ресурса;

- алгоритмы распознавания тупика и определения точки возврата (обеспечивают глубокий возврат).

Таблица 12. Часть таблицы мониторинга стратегии «смотри вперед»

Table 12. Part of the "look ahead" strategy monitoring table

i u 3							8						9				9		1
1-2	00	00	00	00	00	00	00	00		10	10	10	10	10	10	10	10		2
3-4	01	0*	00	0*	0*	0*	01	0*		0*	0*	0*	01	0*	0*	0*	01		3
m u							6						3				7		4
1-2	00	10	01	11	00	10	01	11		00	10	01	11	00	10	01	11		5
3-4	00	0*	0*	0*	1*	1*	10	1*		0*	0*	0*	00	10	10	10	10		6
																			7
i u 3			10										11				??		8
1-2	01	01	01	01	01	01	01	01		11	11	11	11	11	11	11	11		9
3-4	0*	0*	01	0*	0*	0*	0*	0*		0*	0*	0*	01	0*	0*	0*	01		10
m u			2										3						11
1-2	00	10	01	11	00	10	01	11		00	10	01	11	00	10	01	11		12

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. На настоящем этапе генерация МТ достигнута для размерности исходных данных при ограничении количества состояний МТ до 5 включительно. Для обеспечения генерации всех МТ необходимо увеличить количество состояний до 12 включительно, что пока является предметом исследований (уже есть успешные просчеты для такого количество состояний при некоторых ограничениях на организацию исходных данных).

2. Предположительно, генерация всех МТ при количестве состояний до 12 включительно будет достигнута при использовании многопоточных вычислений для этапа перебора всех исходных данных для сгенерированной МТ, что может быть достигнуто в ближайшем будущем (предположительно во втором полугодии 2024 г.).

Кроме того, автор предполагает, что данный подход является расширенной концепцией программирования в ограничениях [21, 22] и имеет шансы стать одним из возможных путей отрицательного решения проблемы

$P = ? NP$ [23–25], так как проверять конкретные МТ на предмет алгоритмической сложности решения ими задачи покрытия, возможно, проще, чем доказывать соответствующую теорему.

После чего, как отмечалось в статье [1], можно будет приступить к практической реализации «...создания открытой платформы для обучения студентов теории алгоритмов и информационным технологиям; проведения всеми желающими экспериментов по определению не полиномиальной сложности решения определенной серии задач, сгенерированными машинами Тьюринга; участия всех желающих в генерации машин Тьюринга и решении NP-трудных задач на личных компьютерах».

А также, проводить, как отмечалось в статье [1], «...эксперименты по созданию решателей для других NP-трудных задач, коих, имеющих большое прикладное значение, очень и очень много».

Например, приблизительные вычисления, конфигурация, криптография, сбор данных, поддержка при принятии решения, филогенетика, планирование, расписания, маршрутизация.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мартьянов В.И. Проект программного комплекса генерации машин Тьюринга, решающих NP-трудные задачи // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 285–297. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-285-297>. EDN: UAEWDT.
2. Мартьянов В.И. Логико-эвристические методы сетевого планирования и распознавание ситуаций // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Самара, 2001. С. 203–215.
3. Мартьянов В.И., Архипов В.В., Каташевцев М.Д., Пахомов Д.В. Обзор приложений логико-эвристических методов решения комбинаторных задач высокой сложности // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2010. № 4 (28). С. 205–211. EDN: NRBKXP.
4. Мартьянов В.И., Сухорутченко В.В., Окунцов В.В. Планирование информационных потоков в иерархической системе // Прикладные системы. М.: ИАП РАН, 1992. С. 46–58.
5. Лагутенков А.В. Криптовалюты. Правила применения // Наука и жизнь. 2018. № 2. С. 22–26.
6. Kharpal A. All You Need to Know About the Top 5 Cryptocurrencies // Yahoo! Finance. 2017. Режим доступа: <https://finance.yahoo.com/news/know-top-5-cryptocurrencies-093231173.html> (дата обращения: 20.05.2024).

7. Wilson-Nunn D., Zenil H. On the Complexity and Behaviour of Cryptocurrencies Compared to Other Markets // Cornell University: arxiv. 2014. P. 1–16. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1411.1924>.
8. Еремеев А.В., Заозерская Л.А., Колоколов А.А. Задача о покрытии множества: сложность, алгоритмы, экспериментальные исследования // Дискретный анализ и исследование операций. 2000. Т. 7. № 2. С. 22–46. EDN: IBBFDL.
9. Мартьянов В.И., Вяткин И.В., Могильницкий Э.Ю. Теоретический и реализационный аспекты некоторых классов задач сетевого управления // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Самара, 1999. С. 203–208.
10. Мартьянов В.И. NP-трудные задачи: автоматическое доказательство теорем и машины Тьюринга // Baikal Research Journal. 2021. Т. 12. № 4. С. 1–9. [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12\(4\).11](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12(4).11). EDN: HJXXGO.
11. Кнут Д.Э. Искусство программирования для ЭВМ: Основные алгоритмы. М.: Мир, 1976. 736 с.
12. Кнут Д.Э. Искусство программирования для ЭВМ: Сортировка и поиск. М.: Мир, 1978. 848 с.
13. Мартьянов В.И., Кулик Н.С., Пахомов Д.В., Большаков Э.А. Проект системы управления региональной сетью автомобильных дорог (СУРАД) Иркутской области // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 4 (87). С. 118–183. EDN: SBNFNJ.
14. Кулик Н.С., Мартьянов В.И., Пахомов Д.В. Построение графа автомобильных дорог для системы взимания платы с большегрузного транспорта // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 4 (111). С. 96–101. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2016-4-96-101>. EDN: VVSOFF.
15. Мартьянов В.И., Пахомов Д.В., Архипов В.В. Сетевое планирование содержания сети автомобильных дорог Иркутской области // Новые технологии в инвестиционно-строительной сфере и ЖКХ: сб. науч. трудов. (г. Иркутск, 14 апреля 2005 г.). Иркутск, 2005. Т. 1. С. 123–129.
16. Мартьянов В.И. Теоретико-множественные модели данных в задаче расчета вторичных структур РНК // System Analysis and Mathematical Modeling. 2022. Т. 4. № 4. С. 343–357. [https://doi.org/10.17150/2713-1734.2022.4\(4\).343-357](https://doi.org/10.17150/2713-1734.2022.4(4).343-357). EDN: VUNLFX.
17. Мартьянов В.И., Корольков Ю.Д. Теоретико-множественные модели сложных систем и алгоритмы интеллектуальной поддержки. Иркутск: Изд. дом БГУ, 2020. 125 с.
18. Martyanov V.I., Katashevsev M.D. Computer Processing of Distorted Video Sequences Obtained by Mobile Road Laboratories // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 667. Iss. 1. P. 1–9. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012060>.
19. Мартьянов В.И. Теоретико-множественный анализ организации данных учебного процесса и алгоритмы проектирования расписания с элементами искусственного интеллекта // Известия Байкальского государственного университета. 2020. Т. 30. № 4. С. 575–585. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30\(4\).575-585](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30(4).575-585). EDN: QKOCYX.
20. Щербина О.А. Удовлетворение ограничений и программирование в ограничениях // Интеллектуальные системы. 2011. Т. 15. № 1-4. С. 53–170. EDN: PWUSTF.
21. Hentenryck van P. Constraint Satisfaction in Logic Programming. Cambridge: The MIT Press, 1989. 224 p.
22. Стюарт И. Величайшие математические задачи. М.: Альпина нон-фикшн, 2015. 584 с.
23. Разборов А.А. Алгебраическая сложность. М.: Московский центр непрерывного математического образования, 2016. 32 с.
24. Fortnow L. The Golden Ticket: P, NP, and the Search for the Impossible. Princeton: Princeton University Press. 2017. 176 p.
25. Leeuwen van J. Handbook of Theoretical Computer Science. Cambridge: The MIT Press, 1990. 1014 p.
26. Knuth D.E. Postscript about NP-hard problems // ACM SIGACT News. 1974. Vol. 6. Iss. 2. P. 15–16. <https://doi.org/10.1145/1008304.1008305>.
27. Aaronson S. The Scientific Case for P≠NP // Shtetl-Optimized. 2014. Режим доступа: <https://scottaaronson.blog/?p=1720> (дата обращения: 20.05.2024).
28. Aaronson S. Quantum Computing Since Democritus Lecture 6: P, NP, and Friends // Shtetl-Optimized. 2006. Режим доступа: <https://scottaaronson.blog/?p=149> (дата обращения: 20.05.2024).
29. Lawler E.L., Lenstra J.K., Rinnooy Kan A.H.G., Shmoys D.B. The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization. New York: John Wiley & Sons, 1985. 476 p.
30. Wegener I. Complexity Theory: Exploring the Limits of Efficient Algorithms. New York: Springer, 2005. 320 p.

REFERENCES

1. Mart'yanov V.I. Draft Program Complex for Generating Turing Machines Solving Np-Hard Problems. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):285-297. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-285-297>. EDN: UAEWDT.

2. Mart'yanov V.I. Logical-Heuristic Methods of Network Planning and Situation Recognition. In: *Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh = Problems of Control and Modeling in Complex Systems*. Samara; 2001. p. 203–215. (In Russ.).
3. Mart'yanov V.I., Arkhipov V.V., Katashevsev M.D., Pakhomov D.V. Logic-Heuristic Methods for Solving Combinatorial Problems of High Complexity Applications Preview. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2010;4(28):205-211. (In Russ.). EDN: NRBKXP.
4. Mart'yanov V.I., Sukhorutchenko V.V., Okuntsov V.V. Planning of Information Flows in A Hierarchical System. In: *Prikladnye sistemy = Application Systems*. Moscow: Institute of Design Automation of the Russian Academy of Sciences; 1992. p. 46–58. (In Russ.).
5. Lagutenkov A.V. Cryptocurrencies. Application Rules. *Nauka i zhizn'*. 2018;2:22-26. (In Russ.).
6. Kharpal A. All You Need to Know About the Top 5 Cryptocurrencies. *Yahoo! Finance*. 2017. Available from: <https://finance.yahoo.com/news/know-top-5-cryptocurrencies-093231173.html> [Accessed 20th May 2024].
7. Wilson-Nunn D., Zenil H. On the Complexity and Behaviour of Cryptocurrencies Compared to Other Markets. *Cornell University: arxiv*. 2014:1-16. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1411.1924>.
8. Ereemeev A.V., Zaozerskaya L.A., Kolokolov A.A. The Set Covering Problem: Complexity, Algorithms, and Experimental Investigations. *Discrete Analysis and Operations Research*. 2000;7(2):22-46. (In Russ.). EDN: IBBFDL.
9. Mart'yanov V.I., Vyatkin I.V., Mogil'nitskii E.Yu. Theoretical and Implementation Aspects of Some Classes of Network Management Tasks. In: *Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh = Problems of Control and Modeling in Complex Systems*. Samara; 1999. p. 203–208. (In Russ.).
10. Mart'yanov V.I. NP-Difficult Tasks: Automatic Proof of Theorems and Turing's Machine. *Baikal Research Journal*. 2021;12(4):1-9. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12\(4\).11](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12(4).11). EDN: HJXXGO.
11. Knut D.E. *The Art of Computer Programming: Basic Algorithms*. Moscow: Mir, 1976. 736 p. (In Russ.).
12. Knut D.E. *The Art of Computer Programming: Sorting and Searching*. Moscow: Mir, 1978. 848 p. (In Russ.).
13. Mart'yanov V.I., Kulik N.S., Pakhomov D.V., Bol'shakov E.A. Project of The System to Control Irkutsk Regional Automobile Road Network. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2014;4(87):118-123. (In Russ.). EDN: SBNFNJ.
14. Kulik N.S., Mart'yanov V.I., Pakhomov D.V. Building A Motorway Graph for The Heavy Trucks Tolling System. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2016;4(111):96-101. (In Russ.). EDN: VVSOFf
15. Mart'yanov V.I., Pakhomov D.V., Arkhipov V.V. Network Planning of the Maintenance of the Highway Network of the Irkutsk Region. In: *Novye tekhnologii v investitsionno-stroitel'noi sfere i ZhKKh: sbornik nauchnykh trudov = New Technologies in The Investment and Construction Sector and Housing and Communal Services: A Collection of Scientific Papers*. 14 April 2005, Irkutsk. Irkutsk; 2005. vol. 1, p. 123–129. (In Russ.).
16. Mart'yanov V.I. Set-Theoretical Data Models in The Problem of Calculating Secondary Structures of RNA. *System Analysis and Mathematical Modeling*. 2022;4(4):343-357. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2713-1734.2022.4\(4\).343-357](https://doi.org/10.17150/2713-1734.2022.4(4).343-357). EDN: VUNLFX.
17. Mart'yanov V.I., Korol'kov Yu.D. *Set-Theoretic Models of Complex Systems and Intellectual Support Algorithms*. Irkutsk: Publishing House of Baikal State University. 2020. 125 p. (In Russ.).
18. Mart'yanov V.I., Katashevsev M.D. Computer Processing of Distorted Video Sequences Obtained by Mobile Road Laboratories. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;667(1):1-9. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012060>.
19. Mart'yanov V.I. Set-Theory Analysis of the Data Organization of the Educational Process and Algorithms for Designing a Schedule with Elements Artificial Intelligence. *Bulletin of Baikal State University*. 2020;30(4):575-585. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30\(4\).575-585](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30(4).575-585). EDN: QKOCYX.
20. Shcherbina O.A. Constraint Satisfaction and Constraint Programming. *Intelligent Systems. Theory and Applications*. 2011;15(1-4):53-170. (In Russ.). EDN: PWUSTF.
21. Hentenryck van P. *Constraint Satisfaction in Logic Programming*. Cambridge: The MIT Press, 1989. 224 p.
22. Styuart I. *The Greatest Math Problems*. Moscow: Alpina non-fiction, 2015. 584 p. (In Russ.).
23. Razborov A.A. *Algebraic Complexity*. Moscow: Moscow Center for Continuing Mathematical Education, 2016. 32 p.
24. Fortnow L. *The Golden Ticket: P, NP, and the Search for the Impossible*. Princeton: Princeton University Press. 2017. 176 p.
25. Leeuwen van J. *Handbook of Theoretical Computer Science*. Cambridge: The MIT Press, 1990. 1014 p.
26. Knuth D.E. *Postscript about NP-hard problems*. *ACM SIGACT News*. 1974;6(2):15-16. <https://doi.org/10.1145/1008304.1008305>.
27. Aaronson S. The Scientific Case for P≠NP. *Shtetl-Optimized*. 2014. Available from: <https://scottaaronson.blog/?p=1720> [Accessed 20th May 2024].
28. Aaronson S. Quantum Computing Since Democritus Lecture 6: P, NP, and Friends. *Shtetl-Optimized*. 2006. Available from: <https://scottaaronson.blog/?p=149> [Accessed 20th May 2024].
29. Lawler E.L., Lenstra J.K., Rinnooy Kan A.H.G., Shmoys D.B. *The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization*. New York: John Wiley & Sons, 1985. 476 p.

30. Wegener I. *Complexity Theory: Exploring the Limits of Efficient Algorithms*. New York: Springer, 2005. 320 p.

Информация об авторах

Мартьянов Владимир Иванович,

д.ф.-м.н., профессор кафедры
автомобильных дорог,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
Байкальский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, Россия,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Россия,
✉e-mail: martvliv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2659-0355>
Author ID: 2477

Волков Андрей Сергеевич,

аспирант,
Байкальский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, Россия,
e-mail: 0077707@mail.ru

Information about the authors

Vladimir I. Martyanov,

Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor
of the Department of Highways,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
Baikal State University,
11 Lenin St., Irkutsk 664003, Russia,
Irkutsk State University,
1 Karl Marx St., Irkutsk 664003, Russia,
✉e-mail: martvliv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2659-0355>
Author ID: 2477

Andrey S. Volkov,

Postgraduate Student,
Baikal State University,
11 Lenin St., Irkutsk 66403, Russia,
e-mail: 0077707@mail.ru

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.

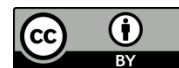
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 31.05.2024.
Одобрена после рецензирования 14.06.2024.
Принята к публикации 17.06.2024.

Information about the article

The article was submitted 31.05.2024.
Approved after reviewing 14.06.2024.
Accepted for publication 17.06.2024.



Разработка технологической схемы производства асфальтобетонной смеси с использованием отходов полиэтилена, загрязненного нефтепродуктами

К.Г. Пугин¹✉

¹Пермский государственный аграрно-технологический университет
им. академика Д.Н. Прянишникова, г. Пермь, Россия

Аннотация. Использование в больших количествах тары из полиэтилена низкого давления, применяемой для транспортировки и хранения нефтепродуктов (моторных масел), формирует собой повышенные риски негативного воздействия на окружающую среду при утилизации или захоронении. Поиск новых способов утилизации такой тары, позволяющих вовлечь ее в производство новых целевых продуктов, исключая при этом тщательную очистку отходов от загрязнений и остатков моторных масел, является актуальной задачей современной науки. Для изучения возможности использования полиэтилена в составе асфальтобетонной смеси была выбрана измельченная тара, используемая для хранения и транспортировки моторного масла. С целью исследования изменения свойств асфальтобетона с добавлением полиэтилена низкого давления, был сформирован контрольный образец асфальтобетонной смеси, без его наличия, а также образец, содержащий 17,5 % полиэтилена низкого давления (загрязнен моторным маслом на 8 %) по массе битума. По результатам исследования была произведена оценка основных физико-механических показателей образцов асфальтобетона с полиэтиленом низкого давления и моторным маслом. Согласно данной оценке, ряд показателей имеет более высокие значения в сравнении с требованиями ГОСТ 9128-2013. Кроме того, был разработан технологический регламент получения асфальтобетонной смеси с добавлением полиэтилена, также разработана технологическая схема получения асфальтобетонной смеси. Вовлечение отходов полиэтилена, содержащих в себе остатки моторного масла, в цикл получения асфальтобетонных смесей, позволит снизить потребление сырья для производства асфальтобетона и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: асфальтобетон, полиэтилен низкого давления, утилизация, технологическая схема, отходы потребления, моторное масло

Для цитирования: Пугин К.Г. Разработка технологической схемы производства асфальтобетонной смеси с использованием отходов полиэтилена, загрязненного нефтепродуктами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 570–579. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-570-579>. EDN: QIFUUX.

Original article

Development of a flow diagram for the production of asphalt concrete mixture using polyethylene waste, contaminated with oil products

Konstantin G. Pugin¹✉

¹Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russia

Abstract. Large quantities of low-pressure polyethylene containers used for transportation and storage of oil products (motor oils) entail higher environmental risks produced by their utilization or disposal. An urgent scientific task is to search for new ways for utilization of such containers, to involve them in production of new target products without thorough cleaning of waste from contaminants and residues of motor oils. The present study involved crushed containers used for storage and transportation of motor

oil in order to explore the possibility of including polyethylene in the production of asphalt concrete mixture. A sample, containing 17.5% of low-pressure polyethylene (contaminated with motor oil by 8% of asphalt mass), and a control sample of asphalt concrete mixture free of polyethylene, were made in order to investigate the change of properties, occurring in the low-pressure polyethylene asphalt concrete. Results. The study assessed main physical and mechanical properties of asphalt concrete samples containing low-pressure polyethylene and motor oil. According to the assessment, a number of properties exceed the values stated in GOST 9128-2013. In addition, the study results included development of technological regulations for producing asphalt concrete mixture with polyethylene as well as the flow diagram for obtaining asphalt concrete mixture. Using polyethylene waste contaminated with motor oil in the production cycle of asphalt concrete mixtures will reduce the consumption of raw materials for asphalt concrete production and the negative impact on the environment.

Keywords: asphalt concrete, low-pressure polyethylene, recycling, flow chart, consumer waste, engine oil

For citation: Pugin K.G. Development of a flow diagram for the production of asphalt concrete mixture using polyethylene waste, contaminated with oil products. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):570-579. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-570-579>. EDN: QIFUUX.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день проблемой утилизации отходов занимаются в мире и в Российской Федерации (РФ) многие ученые, используя различные методические и технологические подходы, направленные на извлечение максимальной выгоды при использовании ресурсного потенциала отходов с получением новых целевых продуктов, востребованных на рынке. При этом решаются не только экологические проблемы размещения отходов, но также и экономия природных сырьевых ресурсов.

Уровень технического развития промышленности, разнообразие используемых технических переделов позволяют с минимальными изменениями основного технологического процесса использовать ресурсный потенциал отходов. Использование отходов в качестве ресурсного материала позволяет улучшить характеристики нового продукта [1–5]. Для транспортировки и хранения моторного масла применяется тара из полиэтилена низкого давления (ПНД) различного объема. Такие тары имеют объем от одного до десяти литров и используются для технического обслуживания транспортных средств на станциях и в индивидуальном порядке. Ежегодно их выпускается более трехсот миллионов штук, что позволяет охарактеризовать данный сегмент отходов как многотоннажный. Существующие способы ее утилизации малоэффективны в экономическом и экологическом плане. Вторичная переработка использованной тары из ПНД, загрязненной нефтепродуктами, предполагает ее измельчение, а также очистку от остатков моторного масла. Это формирует новый поток отходов в виде шламов и повышает экологический

риск загрязнения окружающей среды (ОС). Шламы с содержанием остатков нефтепродуктов являются наиболее опасными для ОС, т. к. содержат в своем составе тяжелые металлы, жидкие смеси нафтеновых и ароматических углеводородов, диэфиры, полиалефины и т. д.) [6–9].

Проведенный обзор технических решений по утилизации отходов из ПНД, отходов, загрязненных нефтепродуктами, позволил определить эффективный способ утилизации тары из ПНД, используемой для моторных масел.

В исследованиях, выполненных в университете Arizona State University (США) и опубликованных в журнале *Resources, Conservation and Recycling*, оцениваются преимущества использования пластиковых отходов (в виде хлопьев), изготовленных из полиэтилентерефталата (ПЭТ) в качестве модификатора битума, который повышает прочность сцепления битума в органоминеральных смесях с минеральными компонентами. Для предотвращения эффекта разделения фаз, в виду низкой совместимости ПЭТ и битума, поверхность хлопьев ПЭТ была предварительно обработана маслом с одновременным воздействием микроволновым излучением. Это позволило уменьшить скорость старения битума и увеличить адгезию битума к кислым горным породам [10].

В публикациях от исследователей из School of Transportation Science and Engineering (Китай) и Institute of Highway Engineering (Германия) отмечается, что битум, полученный путем окисления сырой нефти, с трудом соответствует требованиям создания высококачественного асфальтобетонного дорожного покрытия. По этой причине исследователями был

разработан полимерно-модифицированный асфальтобетон путем смешивания с одним или несколькими высокомолекулярными полимерами. В частности, предложено производить модификацию асфальтобетона термопластичным эластомером стирол-бутадиен-стиролом.

Получаемый асфальтобетон обладает превосходными дорожными характеристиками, такими как стойкость к низкотемпературному растрескиванию, усталостному растрескиванию, образованию колеи [11–14].

Аналогичные исследования, выполненные в других развитых странах и РФ, показывают на возможность использования отходов пластика в качестве армирующих или модифицирующих материалов. Моторное масло может рассматриваться в качестве разжижителя битума и источника легких углеводородов, которые обеспечивают в органических вяжущих эластичность. Это позволяет отказаться от процесса очистки отходов ПНД от моторного

масла и расценивать его наличие в качестве сырьевого компонента [15–30].

Анализ научных публикаций, направленных на использование ресурсного потенциала полимерных отходов для получения органоминеральных композитов, позволил выдвинуть предположение, что измельченные отходы канистр из ПНД можно использовать для производства асфальтобетона. Частицы ПНД будут выполнять роль армирующего и модифицирующего элементов. Присутствие в отходах ПНД остатков моторного масла не является препятствием для реализации технологии использования отходов ПНД в составе асфальтобетона.

МЕТОДЫ

В качестве объекта для изучения возможности использования полиэтилена в составе асфальтобетонной смеси была выбрана тара из ПНД (1,4 и 10 л), которая используется для моторного масла. Измельченная тара в виде частиц представлена на рис. 1.



Рис. 1. Измельченная тара из полиэтилена низкого давления
Fig. 1. Shredded HDPE containers

В лабораторном исследовании использовали частицы ПНД с размерами: длина 25–30 мм, ширина 4–9 мм, толщина 0,2–0,4 мм. Длина частиц была выбрана с учетом размеров щебня, для формирования эффекта армирования.

Загрязнителем частиц вступало моторное масло 5w-40, которое подходит для широкого диапазона автомобилей и двигателей. Количество нефтепродукта, загрязняющего тару, после ее использования составило 8 % от массы частиц ПНД.

Для испытуемых асфальтобетонных образцов были использованы минеральные материалы: песок 0–5 мм (ГОСТ 8735-2014); щебень

10–20 мм (ГОСТ 8267-93); отсев дробления (ГОСТ 8735-2014).

В качестве вяжущего использовался битум БНД 90/130 (ГОСТ 22245-90). Компонентный состав асфальтобетонной смеси: щебень – 47 %; песок – 13 %; отсев дробления 32 %; минеральный порошок – 8 %; битум – 5,5 %. Для установления изменения физико-механических характеристик асфальтобетона при добавлении ПНД, загрязненного моторным маслом, были проведены несколько серий испытаний, которые позволили установить оптимальное количество ПНД в составе асфальтобетона. Для достижения повышенных характеристик требуется использовать 17,5 % ПНД от

веса битума. Для примера приведены сравнительные показатели асфальтобетона с содержанием ПНД (образец 1) и без ПНД (образец 2) (таблица). Исследование проводили в соответ-

ствии с требованиями ГОСТ 9128-2013, на оборудовании сертифицированной дорожной лаборатории Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Показатели асфальтобетонов, полученных с добавлением полиэтилена низкого давления
 Indicators of asphalt concrete obtained with the addition of HDPE

Основные показатели	Требования по ГОСТ 9128-2013	Образец 1	Образец 2
Остаточная пористость, %	2,5–5,0	3,01	3,57
Водонасыщение, по объему, %	1,5–4,0	1,38	1,88
Предел прочности при сжатии, МПа			
t+20 °C	> 2,5	4,26	3,75
t+50 °C	> 1,0	1,45	1,36
t 0 °C	< 11,0	8,54	9,48
Коэффициент водостойкости	> 0,90	0,98	0,93
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	> 0,85	0,98	0,95
Сдвигоустойчивость по:			
– коэффициенту внутреннего трения,	> 0,87	0,93	0,91
– сцеплению при сдвиге при t +50 °C, МПа	> 0,25	0,40	0,38
Трещиностойкость, при расколе при 0 °C, МПа	2,5–6,0	5,15	5,01

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных результатов испытания образцов асфальтобетона с ПНД показал, что прочностные показатели при положительных температурах окружающей среды выше на 6,5 и 13 % (при температуре +50 и +20 °C соответственно). Это обеспечивает повышение устойчивости асфальтобетонного покрытия к пластическим деформациям и колееобразованию. Снижение показателя прочности при 0 °C на 10 % указывает на сохранение эластичности асфальтобетона при отрицательных температурах, что приводит к уменьшению образования трещин в зимний период времени. На это дополнительно указывает увеличение показателя трещиностойкости при расколе. Увеличение коэффициента водостойкости на 5 % характеризует асфальтобетон с добавлением ПНД как материал, обладающий большей устойчивостью к воздействию воды во время эксплуатации асфальтобетонного покрытия и во время весенне-осеннего циклического заморзания и оттаивания. Увеличение показателя сдвигоустойчивости характеризует асфальтобетон с ПНД как материал, способный в большей мере сохранять свою структуру при воздействии касательных сил, возникающих при торможении и разгоне транспортных

средств. Повышенные физико-механические характеристики асфальтобетона, полученного с добавлением оптимального содержания ПНД, коррелируются с данными, полученными разными авторами.

Положительный эффект от использования ПНД можно объяснить тем, что в процессе технологического воздействия на оборудовании асфальтобетонного завода частицы ПНД испытывают температурное воздействие (145–170 °C), которое выше температуры плавления ПНД (120–135 °C), при активном механическом воздействии во время сушки и смешивания компонентов асфальтобетонной смеси.

Частицы ПНД приобретают вытянутую форму, частично происходит отделение микро-частиц, которые равномерно распределяются в структуре асфальтобетона. Крупные частицы выполняют роль армирующих элементов, а микро-частицы выступают в роли модификатора битума, преобразуя его в полимернобитумное вяжущее.

В виду того, что изделия из ПНД сохраняют свои свойства при температурах до -60 °C, частицы ПНД в асфальтобетоне придают ему большую эластичность при отрицательных температурах. По итогам лабораторных исследований была разработана технологическая

схема получения асфальтобетонной смеси с ПНД и моторным маслом. В процессе формирования лабораторных образцов асфальтобетона было установлено, что в ряде случаев в асфальтобетонной смеси встречаются агломераты в виде слипшихся частиц ПНД. Это потребовало уточнения процесса смешивания отдельных компонентов асфальтобетонной смеси.

В ходе проведения лабораторных исследований, на основе разброса показателей физико-механических свойств асфальтобетонных образцов, сформированных с различной последовательностью смешивания, была выявлена закономерность обеспечения равномерного распределения частиц ПНД в структуре асфальтобетона.

Для наиболее эффективного (по времени и качеству) распределения ПНД в структуре асфальтобетона необходимо частицы ПНД вносить при смешивании щебня и песка. Такой

принцип смешивания компонентов способен повысить однородности смеси при добавлении в нее отходов ПНД, а также снизить продолжительность перемешивания на 20 %.

Предварительная технологическая оценка использования частиц полиэтилена с моторным маслом показала, что весь процесс производства асфальтобетона, с добавкой в виде ПНД, загрязненного нефтепродуктами, можно осуществить на стандартном оборудовании, использующимся на заводах по изготовлению асфальтобетонов.

Используемое оборудование, производящее сушку, смешивание минеральных компонентов, их дозирование и смешивание с битумом, позволяет, не нарушая общей технологии производства асфальтобетонной смеси, использовать частицы ПНД в качестве добавки. Для приготовления данной смеси предлагается использовать стандартную блок схему, которая представлена на рис. 2.

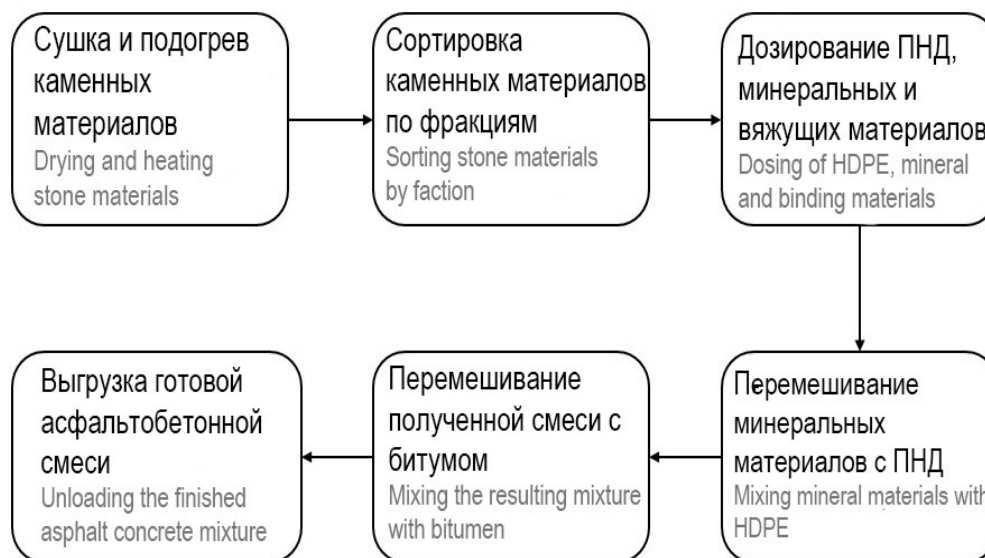


Рис. 2. Стандартная технологическая схема производства асфальтобетонной смеси
Fig. 2. Standard technological scheme for the production of asphalt concrete mixture

По итогам лабораторных исследований был разработан технологический регламент и технические условия на производство асфальтобетонной смеси с ПНД. Документы были разработаны для предприятия, использующего асфальтобетонный завод HDLG QLB-1500, производительностью 120 т/ч. Разработанная технологическая схема представлена на рис. 3. Представлена традиционная схема производства асфальтобетонной смеси на асфальтобетонном заводе. Единственным дополнением является бункер и весовой дозатор для из-

мельченного ПНД, благодаря которым обеспечивается хранение и дозировка отходов полиэтилена.

В процесс приготовления асфальтобетонной смеси с добавлением ПНД не потребуется включение дополнительного дорогостоящего оборудования, а также не нужно организовывать сложную технологическую линию, что является ее значимым преимуществом перед другими технологиями использования ресурсного потенциала отходов ПНД, загрязненных углеводородами.

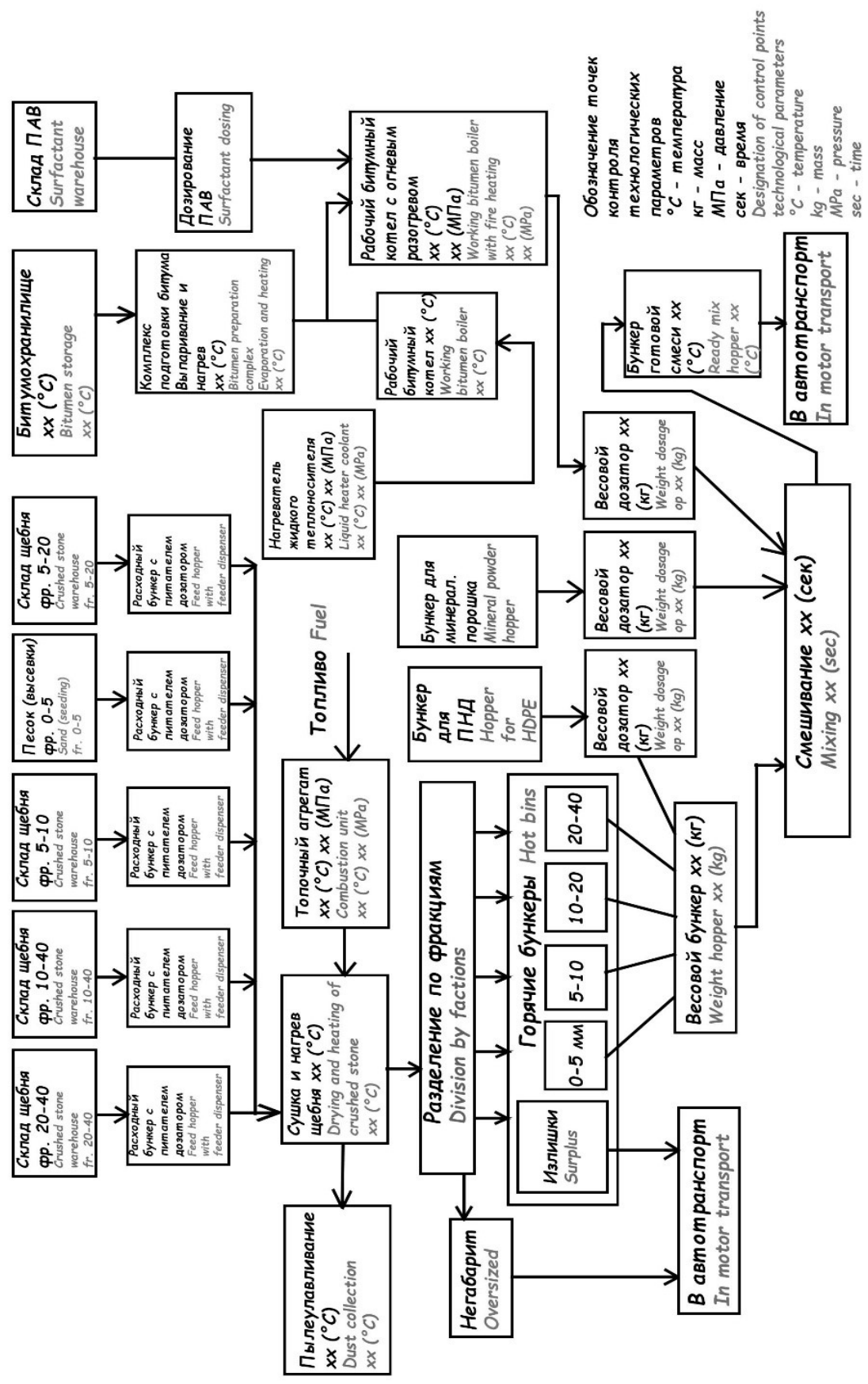


Рис. 3. Технологическая схема производства асфальтобетона с добавлением полиэтилена низкого давления, загрязненного моторным маслом
Fig. 3. Technological diagram of the production process of asphalt concrete with the addition of HDPE contaminated with motor oil

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект № FSNM-2020-0024.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что отходы в виде тары из ПНД, используемой для моторного масла, обладает ресурсным потенциалом, который может быть использован для производства асфальтобетонной смеси. Используемые на асфальтобетонных заводах технологические воздействия (температура, механическое смешивание, время воздействия) позволяют эффективно интегрировать ПНД в структуру асфальтобетона. Под действием высокой температуры и физического воздействия частицы ПНД способны образовывать новые механические и хемосорбционные связи с минеральными частицами и битумом асфальтобетона, выполняя роль армирующего элемента и модификатора. Проведенные лабораторные испытания асфальтобетонных доказывают эффективность использования ПНД в их составе. Технологический процесс получения асфальтобетонной смеси при

использовании в ее составе ПНД не претерпевает существенных изменений.

Используемое оборудование на асфальтобетонных заводах не требует модернизации или изменения технологических режимов. Установлено, что для быстрого и эффективного достижения однородности асфальтобетонной смеси при добавлении ПНД, необходимо сначала осуществить смешивание частиц ПНД с песком и щебнем. Это позволяет избежать комкования частиц ПНД в агломераты.

Силовое воздействие крупных частиц щебня на поверхность частиц ПНД формирует более развитую поверхность, а разнонаправленное механическое воздействие (при вращении смесительного барабана) формирует более вытянутые частицы ПНД, что улучшает их армирующее действие. Использование ресурсного потенциала отходов тары из ПНД для моторных масел позволяет не только получать востребованный на рынке продукт, но и обеспечить реализацию экономики замкнутого цикла.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Теличенко В.И., Бенуж А.А., Сухина Е.А. Межгосударственные «зеленые» стандарты для формирования экологически безопасной среды жизнедеятельности // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 4. С. 438–462. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.4.438-462>. EDN: EXLUMH.
2. Слесарев М.Ю., Теличенко В.И. Обзор норм, методов и моделей геоэкологии в аспектах проблем «зеленой» стандартизации строительства // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 1. С. 42–46. <https://doi.org/10.31857/S0869780920010184>. EDN: SDIIPA.
3. Теличенко В.И., Щербина Е.В. Социально-природно-техногенная система устойчивой среды жизнедеятельности // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 5–12. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.06.5-12>. EDN: KUKAGX.
4. Telichenko V.I., Sumerkin Yu. A. Modeling of the Microclimate of a Residential Courtyard During Renovation // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. Vol. 18. Iss. 3. P. 44–53. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-3-44-53>.
5. Devasahayam S., Raju G.B., Hussain C.M. Utilization and Recycling of End of Life Plastics for Sustainable and Clean Industrial Processes Including the Iron and Steel Industry // Materials Science for Energy Technologies. 2019. Vol. 2. Iss. 3. P. 634–646. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.08.002>.
6. Jie Jiang, Ke Shi, Xiangnan Zhang, Kai Yu, Hong Zhang, Jing He [et al.] From Plastic Waste to Wealth Using Chemical Recycling: A Review // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2022. Vol. 10. Iss. 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106867>.
7. Шершнева М.В. Новые экозащитные свойства строительных материалов и их отходов // Естественные и технические науки. 2023. № 5 (180). С. 158–160. <https://doi.org/10.25633/ETN.2023.05.06>. EDN: PMLIPK.
8. Баруздин А.А., Закревская Л.В., Николаева К.А. Композиционный материал на основе техногенных отходов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 17–23. https://doi.org/10.51608/26867818_2023_2_17. EDN: HXAXRG.
9. Hongliang Zhang, Man Huang, Jun Hong, Feng Lai, Yang Gao Molecular Dynamics Study On Improvement Effect of Bis(2-Hydroxyethyl) Terephthalate On Adhesive Properties of Asphalt-Aggregate Interface // Fuel. 2021. Vol. 285. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119175>.
10. Sand Aldagari, Sk Faisal Kabir, Anthony Lamanna, Elham H. Fini Functionalized Waste Plastic Granules to Enhance Sustainability of Bituminous Composites // Resources, Conservation and Recycling. 2022. Vol. 183. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106353>.
11. Guannan Li, Zhaojun Gu, Yiqiu Tan, Chao Xing, Junjie Zhang, Chao Zhang Research On the Phase Structure of Styrene-Butadiene-Styrene Modified Asphalt Based On Molecular Dynamics // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 326. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126933>.

12. Saroufim E., Celauro C., Mistretta M.C. A Simple Interpretation of the Effect of the Polymer Type On the Properties of PMBs for Road Paving Applications // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 158. P. 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.034>.
13. Devasahayam S., Raju G.B., Hussain C.M. Utilization and Recycling of End of Life Plastics for Sustainable and Clean Industrial Processes Including the Iron and Steel Industry // *Materials Science for Energy Technologies*. 2019. Vol. 2. Iss. 3. P. 634–646. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.08.002>.
14. Jassim H.M., Mahmood O.T., Ahmed S.A. Optimum Use of Plastic Waste to Enhance the Marshall Properties and Moisture Resistance of Hot Mix Asphalt // *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2014. Vol. 7. Iss. 1. P. 18–25.
15. Soni K., Punjabi K.K. Improving the Performance of Bituminous Concrete Mix by Waste Plastic // *International Journal of Engineering Research and Applications*. 2013. Vol. 3. P. 863–868.
16. Razzakh A., Al-Essa A.J., Mutar M.A., Hussein A.A. The Development of Durable Asphalt Pavement Using Modified Polymers and Resol as Reinforcing Materials // *Iraqi Journal of Science*. 2010. Vol. 51. Iss. 1. P. 18–27.
17. Hake S.L., Damgir R.M., Awsarmal P.R. Utilization of Plastic waste in Bitumen Mixes for Flexible Pavement // *World Conference on Transport Research – WCTR 2019 (Mumbai, 26–30 May 2019)*. Mumbai, 2020. Vol. 48. p. 3779–3785.
18. Jie Jiang, Ke Shi, Xiangnan Zhang, Kai Yu, Hong Zhang, Jing He [et al.] From Plastic Waste to Wealth Using Chemical Recycling: A Review // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2022. Vol. 10. Iss. 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106867>.
19. Пугин К.Г., Пугина В.К. Использование отходов в структуре органоминеральных композитов, применяемых для строительства автомобильных дорог // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2021. № 2. С. 38–46. <https://doi.org/10.15593/24111678/2021.02.05>. EDN: FTFSIW.
20. Пугин К.Г., Юшков В.С. Строительство автомобильных дорог с использованием техногенных материалов // *Вестник Пермского государственного технического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности*. 2011. № 1. С. 35–43. EDN: ODXACR.
21. Pugin K.G., Yakontseva O.V., Salakhova V.K., Burgonutdinov A.M. The Use of Polymer Materials in The Composition of Asphalt Concrete // *Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment*. 2022. Vol. 21. P. 150–155. <http://doi.org/10.21741/9781644901755-27>.
22. Пугин К.Г., Калинина Е.В. Использование отходов предприятий химической и металлургической отрасли для изготовления асфальтобетонных дорожных покрытий // *Экология и промышленность России*. 2011. № 10. С. 28–30. EDN: ОНУІKV.
23. Пугин К.Г., Вайсман Я.И. Методические подходы к разработке технологий совместного использования разнородных отходов производства // *Вестник МГСУ*. 2014. № 5. С. 78–90. EDN: SCJUTL.
24. Пугин К.Г., Яконцева О.В., Салахова В.К. Использование полимерных материалов в качестве структурного элемента в составе асфальтобетона // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2021. № 4. С. 29–36. <https://doi.org/10.15593/24111678/2021.04.04>. EDN: WPMJRS.
25. Соломенцев А.Б., Режист М., Жозеф Ш.М. Оценка технологических параметров асфальтобетонных смесей для улично-дорожной сети городских агломераций с добавками низкомолекулярного полиэтилена // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. 2021. № 3 (18). С. 85–96. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.18.3.009>. EDN: IGKEPV.
26. Проваторова Г.В. Экологические аспекты модификации битума // *Умные композиты в строительстве*. 2021. Т. 2. № 1. С. 47–52. https://doi.org/10.52957/27821919_2021_1_47. EDN: XRJJLX.
27. Ming Liang, Changjun Sun, Zhanyong Yao, Hongguang Jiang, Jizhe Zhang Shisong Ren Utilization of Wax Residue as Compatibilizer for Asphalt with Ground Tire Rubber/Recycled Polyethyleneblends // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 230. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116966>.
28. Ming Liang, Xue Xin, Weiyu Fan, Hao Wang, Hongguang Jiang, Jizhe Zhang [et al.] Phase Behavior and Hot Storage Characteristics of Asphalt Modified with Various Polyethylene: Experimental and Numerical Characterizations // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 203. P. 608–620. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.095>.
29. Costa L.M.B., Silva H.M.R.D., Peralta J., Oliveira J.R.M. Using Waste Polymers as A Reliable Alternative for Asphalt Binder Modification–Performance and Morphological Assessment // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 198. P. 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.279>.
30. Xiong Xu, Zhen Leng, Jingting Lan, Wei Wang, Jiangmiao Yu, Yawei Bai [et al.] Sustainable Practice in Pavement Engineering Through Value-Added Collective Recycling of Waste Plastic and Waste Tyre Rubber // *Engineering*. 2021. Vol. 7. Iss. 6. P. 857–867. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.08.020>.

REFERENCES

1. Telichenko V.I., Benuzh A.A., Suhinina E.A. Interstate Green Standards of Formation Sustainable Built Environment Vital Activity. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2021;16(4):438-462. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.4.438-462>. EDN: EXLUMH.

2. Slesarev M.Yu., Telichenko V.I. Review of Geoecological Standards, Methods and Models in The View of "Green" Standardization of Construction. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2020;1:42-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780920010184>. EDN: SDIIPA.
3. Telichenko V.I., Shcherbina E.V. Social-Natural-Technogenic System of Sustainable Environment of Vital Activity. *Industrial and Civil Engineering*. 2019;6:5-12. (In Russ.). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.06.5-12>. EDN: KUKAGX.
4. Telichenko V.I., Sumerkin Yu. A. Modeling of the Microclimate of a Residential Courtyard During Renovation. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022;18(3):44-53. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-3-44-53>.
5. Devasahayam S., Raju G.B., Hussain C.M. Utilization and Recycling of End of Life Plastics for Sustainable and Clean Industrial Processes Including the Iron and Steel Industry. *Materials Science for Energy Technologies*. 2019;2(3):634-646. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.08.002>.
6. Jie Jiang, Ke Shi, Xiangnan Zhang, Kai Yu, Hong Zhang, Jing He [et al.] From Plastic Waste to Wealth Using Chemical Recycling: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2022;10(1):1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106867>.
7. Shershneva M.V. New Eco-Protective Properties of Building Materials and Their Waste. *Natural and Technical Sciences*. 2023;5(180):158-160. (In Russ.). <https://doi.org/10.25633/ETN.2023.05.06>. EDN: PMLIPK.
8. Baruzdin A.A., Zakrevskaya L.V., Nikolaeva K.A. Composite Material Based On Industrial Wastes. *Expert: Theory and Practice*. 2023;2(21):17-23. (In Russ.). https://doi.org/10.51608/26867818_2023_2_17. EDN: HXAXRG.
9. Hongliang Zhang, Man Huang, Jun Hong, Feng Lai, Yang Gao Molecular Dynamics Study On Improvement Effect of Bis(2-Hydroxyethyl) Terephthalate On Adhesive Properties of Asphalt-Aggregate Interface. *Fuel*. 2021;285:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119175>.
10. Sand Aldagari, Sk Faisal Kabir, Anthony Lamanna, Elham H. Fini Functionalized Waste Plastic Granules to Enhance Sustainability of Bituminous Composites. *Resources, Conservation and Recycling*. 2022;183:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106353>.
11. Guannan Li, Zhaojun Gu, Yiqiu Tan, Chao Xing, Junjie Zhang, Chao Zhang Research On the Phase Structure of Styrene-Butadiene-Styrene Modified Asphalt Based On Molecular Dynamics. *Construction and Building Materials*. 2022;326:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126933>.
12. Saroufim E., Celauro C., Mistretta M.C. A Simple Interpretation of the Effect of the Polymer Type On the Properties of PMBs for Road Paving Applications. *Construction and Building Materials*. 2018;158:114-123. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.034>.
13. Devasahayam S., Raju G.B., Hussain C.M. Utilization and Recycling of End of Life Plastics for Sustainable and Clean Industrial Processes Including the Iron and Steel Industry. *Materials Science for Energy Technologies*. 2019;2(3):634-646. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.08.002>.
14. Jassim H.M., Mahmood O.T., Ahmed S.A. Optimum Use of Plastic Waste to Enhance the Marshall Properties and Moisture Resistance of Hot Mix Asphalt. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2014;7(1):18-25.
15. Soni K., Punjabi K.K. Improving the Performance of Bituminous Concrete Mix by Waste Plastic. *International Journal of Engineering Research and Applications*. 2013;3:863-868.
16. Razzakh A., Al-Essa A.J., Mutar M.A., Hussein A.A. The Development of Durable Asphalt Pavement Using Modified Polymers and Resol as Reinforcing Materials. *Iraqi Journal of Science*. 2010;51(1):18-27.
17. Hake S.L., Damgir R.M., Awsarmal P.R. Utilization of Plastic waste in Bitumen Mixes for Flexible Pavement. In: *World Conference on Transport Research – WCTR 2019*. 26–30 May 2019, Mumbai. Mumbai; 2020. Vol. 48. p. 3779–3785.
18. Jie Jiang, Ke Shi, Xiangnan Zhang, Kai Yu, Hong Zhang, Jing He [et al.] From Plastic Waste to Wealth Using Chemical Recycling: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2022;10(1):1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106867>.
19. Pugin K.G., Pugina V.K. Waste Use in The Structure of Organomineral Composites Used for The Construction of Motorroads. *Transport. Transport Facilities. Ecology*. 2021;2:38-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.15593/24111678/2021.02.05>. EDN: FTFSIW.
20. Pugin K.G., Yushkov V.S. Construction of Highways Using Technogenic Materials. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Okhrana okruzhayushchei sredy, transport, bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2011;1:35-43. (In Russ.). EDN: ODXACR.
21. Pugin K.G., Yakontseva O.V., Salakhova V.K., Burgonutdinov A.M. The Use of Polymer Materials in The Composition of Asphalt Concrete. *Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment*. 2022;21:150-155. <http://doi.org/10.21741/9781644901755-27>.
22. Pouguin K.G., Kalinina E.V. Utilization of Waste from Chemical and Metallurgical Industries for Manufacture of Asphalt-Concrete Pavements. *Ecology and Industry of Russia*. 2011;10:28-30. (In Russ.). EDN: OHYIKV.

23. Pugin K.G., Vaysman Ya.I. Methodical Approaches to Waste Co-Recycling Technologies Development. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2014;5:78-90. (In Russ.). EDN: SCJUTL.
24. Pugin K.G., Yakontseva O.V., Salakhova V.K. The Use of Polymer Materials as A Structural Element in The Composition of Asphalt Concrete. *Transport. Transport Facilities. Ecology*. 2021;4:29-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.15593/24111678/2021.04.04>. EDN: WPMJRS.
25. Solomentsev A.B., Regist M., Joseph Sch.M. Evaluation of Technological Parameters of Asphalt Concrete Mixtures for The Street-Road Network in Urban Agglomerations Using Additives of Polyethylene with Low Molecular Weight. *Housing and Utilities Infrastructure*. 2021;3(18):85-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.18.3.009>. EDN: IGKEPV.
26. Provatorova G.V. Environmental Aspects of Bitumen Modification. *Smart Composite in Construction*. 2021;2(1):47-52. (In Russ.). https://doi.org/10.52957/27821919_2021_1_47. EDN: XRJJLX.
27. Ming Liang, Changjun Sun, Zhanyong Yao, Hongguang Jiang, Jizhe Zhang Shisong Ren Utilization of Wax Residue as Compatibilizer for Asphalt with Ground Tire Rubber/Recycled Polyethyleneblends. *Construction and Building Materials*. 2020;230:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116966>.
28. Ming Liang, Xue Xin, Weiyu Fan, Hao Wang, Hongguang Jiang, Jizhe Zhang [et al.] Phase Behavior and Hot Storage Characteristics of Asphalt Modified with Various Polyethylene: Experimental and Numerical Characterizations. *Construction and Building Materials*. 2019;203:608-620. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.095>.
29. Costa L.M.B., Silva H.M.R.D., Peralta J., Oliveira J.R.M. Using Waste Polymers as A Reliable Alternative for Asphalt Binder Modification–Performance and Morphological Assessment. *Construction and Building Materials*. 2019;198:237-244. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.279>.
30. Xiong Xu, Zhen Leng, Jingting Lan, Wei Wang, Jiangmiao Yu, Yawei Bai [et al.] Sustainable Practice in Pavement Engineering Through Value-Added Collective Recycling of Waste Plastic and Waste Tyre Rubber. *Engineering*. 2021;7(6):857-867. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.08.020>.

Информация об авторе

Пугин Константин Георгиевич,
д.т.н., профессор кафедры
строительных технологий,
Пермский государственный
аграрно-технологический университет имени
академика Д. Н. Прянишникова,
614990, г. Пермь, ул. Петropавловская, д. 23,
Россия,
✉e-mail: 123zzz@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1768-8177>
Author ID: 622336

Information about the author

Konstantin G. Pugin,
Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department
of Construction Technologies,
Perm State Agrarian and Technological
University named after Academician
D.N. Pryanishnikov,
23, Petropavlovskaya St., Perm 614990,
Russia,
✉e-mail: 123zzz@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1768-8177>
Author ID: 622336

Вклад автора

Автор сделал эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the author

Author contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

Author 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 by all the coauthor.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 14.06.2024.
Одобрена после рецензирования 01.07.2024.
Принята к публикации 02.07.2024.

Information about the article

The article was submitted 14.06.2024.
Approved after reviewing 01.07.2024.
Accepted for publication 02.07.2024.



Влияние литодинамики береговой зоны на безопасность эксплуатации железнодорожного полотна на участке Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги

Г.В. Тлявлиная^{1,2✉}, Р.М. Тлявлин¹, Е.С. Ашпиз²

¹Центральный научно-исследовательский институт транспортного строительства, Обособленное подразделение «Научно-исследовательский центр «Морские берега»», г. Сочи, Россия

²Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

Аннотация. В настоящей работе рассмотрена проблема защиты от размыва волнами железнодорожного полотна на участке Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги (побережье Черного моря). Целью данной работы является оценка влияния литодинамики береговой зоны на безопасность эксплуатации железнодорожного полотна на данном участке. Описываются литодинамические процессы в береговой зоне моря. На примере конкретного участка берега (1907–1910 км) показано влияние строительства берегозащитных сооружений на литодинамику в целом, и на смежные участки. Представлен ретроспективный анализ поэтапного строительства наносоудерживающих сооружений, морских бун, без полноценной отсыпки пляжеобразующего материала в межбунные отсеки. По результатам обследования и анализа спутниковых снимков участка берега от 1907 км до 1910 км в пределах перегона Водопадный–Лазаревское были сделаны выводы о том, что интенсивное строительство берегозащитных сооружений на участке, которое велось без должного учета процессов литодинамики, привело к размывам пляжа и аварийному состоянию подпорно-волноотбойных стен от 1909 км до 1910 км. Предлагаемые рекомендации позволяют выполнять строительство сооружений инженерной защиты железнодорожного полотна с учетом литодинамических процессов, что повысит безопасность эксплуатации железнодорожного пути.

Ключевые слова: берегозащитные сооружения, железнодорожный путь, земляное полотно, инженерная защита, литодинамические процессы, обследование

Для цитирования: Тлявлиная Г.В., Тлявлин Р.М., Ашпиз Е.С. Влияние литодинамики береговой зоны на безопасность эксплуатации железнодорожного полотна на участке Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 580–591. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-580-591>. EDN: RBCPJA.

Original article

Influence of lithodynamics of coastal area on the safety of railway operation on the Tuapse-Adler section of the North Caucasus Railway

Galina V. Tlyavlina^{1,2✉}, Roman M. Tlyavlin¹, Evgenij S. Ashpiz²

¹Central Research institute of Transport Construction, R&D Centre «Morskie berega», Sochi, Russia

²Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

Abstract. The present paper considers the railroad bed on the Tuapse-Adler section of the North Caucasus Railway (Black Sea coast) in terms of its protection from wave scouring. Aim. To evaluate the influence of coastal lithodynamics on the safety of the railway operation on the section under consideration. The paper describes lithodynamic processes in the sea coastal zone and demonstrates the influence of coastal protection structures produced on lithodynamics in general and on adjacent sections, as exemplified by a specific section of the coast (1907–1910 km). The study involves a retrospective analysis of the step-by-step construction of trapping structures, and sea groins without full-fledged dumping of

beach-forming material into the inter-groin compartments. The investigation and analysis of satellite images of 1907–1910 km coast within the Vodopadny-Lazarevskoye section indicate that lithodynamic processes remained unconsidered during the intensive construction of bank protection structures, which led to the beach erosion and the emergency condition of the seawalls along 1909–1910 km section. The paper provides recommendations for considering lithodynamic processes in the construction of railway protection structures, thereby increasing the safety of the railway operation.

Keywords: coastal protection structures, engineering protection, inspection, lithodynamic processes, railway track, roadbed

For citation: Tlyavlina G.V., Tlyavlin R.M., Ashpiz E.S. Influence of lithodynamics of coastal area on the safety of railway operation on the Tuapse-Adler section of the North Caucasus Railway. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):580-591. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-580-591>. EDN: RBCPJA.

ВВЕДЕНИЕ

Земляное полотно железнодорожного пути на участке Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги (СКЖД) проходит в непосредственной близости от берега Черного моря.

Со стороны берега участок подвержен склоновым процессам (оползням, обвалам и т. п.), а со стороны моря – волновой абразии [1]. Поэтому надежность и безопасность эксплуатации железнодорожного полотна во многом зависит от эффективности работы сооружений инженерной защиты от волнового воздействия.

Надежность и эффективность сооружений инженерной защиты берегов, в свою очередь, зависит от изученности и правильной оценки литодинамики и морфологии участка [2–5].

При этом оценка влияния различных факторов может быть выявлена только при долгосрочных наблюдениях за состоянием берега [2–9]. Берегозащитные мероприятия должны реализовываться в границах литодинамических систем [2].

Поэтому, приступая к изучению современного состояния береговой зоны в пределах каждого конкретного участка, следует выделить систему и оценить процессы, протекающие на рассматриваемом фрагменте [2, 6].

Согласно современным представлениям, литодинамическая система – это участок береговой зоны, в пределах которого выражен вдольбереговой поток наносов, его литодинамический режим относительно независим от смежных участков.

Данная система должна включать совокупность характерных природных и антропогенных факторов, определяющих взаимосвязанные и независимые от соседних участков берега процессы, протекающие на рассматриваемом участке и определяющих устойчивость

самой системы [2, 10].

Материал, выносимый реками и поступающий в береговую зону моря под воздействием волн, перемещается вдоль берега, формируя и поддерживая природные волногасящие пляжи, являющиеся основным элементом, защищающим его от штормовых волн [2, 10].

Процессы аккумуляции и транспорта наносов в береговой зоне на участке от Туапсе до Адлера связаны с твердым стоком рек и его перераспределением под действием волнового и прибойного потока и течений [10, 11].

Полоса пляжа образована песчано-галечными наносами. Их вдольбереговое перемещение определяется воздействием волн на поступающий в береговую зону пляжеобразующий материал.

Величина этого воздействия зависит от экспозиции конкретного участка берега [10].

Под воздействием волн пляжный материал вдоль него смещается в разных направлениях. В силу особенностей гидродинамического режима моря результирующее перемещение галечного пляжного материала на рассматриваемом участке за длительный период времени направлено с северо-запада на юго-восток, т. е. от Туапсе в сторону Адлера (рис. 1). Это результирующее перемещение наносов и является вдольбереговым потоком.

Существенное влияние на вдольбереговой поток наносов оказывает возведение пляжеудерживающих сооружений, таких как буны и прерывистые волноломы, которые, перехватывая наносы, способствуют возникновению низовых размывов.

Большое влияние на изменение величины вдольберегового потока наносов оказывает выборка материалов из русел рек, приводящая к уменьшению их твердого стока и сокращению его величины.

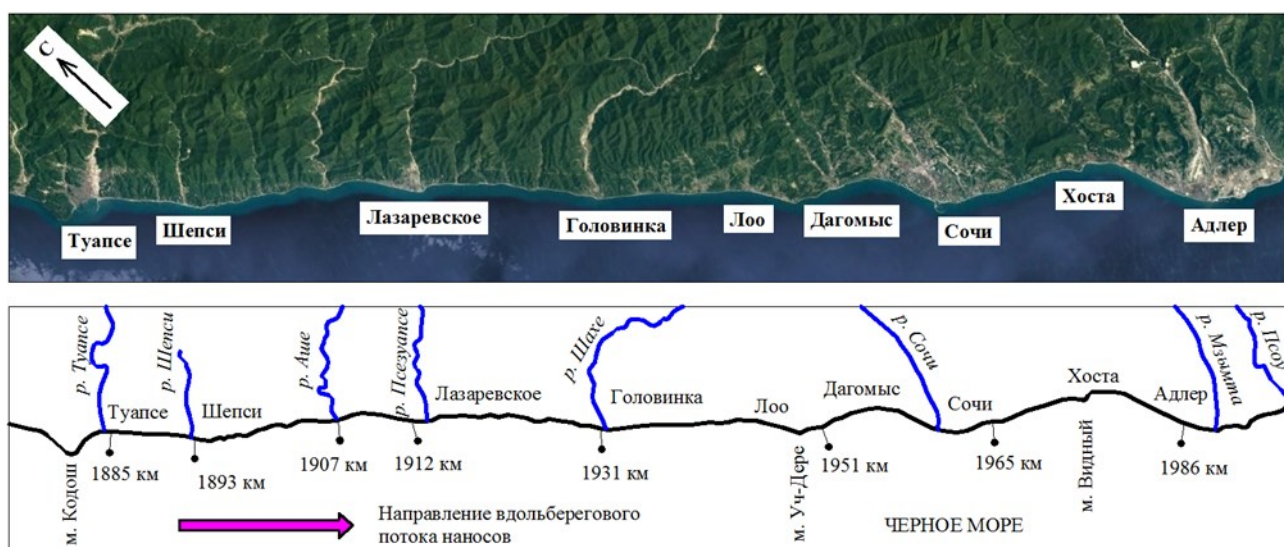


Рис. 1. Схема участка литодинамической системы от Туапсе до Адлера (побережье Черного моря)

Fig. 1. Map of the lithodynamic system section from Tuapse to Adler (Black Sea coast)

МЕТОДЫ

Для оценки литодинамических процессов и их влияния на устойчивость сооружений инженерной защиты и безопасность эксплуатации железнодорожного полотна выполнялся анализ космических снимков сервиса Google Earth, проводились эпизодические натурные наблюдения за динамикой береговой линии и изучались результаты комплексного обследования [1, 2, 9, 12, 13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ярким примером тяжелых последствий, к которым приводит неучет литодинамических процессов при строительстве сооружений инженерной защиты в береговой зоне моря, является участок берега от 1907 км ПК0 до 1911

км ПК0 в пределах перегона Водопадный–Лазаревское СЖД.

Северо-западная граница литодинамической подсистемы этого участка приурочена к устью р. Аше [10].

По оценке [11] она выносит в море ежегодно около 16,3 тыс. м³ руслового аллювия, этот материал перемещается вдоль берега на юго-восток и аккумулируется южнее р. Куапсе, на пляжах п. Лазаревское.

Рассмотрим два соседних участка (выбран фрагмент до строительства берегозащиты на участке 1 и после).

Участок 1 расположен северо-западнее устья р. Куапсе, а участок 2 – юго-восточнее (рис. 2).



Рис. 2. Схема участков от 1907 км ПК0 до 1911 км ПК0

Fig. 2. Map of section 1907 km PK 0 to 1911 km PK 0

Из-за различной ориентации береговой линии галечный материал на участке 1 практически не задерживался и перемещался волновыми течениями к участку 2, в результате этого на участке 1 ширина пляжей не превышала 5–10 м, и волны методично разрушали подпорно-волноотбойную стену, что могло привести к размыву земляного полотна железной дороги. В то же время на участке 2 было стабильным, ширина пляжей составляла от 15 м у устья р. Куапсе и до 40 м в центральной части п. Лазаревское.

До 2009 г. на участке 1 (от 1908 км ПК0 до 1910 км ПК0) пляж отсутствовал за исключением небольшого фрагмента на 1909 км ПК5, где под прикрытием волнолома задерживался пляжевый материал. Возникла необходимость

в защите участка от разрушающего воздействия волн.

В период с 2005 по 2018 г. на этом участке, севернее р. Куапсе, было построено 16 бун: четыре бетонные в период до 2009 г., 11 каменнонабросных до 2012 г. и одна каменнонабросная в 2017 г.

На спутниковых снимках 2009–2018 гг. отчетливо прослеживается накопление аллювия, выносимого р. Аше, в межбунных отсеках вновь построенных бун с северо-запада на юго-восток (рис. 3). Это свидетельствует о том, что при строительстве они заполнялись пляжеобразующим материалом не в полном объеме или не заполнялись вовсе, что, в свою очередь, является грубым нарушением требований действующих норм в области берегозащиты.



Рис. 3. Состояние волногасящей полосы от 1907 км ПК0 до 1910 км ПК0, 2018 г.
Fig. 3. The condition of the beach from 1907 km PK0 to 1910 km PK0, 2018

Требования нормативных документов об обязательном заполнении межбунных отсеков вновь строящихся бун основаны на многолетних исследованиях и натурных наблюдениях: пляжевый материал рек будет оседать пока не заполнит их полностью и не будет поступать на берег ниже по ходу потока наносов. Данный факт полностью подтвердился на рассматриваемом участке берега: за прошедшие пять лет (с 2013 по 2018 г.) на северо-западе участка между новыми бунами отсеки полностью заполнились пляжевым материалом из вдольберегового потока, средняя ширина пляжа составила 35 м. А на южной стороне участка за волноломами пляж оказался размыв полностью. На участке 2 на 1910–1911 км в 2005 г. ширина пляжа варьировалась от 20 до 30 м, и он был стабильным (рис. 4). После строительства бун на соседнем участке резко начал размываться пляж и уже в 2012 г. на 1910 км пляж практически полностью отсутствовал, за исключением

небольшого участка за волноломом. А на 1911 км ширина пляжа сократилась с 30 до 10–20 м. В 2019 г. он отсутствовал уже на всем протяжении и даже за волноломами (рис. 5). В результате выполненного в 2018 г. обследования было зафиксировано, что глубина воды перед стеной достигала уже 1,5–2 м, а это значит, что волны практически без потери энергии бьют в стену, разрушая ее. Следует отметить, что согласно нормативным документам, перед волноотбойными стенами обязательно следует предусматривать волногасящие сооружения: волногасящую полосу (пляж) или волногасящую берму [2, 10, 13]. Данные требования обусловлены тем, что вызываемое волноотбойными стенами отражение волн ведет к размыву основания перед ними [2, 14, 15, 16]. Поэтому в нормативные документы внесены требования о недопустимости строительства волноотбойных стен без волногасящих сооружений перед ними.



Рис. 4. Волногасящая полоса на участке 2, 2005 г.
Fig. 4. Wave-extinguishing strip on site 2, 2005



Рис. 5. Волногасящая полоса размыва на участке 2, 2019 г.
Fig. 5. The wave-quenching band is blurred in section 2, 2019

Вместе с тем, учитывая недопустимость возникновения аварийных ситуаций на защищаемых автомобильных и железных дорогах, введены дополнительные требования для такого варианта защиты на случаи отсутствия волногасящего прикрытия перед стенами (например, внезапный размыв пляжа вследствие воздействия шторма более редкой повторяемости, чем расчетная) [2]:

– об обеспечении устойчивости волноотбойных стен даже при отсутствии пляжа перед ними;

– о защите лицевых граней стен облицовкой из высокопрочных материалов либо о применении бетона более высоких марок, если облицовка не предусмотрена. Соблюдение этих дополнительных требований ни в коем случае не обеспечивает длительную защиту волноотбойных стен от обрушения (и, следовательно, безопасную эксплуатацию железнодорожного полотна) на постоянной основе.

Отсутствие такого сооружения перед стеной является критическим дефектом, приводящим к аварийной ситуации, и допустимо лишь

кратковременно, до устранения размыва пляжа [2, 17, 18, 19].

В 2018–2019 гг. специалистами НП «Наука-МГУПС» совместно с Научно-исследовательским центром «Морские берега» и Ростовским государственным университетом путей сообщения были выполнены научно-исследовательские, обследовательские работы и инженерные изыскания в общем составе работ по комплексному обследованию береговой стороны железнодорожной линии Туапсе–Адлер СКЖД [1, 5, 20]. Было выполнено ранжирование железнодорожной линии по степени опасности штормового воздействия с разработкой первой редакции программы противодеформационных мероприятий [1]. По итогам выполненных исследований уже в 2019 г. участок от 1908 км ПК 2+7 до 1909 км ПК 5+00 был отнесен к потенциально опасным, а участок от 1909 км ПК 5+00 до 1911 км ПК 0+00 к аварийным. Предложенные противодеформационные мероприятия, на основании которых была разработана проектная документация, были реали-

зованы лишь частично (рис. 6). В 2020 г. построены еще 11 каменно-набросных бун, что лишь усугубило ситуацию на участке 2, южнее р. Куапсе. При этом межбунные отсеки не были заполнены полностью, что привело к дальнейшему перехвату галечника из потока наносов. Учитывая текущий объем потока, около 16 тыс. м³ в год, межбунные отсеки на этом участке будут заполняться еще не менее 10 лет, а значит, участок 2 будет размываться и далее [21–25]. При этом размывы будут распространяться на 1911 и 1912 км.

По результатам анализа космических снимков сервиса Google Earth за период с 2005 по 2020 г. построен график изменения ширины пляжа на 1908 км ПК0 и на 1911 км ПК0 (рис. 7). Как видно из рис. 7. до строительства бун на участке 1 в 2005 г. на 1908 км ПК0 пляж был шириной не более 4 м (синяя линия на графике), а после строительства бун стал резко нарастать, уже в 2014 г. его ширина составила 20 м и далее, до 2020 г. он находился в стабильном состоянии.



Рис. 6. Состояние волногасящей полосы от 1907 км ПК0 до 1910 км ПК0, 2020 г.

Fig. 6. The condition of the beach from 1907 km PK0 to 1910 km PK0, 2020

На участке 2 за рассматриваемый период происходила обратная ситуация (красная линия на графике). В 2005 г. на 1911 км ПК0 наблюдался пляж шириной 18–20 м, а после строительства берегозащитных сооружений на соседнем участке ширина волногасящей полосы резко начала сокращаться, и уже в 2014 г. пляж перед волноотбойной стеной отсутствовал вовсе.

По материалам наблюдений, выполненных в 2018 г. [1], установлено, что волноотбойная стена на участке разрушается (рис. 8).

Например, на участке от 1910 км ПК8+15 до 1911 км ПК1+5 в нижней части стены при отсутствии волногасящего пляжа произошли размывы коренных пород перед ней. Наблюдались проседания блоков основания с последующим их смещением. В этих местах глубина моря перед волноотбойной стеной достигала 1,5–2 м. Наибольшую опасность представлял участок от 1911 км ПК0+25 до 1911 км ПК0+80, где нижний элемент сборной волноотбойной стены и подстилающая железобетонная плита отсутствуют полностью. Подмывы под стеной

достигали 2,5–3 м в плане, что привело к вытягиванию грунта из-за волноотбойной стены и ее просадке.

В результате шторма, прошедшего 27 но-

ября 2023 г., произошло обрушение волноотбойной стены на данном участке и размыв земляного полотна железной дороги. Было прекращено движение поездов.

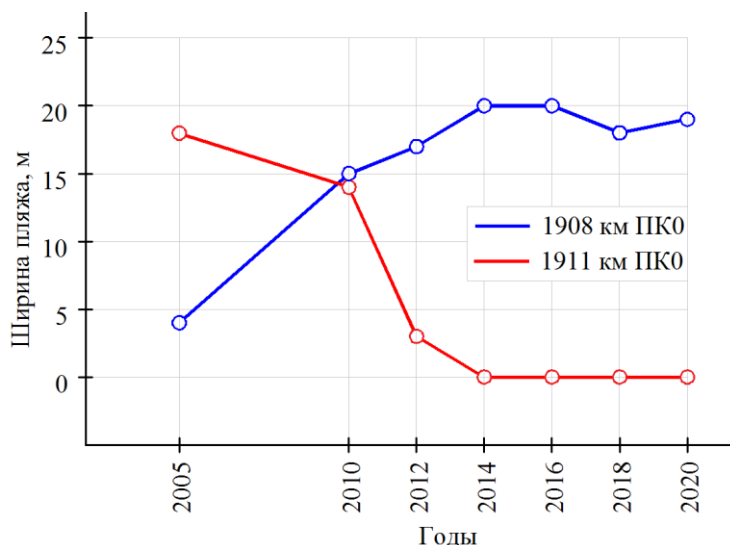


Рис. 7. Изменение ширины пляжа на 1908 км ПК0 и на 1911 км ПК0 за период с 2005 по 2020 г.
Fig. 7. The change in the width of the beach by 1908 km PK0 and by 1911 km PK0 for the 2005 to 2020



Рис. 8. Разрушающаяся волноотбойная стена на участке 2, 2018 г.
Fig. 8. Destroying sea wall on section 2, 2018

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка геоморфологических условий береговой зоны и выявление направленности литодинамических процессов, протекающих на рассматриваемом участке берега, необходимы

для комплексной оценки природных и техногенных условий [2, 18, 26, 27].

Интенсивность проявления береговых процессов и их направленность должны быть положены в основу разрабатываемых берегоза-

щитных мероприятий, включающих оптимальный выбор гидротехнических сооружений, их строительство и эксплуатацию [2, 5, 28]. Эффективность и долговечность возведенных на берегу объектов определяется достоверным учетом, на стадии разработки мероприятий, протекающих в береговой зоне моря природных процессов и их направленности. При этом, большое значение имеет оценка влияния на протекающие природные процессы антропогенного фактора, которая может быть выявлена только при долговременных наблюдениях за состоянием берега. Проявление негативных процессов, связанных с абразией коренного берега под воздействием волн, требует постоянного контроля за его состоянием, выявления опасных участков и проведения берегозащитных мероприятий.

Данные мероприятия на протяжении всего участка Туапсе–Адлер СКЖД, и на участке

1908–1910 км в частности, следует проводить в соответствии с программой противодеформационных мероприятий, первая редакция которой была разработана в 2019 г. и в настоящее время нуждается в актуализации в связи с интенсивными размывами в береговой зоне в последние годы [1]. Программа разработана с учетом литодинамического районирования на основании выполненных исследований и должна реализовываться комплексно и поэтапно. Так, размеры участков и мероприятия, входящие в пусковой комплекс (этап), должны определяться с учетом всех природных и антропогенных процессов в береговой зоне моря.

Игнорирование литодинамических процессов, выполнение проектных мероприятий не в полном объеме, определенном научными исследованиями, приводит к чрезвычайным ситуациям на транспорте и крупным финансовым потерям [17, 18, 29, 30].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal Railways // Proceedings of the 14th MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation (Marmaris, 22–26 October 2019). Marmaris, 2019. Vol. 2. p. 841–852. EDN: JWHEBE.
2. Тлявлиная Г.В. Научное обоснование нормативной базы по проектированию защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды. М.: Экон-Информ, 2023. 173 с. EDN: IMBNHK.
3. Powell E.J., Tyrrell M.C., Milliken A., Tirpak J.M., Staudinger M.D. A Review of Coastal Management Approaches to Support the Integration of Ecological and Human Community Planning for Climate Change // Journal of Coastal Conservation. 2019. Vol. 23. Iss. 1. P. 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0632-y>.
4. Rangel-Buitrago N., Neal W.J., De Jonge V.N. Risk Assessment as Tool for Coastal Erosion Management // Ocean and Coastal Management. 2020. Vol. 186. P. 105088–105099. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105099>.
5. Тлявлиная Г.В. Лабораторные и натурные исследования в обеспечение развития нормативной базы и безопасности транспортных сооружений в условиях волнового воздействия // Транспортные сооружения. 2022. Т. 9. № 4. С. 1–19. <https://doi.org/10.15862/10SATS422>. EDN: JVREME.
6. Stokes K., Poate T., Masselink G., King E., Saulter A., Ely N. Forecasting Coastal Overtopping at Engineered and Naturally Defended Coastlines // Coastal Engineering. 2021. Vol. 164. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103827>.
7. Sancho F. Evaluation of Coastal Protection Strategies at Costa da Caparica (Portugal): Nourishments and Structural Interventions // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11. Iss. 6. P. 1–23. <https://doi.org/10.3390/jmse11061159>.
8. Saengsupavanich Ch. Flaws in Coastal Erosion Vulnerability Assessment: Physical and Geomorphological Parameters // Arabian Journal of Geosciences. 2021. Vol. 15. Iss. 57. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09368-2>.
9. Шелушин Ю.А., Петров В.А. Мониторинг береговых процессов на Черноморском побережье Краснодарского края между Туапсе и Адлером // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2019. № 4. С. 181–185. <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2019-2-4-181-185>. EDN: NRDFML.
10. Петров В.А. Волногасящие галечные пляжи. М.: Экон-Информ, 2021. 295 с. EDN: NSTOJW.
11. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Сток влекомых наносов рек Черноморского побережья Краснодарского края // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2021. № 3. С. 19–28. <https://doi.org/10.31857/S0869780921030073>. EDN: SEKVOT.
12. Шелушин Ю.А., Петров В.А. Динамика пляжей участка Черноморского побережья России 1956–2018 гг. // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов

- («Опасные явления»): материалы Междунар. науч. конф. (г. Ростов-на-Дону, 13–23 июня 2019 г.). Ростов-на-Дону, 2019. С. 217–221. EDN: WTBAEQ.
13. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Оценка величины вдольберегового потока наносов в литодинамических системах (на примере участка берега между Туапсе и Адлером) // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 4. С. 60–67. <https://doi.org/10.31857/S0869780920040074>. EDN: XZJJYA.
 14. Lira-Loarca A., Cáceres-Euse A., De-Leo F., Besio G. Wave Modeling with Unstructured Mesh for Hindcast, Forecast and Wave Hazard Applications in The Mediterranean Sea // Applied Ocean Research. 2022. Vol. 122. P. 103110–103118. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103118>.
 15. De Finis S., Romano A., Bellotti G. Numerical and Laboratory Analysis of Post-Overtopping Wave Impacts On a Storm Wall for A Dike-Promenade Structure // Coastal Engineering. 2020. Vol. 155. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103598>.
 16. Weiqiu Chen, Marconi A., van Gent M.R.A., Warmink J.J., Hulscher S.J.M.H. Experimental Study on the Influence of Berms and Roughness on Wave Overtopping at Rock-Armoured Dikes // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. Vol. 8. Iss. 6. P. 1–21. <https://doi.org/10.3390/jmse8060446>.
 17. Финагенов О.М., Штильман В.Б., Шульман С.Г., Юделевич А.М. Развитие методов оценки надежности гидротехнических сооружений // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2021. Т. 300. С. 7–20. EDN: IANMJK.
 18. Седнев В.А. Оценка факторов, влияющих на организацию защиты населения в зонах возможного катастрофического затопления // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2021. № 1. С. 73–82. <https://doi.org/10.36535/0869-4176-2021-01-10>. EDN: RLTTQA.
 19. Qin Chen, Lixia Wang, Haihong Zhao, Douglass S.L. Prediction of Storm Surges and Wind Waves on Coastal Highways in Hurricane-Prone Areas // Journal of Coastal Research. 2007. Vol. 95. Iss. 5. P. 1304–1317. <https://doi.org/10.2112/05-0465.1>.
 20. Тлявлин Р.М. Оценка технического состояния волногасящих сооружений инженерной защиты земляного полотна от волнового воздействия // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2020. Т. 17. № 2. С. 198–209. <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2020-2-198-209>. EDN: TWPLCB.
 21. Leont'yev I.O. Artificial Beach as A Structure for Protecting a Seacoast from Storm Surge Impact (Based On the Example of the Eastern Gulf of Finland) // Oceanology. 2019. Vol. 59. Iss. 2. P. 267–275. <https://doi.org/10.1134/S0001437019020115>.
 22. Divinsky B.V., Kosyan R.D. Bottom Sediment Suspension under Irregular Surface Wave Conditions // Oceanology. 2019. Vol. 59. Iss. 4. P. 482–490. <https://doi.org/10.1134/S0001437019040039>.
 23. Süme V. Shoreline Changes in Three Groin Fields On the Eastern Black Sea Coast // Fresenius Environmental Bulletin. 2018. Vol. 27. Iss. 1. P. 125–131.
 24. Кантаржи И.Г., Леонтьев И.О., Куприн А.В. Аналитические исследования динамики «карманного пляжа» // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2023. Т. 16. № 3. С. 93–105. [https://doi.org/10.59887/2073-6673.2023.16\(3\)-7](https://doi.org/10.59887/2073-6673.2023.16(3)-7). EDN: SPDWAI.
 25. Dolgoplova E.N. Mechanism for Sediment Transport at Tidal Estuaries Under Bore Formation // Processes in GeoMedia. Springer Geology. Springer: Cham, 2020. Vol. 1. P. 231–241. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38177-6_25.
 26. Fomin V.V., Goryachkin Yu.N. Accounting for the Local Wave and Morphodynamic Processes in Coastal Hydraulic Engineering // Physical Oceanography. 2022. Vol. 29. Iss. 3. P. 271–290. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2022-3-271-290>. EDN: WKTMVO.
 27. Mathew R., Winterwerp J.C. Sediment Dynamics and Transport Regimes in A Narrow Microtidal Estuary // Ocean Dynamics. 2020. Vol. 70. Iss. 4. P. 435–462. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01345-9>.
 28. Tlyavlina G.V., Vyalyi, E.A. The Use of Natural Stone in Marine Hydraulic Engineering Construction // Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea. 2022. Iss. 2. P. 53–69. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2022-2-53-69>. EDN: AEFXHI.
 29. Осипова О.С. Анализ и оценка риска возникновения гидродинамических аварий // Биотехнологии и безопасность в техносфере: сб. материалов II Национальной науч. конф. студентов и молодых ученых (г. Санкт-Петербург, 02–03 марта 2022 г.). СПб, 2022. Т. 2. С. 33–36. EDN: KNZWKW.
 30. Савушкин С.А., Искоростинский А.И., Лемешкова А.В. Климатические причины железнодорожных аварий // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2023. № 2 (21). С. 19–24. <https://doi.org/10.47501/ITNOU.2023.2.19-24>. EDN: FGLGGH.

REFERENCES

1. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal Railways. In: *Proceedings of the 14th MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation*. 22–26 October 2019, Marmaris. Marmaris; 2019. Vol. 2. p. 841–852. EDN: JWHEBE.

2. Tlyavlina G.V. *Scientific Justification of the Regulatory Framework for The Design of Protection of Transport Structures from Hydrodynamic Effects of the Maritime Environment*. Moscow: Ekon-Inform, 2023. 173 p. (In Russ.). EDN: IMBNHK.
3. Powell E.J., Tyrrell M.C., Milliken A., Tirpak J.M., Staudinger M.D. A Review of Coastal Management Approaches to Support the Integration of Ecological and Human Community Planning for Climate Change. *Journal of Coastal Conservation*. 2019;23(1):1-18. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0632-y>.
4. Rangel-Buitrago N., Neal W.J., De Jonge V.N. Risk Assessment as Tool for Coastal Erosion Management. *Ocean and Coastal Management*. 2020;186:105088-105099. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105099>.
5. Tlyavlina G.V. Laboratory and Field Studies to Ensure the Regulatory Framework Development and The Transport Facilities' Safety in The Wave Effect Conditions. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2022;9(4):1-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.15862/10SATS422>. EDN: JVREME.
6. Stokes K., Poate T., Masselink G., King E., Saulter A., Ely N. Forecasting Coastal Overtopping at Engineered and Naturally Defended Coastlines. *Coastal Engineering*. 2021;164:1-17. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103827>.
7. Sancho F. Evaluation of Coastal Protection Strategies at Costa da Caparica (Portugal): Nourishments and Structural Interventions. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023;11(6):1-23. <https://doi.org/10.3390/jmse11061159>.
8. Saengsupavanich Ch. Flaws in Coastal Erosion Vulnerability Assessment: Physical and Geomorphological Parameters. *Arabian Journal of Geosciences*. 2021;15(57). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09368-2>.
9. Shelushinin Yu.A., Petrov V.A. Monitoring The Condition of Beaches at The Black Sea Coast of Krasnodar Region. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring*. 2019;4:181-185. (In Russ.). <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2019-2-4-181-185>. EDN: NRDFML.
10. Petrov V.A. *Wave Dampening Pebble Beaches*. Moscow: Ekon-Inform, 2021. 295 p. (In Russ.). EDN: NSTOJW.
11. Petrov V.A., Yaroslavtsev N.A. Runoff of Carried River Sediments at The Black Sea Coast, Krasnodar Region. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2021;3:19-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780921030073>. EDN: SEKVOT.
12. Shelushinin Yu.A., Petrov V.A. Dynamics of Beaches of the Black Sea Coast of Russia Over The 1956–2018. In: *Zakonovernosti formirovaniya i vozdeistviya morskikh, atmosferykh opasnykh yavlenii i katastrof na pribrezhnyuyu zonu RF v usloviyakh global'nykh klimaticheskikh i industrial'nykh vyzovov («Opasnye yavleniya»): materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Patterns of Formation and Impact of Marine, Atmospheric Hazardous Phenomena and Disasters on The Coastal Zone of The Russian Federation in The Context of Global Climatic and Industrial Challenges ("Hazardous Phenomena"): Materials of The International Scientific Conference*. 13–23 June 2019, Rostov-on-Don. Rostov-on-Don; 2019. p. 217–221. (In Russ.). EDN: WTBAEQ.
13. Petrov V.A., Yaroslavtsev N.A. Evaluation of Longshore Transport of Sediments in Lithodynamic Systems (By The Example of the Coast Section Between Tuapse and Adler). *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2020;4:60-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780920040074>. EDN: XZJJYA.
14. Lira-Loarca A., Cáceres-Euse A., De-Leo F., Besio G. Wave Modeling with Unstructured Mesh for Hindcast, Forecast and Wave Hazard Applications in The Mediterranean Sea. *Applied Ocean Research*. 2022;122:103110-103118. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103118>.
15. De Finis S., Romano A., Bellotti G. Numerical and Laboratory Analysis of Post-Overtopping Wave Impacts On a Storm Wall for A Dike-Promenade Structure. *Coastal Engineering*. 2020;155:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103598>.
16. Weiqiu Chen, Marconi A., van Gent M.R.A., Warmink J.J., Hulscher S.J.M.H. Experimental Study on the Influence of Berms and Roughness on Wave Overtopping at Rock-Armoured Dikes. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020;8(6):1-21. <https://doi.org/10.3390/jmse8060446>.
17. Finagenov O.M., Shtilman V.B., Shulman S.G., Yudelevich A.M. Development of Methods for Assessing the Reliability of Hydraulic Structures. *Izvestiya Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva*. 2021;300:7-20. (In Russ.). EDN: IANMJK.
18. Sednev V.A. Assessment of Factors That Affect the Organization Protection of the Population in Areas of Possible Catastrophic Flooding. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsii*. 2021;1:73-82. (In Russ.). <https://doi.org/10.36535/0869-4176-2021-01-10>. EDN: RLTOA.
19. Qin Chen, Lixia Wang, Haihong Zhao, Douglass S.L. Prediction of Storm Surges and Wind Waves on Coastal Highways in Hurricane-Prone Areas. *Journal of Coastal Research*. 2007;95(5):1304-1317. <https://doi.org/10.2112/05-0465.1>.
20. Tlyavlin R.M. Assessment of The Technical Condition of Wave Canceling Structures for Engineering Protection of Roadbeds from Wave Exposure. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2020;17(2):198-

209. (In Russ.). <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2020-2-198-209>. EDN: TWPLCB.
21. Leont'yev I.O. Artificial Beach as A Structure for Protecting a Seacoast from Storm Surge Impact (Based On the Example of the Eastern Gulf of Finland). *Oceanology*. 2019;59(2):267-275. <https://doi.org/10.1134/S0001437019020115>.
22. Divinsky B.V., Kosyan R.D. Bottom Sediment Suspension under Irregular Surface Wave Conditions. *Oceanology*. 2019;59(4):482-490. <https://doi.org/10.1134/S0001437019040039>.
23. Süme V. Shoreline Changes in Three Groin Fields On the Eastern Black Sea Coast. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2018;27(1):125-131.
24. Kantarzi I.G., Leont'ev I.O., Kuprin A.V. Analytical Studies of the Dynamics of Pocket Beach. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2023;16(3):93-105. (In Russ.). [https://doi.org/10.59887/2073-6673.2023.16\(3\)-7](https://doi.org/10.59887/2073-6673.2023.16(3)-7). EDN: SPDWAI.
25. Dolgoplova E.N. Mechanism for Sediment Transport at Tidal Estuaries Under Bore Formation. In: *Processes in GeoMedia. Springer Geology*. Springer: Cham, 2020. Vol. 1. p. 231–241. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38177-6_25.
26. Fomin V.V., Goryachkin Yu.N. Accounting for the Local Wave and Morphodynamic Processes in Coastal Hydraulic Engineering. *Physical Oceanography*. 2022;29(3):271-290. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2022-3-271-290>. EDN: WKTMOV.
27. Mathew R., Winterwerp J.C. Sediment Dynamics and Transport Regimes in A Narrow Microtidal Estuary. *Ocean Dynamics*. 2020;70(4):435-462. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01345-9>.
28. Tlyavina G.V., Vyalyi, E.A. The Use of Natural Stone in Marine Hydraulic Engineering Construction. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*. 2022;2:53-69. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2022-2-53-69>. EDN: AEFXHI.
29. Osipova O.S. Analysis and Assessment of the Risk of Hydrodynamic Accidents. In: *Biotehnologii i bezopasnost' v tekhnosfere: sbornik materialov II Natsional'noi nauchnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh = Biotechnology and Safety in The Technosphere: Collection of Materials of The II National Scientific Conference of Students and Young Scientists*. 02–03 March 2022, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2022. Vol. 2. p. 33–36. (In Russ.). EDN: KNZWKW.
30. Savushkin S.A., Iskorostinsky A.I., Lemiashkova A.V. Climate Causes of Railway Accidents. *ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii*. 2023;2(21):19-24. (In Russ.). <https://doi.org/10.47501/ITNOU.2023.2.19-24>. EDN: FGLGGH.

Информация об авторах

Тлявлиная Галина Вячеславовна,
к.т.н., заведующий лабораторией
моделирования, расчетов и нормирования
в гидротехническом строительстве
ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега»»,
354002, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1,
Россия,
докторант кафедры мосты и тоннели,
Российский университет
транспорта (МИИТ),
127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, ст. 9,
Россия,
✉e-mail: TlyavlinaGV@Tsnis.com
<https://orcid.org/0000-0003-4083-9014>
Author ID: 604630

Тлявлин Роман Маратович,
к.т.н., заместитель генерального директора
АО ЦНИИТС, руководитель ОП АО ЦНИИТС
«НИЦ «Морские берега»»,
354002, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1,
Россия,
e-mail: TlyavlinRM@Tsnis.com
<https://orcid.org/0000-0002-8648-0492>
Author ID: 123325

Information about the authors

Galina V. Tlyavlina,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory
of Modeling, Calculations and Standardization
in Hydraulic Engineering, Joint Stock Company
«Central Research institute of Transport
Construction», R&D Centre «Morskoe berega»,
1, Yana Fabritciusa St., Sochi 354002, Russia,
Doctoral Student of the Department of Bridges
and Tunnels,
Russian University of Transport (MIIT),
9 building, 9 Obrastsova St., Moscow 127994,
Russia,
✉e-mail: TlyavlinaGV@Tsnis.com
<https://orcid.org/0000-0003-4083-9014>
Author ID: 604630

Roman M. Tlyavlin,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the R&D Centre
«Morskoe berega», Joint Stock Company
«Central research institute of Transport
Construction»,
1, Yana Fabritciusa St., Sochi 354002, Russia,
e-mail: TlyavlinRM@Tsnis.com
<https://orcid.org/0000-0002-8648-0492>
Author ID: 123325

Ашпиз Евгений Самуилович,

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
путь и путевое хозяйство,
Российский университет транспорта (МИИТ),
127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, ст. 9,
Россия,
e-mail: geonika@inbox.ru
Author ID: 169354

Evgenij S. Ashpiz,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department
Railway Track and Facilities,
Russian University of Transport (MIIT)
9, B. 9 Obratsova St., Moscow 127994,
Russia,
e-mail: geonika@inbox.ru
Author ID: 169354

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 24.06.2024.
Одобрена после рецензирования 10.07.2024.
Принята к публикации 12.07.2024.

Information about the article

The article was submitted 24.06.2024.
Approved after reviewing 10.07.2024.
Accepted for publication 12.07.2024.



Вычисление радиуса влияния с заданной погрешностью при неустановившемся режиме фильтрации

К.Л. Уткин¹, О.Н. Уткина²✉

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский Гуманитарный университет профсоюзов, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Неустановившийся режим фильтрации приводит к повышенной нагрузке на дренажные системы, что в некоторых случаях может привести к нарушению нормальных условий эксплуатации сооружений. В научной и учебно-методической литературе его изучению уделяется недостаточно внимания. Различные методики, используемые для расчета основного параметра неустановившегося режима – радиуса влияния депрессионной воронки, не всегда ведут к одинаковым значениям, а также не позволяют определить погрешность выполненных расчетов. Систематизированный обзор научной, нормативной и учебной литературы по расчету параметра неустановившегося режима фильтрации был выполнен с применением общенаучных методов анализа и синтеза, а также методов математического анализа. Результаты проведенного исследования показали, что глобально сложились два теоретических подхода для определения радиуса влияния, но ни один из них не учитывает погрешности производимых вычислений. В статье авторами приводится математическое обоснование вычисления радиуса влияния с заданной погрешностью с применением информационных технологий.

Ключевые слова: дренаж, неустановившийся режим, депрессионная воронка, радиус влияния, погрешность, электронные таблицы

Для цитирования: Уткин К.Л., Уткина О.Н. Вычисление радиуса влияния с заданной погрешностью при неустановившемся режиме фильтрации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 592–607. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-592-607>. EDN: ORSZLV.

Original article

Calculation of the radius of influence with a specified error at transient filtration mode

Kirill L. Utkin¹, Oksana N. Utkina²✉

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

²St. Petersburg University of Humanities and Social Sciences, St. Petersburg, Russia

Abstract: A transient filtration mode leads to an increased load on drainage systems and can potentially violate the normal operating conditions of structures. The mode is yet to be investigated in science and methodology. Various methodologies used for calculating the key parameter of the transient filtration mode – the radius of influence of the depression cone – often fail to obtain the same values and to provide a means to determine the error in the calculations performed. A systematic review of scientific, regulatory and educational literature on the calculation of parameters in the transient filtration mode was carried out using general analysis and synthesis, as well as mathematical analysis. The results of the study described two main theoretical approaches for determining the radius of influence; however, neither of them takes into account the errors in the calculations performed. The authors of the present paper provide a mathematical justification for calculating the radius of influence with a specified error using information technologies.

Keywords: drainage, unsteady mode, unsteady mode parameters, depression funnel, radius of influence, inaccuracy, spreadsheets

For citation: Utkin K.L., Utkina O.N. Calculation of the radius of influence with a specified error at transient filtration mode. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):592-607. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-592-607>. EDN: ORSZLV.

ВВЕДЕНИЕ

Роль дренажной системы для общества трудно переоценить. Значимость правильно организованного дренажа актуальна для любой инфраструктуры, особенно в условиях сильных осадков, т. е. в условиях неустойчивого режима фильтрации. В качестве примера можно привести нередко встречающиеся подтопление футбольных полей¹, метро² и проч. Справиться с повышенным количеством жидкости удастся с помощью дренажной системы и ручного труда работников инфраструктуры. Для современных исследователей актуальны темы оценки баланса подземных вод [1–3], подтопления фундамента устаревшего фонда зданий культурного назначения [4, 5], градостроительства на неудобных территориях Российской Федерации [6–9]. В работе [10] автор указывает на необходимость включения в реестр недвижимости информации о зонах затопления и подтопления, а также применения защитных мер для предотвращения негативного воздействия воды на эти территории. По мнению автора [11], для усиления защитных мер от подтопления объектов строительства может выступать корректировка методики расчета ущерба от деградации почв и земель.

В работах [12,13] также отмечается потребность совершенствования нормативной базы в области инженерной защиты от затопления и подтопления зданий и сооружений. Следовательно, несмотря на достаточно большое количество современных научных работ в области проведения дренажных работ на затопляемых и подтопляемых территориях авторами отмечается необходимость дальнейших исследований как прикладного, так и фундаментального характера. Больше внимания в научных работах, учебной литературе и нормативной документации уделяется изучению установившегося (стационарного и квазистационарного) ре-

жима, в противовес неустойчивому режиму. Поискам решения задач неустойчивой фильтрации занимались Жозеф Валантен Буссинеск, Николай Николаевич Веригин, Николай Егорович Жуковский, Евгений Ефимович Керкис, Иван Павлович Кусакин, Пелагея Яковлевна Полубаринова-Кочина и др. Среди современных работ можно указать исследования Сали Нафасовича Бабакаева, Файзиева Хомитхона, Дениса Сергеевича Джафарова, Ольги Владимировны Дударевой и др. [14–16]³. Иван Павлович Кусакин совершенно справедливо отмечал, что «...следует измерять положение уровня грунтов вод тогда, когда это положение является наивысшим» [18], т. е. требуется учет и дополнительное изучение параметров дренажных систем при неустойчивом режиме фильтрации. Основным из таких параметров является радиус влияния депрессионной воронки.

Для расчета неустойчивого радиуса влияния депрессионной воронки существует множество методик, которые при одинаковых исходных данных не всегда ведут к одинаковым значениям. Опытные данные и применение аналитических расчетов зачастую дают не только различные значения, но и не позволяют определить погрешность выполненных расчетов, «...служат лишь для оценок в первом приближении» [14]. Связано это со сложностью проектируемых дренажных систем и неоднородностью структуры водоносных пластов.

Цель исследования заключается в выявлении возможности вычисления радиуса влияния депрессионной воронки в условиях неустойчивого режима фильтрации с заданной погрешностью.

Объектом исследования является вычисление параметров неустойчивого режима фильтрации. Предмет исследования – вычисление радиуса влияния депрессионной воронки при неустойчивом режиме филь-

¹Коптева К. Затопило футбольное поле // IvanovoNews. 2019. Режим доступа: <https://www.ivanovonews.ru/reports/1266140> (дата обращения: 24.12.2023).

²Качан А. Станцию московского метро затопил дождь // Lenta.ru. 2023. Режим доступа: <https://lenta.ru/news/2023/07/26/zator> (дата обращения: 24.12.2023).

³Джафаров Д.С. Математическое моделирование диссоциации газогидратов в приложении к интерпретации исследований скважин газогидратных месторождений на нестационарных режимах фильтрации: диссертация ... к.т.н.: 18.11.2015. М., 2015. 120 с.

трации с заданной погрешностью. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи исследования:

- изучена научная, нормативная и учебная литература по предметной области;
- в хронологическом порядке проанализированы формулы и способы для определения радиуса депрессии;
- проанализированы условия применения указанных формул;
- выполнена сравнительная характеристика;
- предложен способ вычисления радиуса влияния с заданной точностью с использованием современных информационных технологий и с помощью теории математического анализа.

МЕТОДЫ

В работе применялся метод систематизированного обзора источников. В качестве информационной базы исследования выступают научная, нормативная и учебная литература,

статьи, включенные в наукометрическую базу Российского индекса научного цитирования, по расчету параметров неустановившегося режима фильтрации. При выполнении обзора использовали общенаучные методы анализа и синтеза. Для представления и структурирования результатов исследования был привлечен математический аппарат.

Исследование основано на принципах объективности и системности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обратимся к официальной литературе и проследим в относительно хронологическом порядке предлагаемые подходы для вычисления радиуса депрессии водопонижительной системы при неустановившемся режиме фильтрации. Выполненный анализ показал, что помимо опытного способа определения радиуса влияния, глобально сложились два теоретических – как зависимости $R = R(r_c, a, t)$ и $R = R(r_c, E_i(r_c, a, t))$ с помощью интегральной показательной функции (таб. 1).

Таблица 1. Формулы определения радиуса депрессии при неустановившемся режиме фильтрации водопонижительной системы

Table 1. Formulae for determining the radius of influence in the unsteady filtration mode of the dewatering system

Год	Формула	Номер формулы	Ограничения, примечание	Источник
1935	$R_t = 47 \sqrt{\frac{6HkT}{p}}$	(1)	Для сравнительно малых T , без инфильтрации, безнапорные (Кусакин И.П., С. 114)	Кусакин И.П. [18]
	$R_t = 60 \sqrt{\frac{6HkT}{p}}$	(2)	Для сравнительно малых T , без инфильтрации, безнапорные (Шульце И., С. 114)	
	$R_t = 74 \sqrt{\frac{6HkT}{p}}$	(3)	Для сравнительно малых T , без инфильтрации, безнапорные (Вебер М., С. 114)	
	$R_t = \sqrt{\frac{12t}{p}} \sqrt{\frac{qk}{\pi}}$	(4)	(Kozeny J., С. 117)	
	$R_t = 575 s \sqrt{Hk}$	(5)	Ненапорный мелкозернистый грунт (Кусакин И.П., С. 202)	
1960	$R_t = 47 \sqrt{\frac{6kHT}{\mu}}$	(6)	(Кусакин И.П., С. 125)	Абрамов С.К. [19]
	$R_t = \sqrt{3 \frac{k}{\mu} h_a t}$	(7)	Для линейных дренажных систем (Лембке К.Э., С. 135)	
	$E_i \approx Ln \frac{2,25at}{r^2}$	(8)	(Бочеввер Ф.М., С. 149)	
1960	$R_{\infty} = \alpha \sqrt{\frac{kdH}{k_*}}$	(9)	Для предельного значения радиуса влияния (С. 614)	Полубаринова-Кочина П.Я. [19]

Продолжение табл. 1

Год	Формула	Номер формулы	Ограничения, примечание	Источник
1962	(1), (2), (3), (5)		Перечислены формулы радиуса влияния Кусакина И.П., Вебера М., Шульце И. (С. 125)	Справочник гидрогеолога
	$R_t = 2 \sqrt{\frac{HKt}{\mu}}$	(10)		
	$R_t = \sqrt{3 \frac{K}{\mu} H_s t}$	(11)	Линейные дренажные системы (Лембеке К.Э., С. 563)	
	$R_t = 2 \sqrt{\frac{KHt}{\mu}}$	(12)	Для контурных дренажных систем (Кусакин И.П., С. 563)	
1962	$R = 1,5\sqrt{at}$	(13)	Неподвижный контур (Веригин Н.Н., С. 21)	Методические рекомендации ⁴
1963	$R(t) \approx 2\sqrt{at}$	–	Если радиус депрессии $R(t)$ много больше r_c (С. 284)	Чарный И.А. [20]
	$E_i \approx \ln \frac{2,25at}{r^2}$	–	При малых значениях (С. 268, 297)	
1963	$E_i \approx \ln \frac{2,25at}{r^2}$	–	Для $\frac{r^2}{4at} < 0,1$ (С. 10)	Бочеввер Ф.М. [21]
1965	$E_i \approx \ln \frac{2,25at}{r^2}$	–	Для $\frac{r^2}{4at} < 0,05 \div 0,1$ (С. 95)	Бочеввер Ф.М. Гармонов И.В. [22]
1968	$R = r_0 + 1,5\sqrt{at}$	(14)	Без питания, формула справедлива до момента времени, когда депрессия достигает естественных границ питания или стока водоносного горизонта (С. 101)	Абрамов С.К., Скиргелло О. Б. [23]
	$R = 1,73 \sqrt{\frac{kHt}{\mu}}$	(15)	Длинные горные выработки или линейные системы, отсутствие инфильтрации (С. 102)	
	$R = H \sqrt{\frac{k}{2\omega} (1 - e^{\frac{6\omega t}{\mu H}})}$	(16)	Длинные горные выработки или линейные системы, наличие инфильтрации (С. 102)	
1970	$R_n = 1,5\sqrt{at}$	(17)	(С. 42)	Биндеман Н.Н., Язвин Л.С. [24]
1972	$R_t = \sqrt{3 \frac{k}{\mu} H t}$	(18)	Для линейных дренажных систем (Лембеке К.Э., С. 60 ссылка [21])	ВСН 045-72 ⁵
	$R_t = 2 \sqrt{\frac{kHt}{\mu}}$	(19)	Для контурных дренажных систем (Кусакин И.П., С. 60)	
	$R_t = r_0 + 1,5 \sqrt{\frac{kHt}{\mu}}$	(20)	Более точная формула для контурных дренажных систем, (С. 60 [23])	

⁴Докукин А.В. Методические рекомендации по изучению условий формирования и прогнозированию притоков воды в очистные выработки при выемке угольных пластов лавами по падению. М.: Институт горного дела им. А.А. Скочинского, 1981. 46 с.

⁵Ведомственные строительные нормы. Указания по проектированию дренажа подземных гидротехнических сооружений. Указания № 2 ВСН 045-72. МЭиЭ СССР. Гидротехнические сооружения. 114 с.

Продолжение табл. 1

Год	Формула	Номер формулы	Ограничения, примечание	Источник
1974	$R = \sqrt{12at}$	(21)	Неограниченный изолированный однородный горизонт (С. 43)	Методические указания
	$E_i \approx \text{Ln} \frac{2,25at}{r^2}$	–	Для $r < 0,6\sqrt{at}$ (С. 20)	
1975	$E_i \approx \text{Ln} \frac{2,25at}{r^2}$	–	«При достаточно малых значениях аргумента» (С. 112)	Керкис Е.Е. [25]
1978	$R_{\pi} = 1,5 \frac{r_0}{r_0'} \sqrt{at}$	(22)	Приведенный радиус влияния Неограниченный однослойный (С. 27)	Надарейшвили А.В. [26]
	$E_i \approx \text{Ln} \frac{2,25at}{r^2}$	–	При достаточно малых значениях аргумента (С. 8)	
1979	$R = r_k + \sqrt{\alpha at}$	(23)	Неограниченный пласт (С. 348)	Справочное руководство гидрогеолога ⁶
1985	$R = r + 1,7\sqrt{a_{lc}t},$ $a_{lc} = \frac{kh}{\mu_{lc}}$	(24)	Безнапорная фильтрация (С. 439)	Основания, фундаменты и подземные сооружения [27]
	$R = r + 1,5\sqrt{a_{pc}t},$ $a_{pc} = \frac{kh}{\mu_{pc}}$	(25)	Напорная фильтрация (С. 439)	
	$E_i \approx \text{Ln} \frac{2,25at}{r^2}$	–	Для $\frac{r^2}{4at} < 0,1$ (С. 443)	
	Значения для интегральной показательной функции приведены в таблице	–	Для $0 < \frac{r^2}{4at} < 15,0$ (С. 443)	
1986	$R = p\sqrt{at}$	(26)	(С. 6)	ПНИИИС Госстроя СССР ⁷
1990	$R_{\omega} = r_{\omega} + 1,7\sqrt{\frac{k_{\varphi}(H_{\omega} - \frac{S_{\omega}}{2})t}{\mu}}$	(27)	Для непродолжительного начального периода при безнапорной фильтрации (с. 119)	Костерин Э.В.
1991	$r_d = r + 2\sqrt{a_{lc}t},$ $a_{lc} = \frac{kh}{\mu_g}$	(28)	Безнапорная фильтрация (С. 196)	Пособие по проектированию
	$r_d = r + 1,5\sqrt{a_{pc}t},$ $a_{pc} = \frac{kh}{\mu_e}$	(29)	Напорная фильтрация (С. 196)	
	$E_i \approx \text{Ln} \frac{2,25at}{r^2}$	–	Для $\frac{r^2}{4at} < 0,1$ (С. 199)	
	Значения для интегральной показательной функции приведены в таблице	–	Для $0 < \frac{r^2}{4at} < 5,0$ (С. 198–199)	

⁶Максимов В.М., Бабушкин В.Д., Веригин Н.Н. и др. Справочное руководство гидрогеолога. Т. 1. Л.: Недра, 1979. 512 с.

⁷Рекомендации по выбору гидрогеологических параметров для обоснования способа дренирования подтопленных городских территорий/ ПНИИИС Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1986. 56 с.

Окончание табл. 1

Год	Формула	Номер формулы	Ограничения, примечание	Источник
2009	$R_t = 1,5\sqrt{at}$	(30)	При безнапорной и напорной фильтрации (С. 241)	Гальперин А.М.
	$R_t = 1,73\sqrt{at}$	(31)	Одиночные горные выработки (С. 339)	
	Значения для водопритоков приведены в таблице	–	Определение водопритоков при прорывах подземных вод (С. 355)	
2009	–	–	–	РМД50-06-2009
2012	$r_d = r + 1,5\sqrt{at}$, где «значение величины а» $a_{lc} = \frac{kh}{\mu_g}$, $a_{pc} = \frac{kh}{\mu_e}$	(32)	Для начального периода не установившегося режима (депрессия не достигает области питания) (С. 43)	СП 103.13330.2012
	Значения для интегральной показательной функции приведены в таблице	–	Для $0 < \frac{r^2}{4at} < 8,0$ (С. 46)	

Примечание:

Обозначения:

R_t, r_d, r – радиус влияния;

a, a_{lc}, a_{pc} – коэффициент уровне- или пьезопроводности;

t – время откачки воды;

r_c – радиус скважины;

r_o – расчетный радиус скважины;

Q – величина изменения дебита скважины;

T – водопроницаемость;

μ – коэффициент гравитационной водоотдачи грунта;

E_i – символ интегральной показательной функции.

Рассмотрим первую зависимость $R = R(r_c, a, t)$. В 1935 г. Иван Павлович Кусакин в своей работе [17] предлагает математическую формулу (1) для определения «...расстояния от центра колодца до тех удаленных точек местности, где пониженный уровень грунтовой воды почти сливается с непониженным» [17]. Он доказывает, что еще три формулы (2)–(4) «...совершенно аналогичны» [17] предложенной автором «...для сравнительно малых численных значений T или абсолютной засухе» [17]. Он также отмечает, что определить радиус действия R водопонижительной системы можно только условно. Доказательным путем ученый предложил в дальнейшем использовать формулу (5), которую вывел «...на основании результатов понижений уровня ненапорных грунтовых вод» [17].

Следует отметить, что при дальнейших научных изысканиях по описанию конструкций и систем подземных дренажей разработчики зачастую применяют формулу (1). Так, например, Сергей Козмич Абрамов для вычисления «радиуса депрессии» [18] неустановившегося

движения подземных вод предлагает использовать формулу (1), но при этом вносит в нее изменения. Первоначально, в (1) в знаменателе присутствовало значение « ρ – активная пористость грунта» [17], а в (6) он заменяет его на табличный коэффициент « μ – коэффициент водоотдачи дренируемых грунтов» [18].

Для линейных дренажных систем ученый предлагает применять формулу Константина Эдуардовича Лембке (7) для приблизительного вычисления радиуса зоны осушения [18].

В «Справочнике гидрогеолога» за 1962 г. для вычисления радиуса влияния представлено множество формул. Все они даны справочно и без каких-либо ограничений по применению. Предлагается в качестве расчетных формул использовать формулы (11) Константина Эдуардовича Лембке для линейных и (12) Ивана Павловича Кусакина для контурных дренажных систем.

Следует отметить неточность в описании формул, представленных в справочнике. Для формул (7) и (6) даны следующие описания переменных h_a и H соответственно:

- h_a – средняя мощность осушаемой зоны, считая над пониженным уровнем воды;
- H – высота (или напор) непониженного уровня подземных вод в [18].

Тогда как для аналогичных формул (11) и (12) дано пояснение: « H_s и H – мощности дренируемого водоносного пласта»⁸.

В 1968 г. Сергей Козмич Абрамов в соавторстве с Ольгердом Болеславовичем Скиргелло предлагают уже другую формулу (14) для вычисления неустановившегося радиуса депрессии при работе дренажа в водоносном пласте, не получающем питания в пределах депрессионной воронки.

Ссылки на авторов формулы в работе не дается, но приводятся промежуточные расчеты. Смеем предположить, что разработчиками формулы (14) являются указанные авторы [23]. Здесь же приводятся формулы для вычисления радиуса депрессии длинных горных выработок или линейных систем при отсутствии (15) и наличии (16) инфильтрации.

Николай Николаевич Биндеман и Леонид Семенович Язвин в 1970 г., ссылаясь на исследования Владимира Николаевича Щелкачева, пришли к выводу, что приведенный радиус влияния скважины рассчитывается по формуле (17), где «...если воды безнапорные, то в формулу вместо величины коэффициента пьезопроводности следует поставить величину коэффициента уровнепроводности» [24].

Таким образом, формулу (17) можно рассматривать как частный случай формулы (14). В дальнейшем эта же формула (17) приводится в нормативной документации со ссылкой на Николая Николаевича Веригина [28].

В ВСН 045-72 1972 г. «...радиус депрессии безнапорных пластов при отсутствии инфильтрации» предлагается «...грубо приближенно определить» по уже известным формулам для линейных дренажных систем и для контурных дренажных систем.

Несмотря на то, что разработчики ВСН 045-72 указывают в качестве первоисточников «Справочник гидрогеолога» для (18), наблюдаем внесение изменений. Так, теперь параметр H описывается как «средняя мощность, м, дренируемого водоносного пласта в начальный момент времени», тогда как изначально это была «мощность дренируемого водоносного пласта». Кроме того, заявленная формула (20) не является точным оригиналом формулы

(14) из [23], на которую ссылаются разработчики, она представляет ее модификацию. Для неограниченного изолированного однородного горизонта с целью «предварительной оценки» радиуса предлагают воспользоваться частной формулой (21) «...учитывая, что в момент времени t здесь располагается 99 % общего объема депрессионной воронки»⁹.

Очевидно, что ученые стремились вывести обобщенную формулу для водоносного пласта произвольной формы. Еще в 1960 г. Пелагея Яковлевна Полубаринова-Кочина [20] предложила формулу (9) для предельного значения радиуса влияния. А в 1978 г. Анатолий Варламович Надарейшвили доказал, что в общем случае приведенный радиус влияния реальных скважин должен определяться по формуле (22), а формула (17) является лишь ее частным случаем [26].

В 1979 г. авторами «Справочного руководства гидрогеолога» была описана еще более общая формула (23) для неустановившегося движения в неограниченном пласте.

В 1985 г. авторы [27] предлагают разные формулы вычисления радиуса депрессии при безнапорной (24) и напорной (25) фильтрациях. Они схожи и различаются лишь прикорневыми коэффициентами и подкорневыми сомножителями – уровне- и пьезопроводностью.

Ссылки на авторов формул в работе не дается. В списке литературы указаны три источника, в которых указанные формулы не встречаются. Смеем предположить, что разработчиками формул (24) и (25) являются авторы [27].

Через год в ПНИИИС Госстроя СССР предлагается обобщенная версия частного случая формулы (17) для вычисления радиуса депрессии дренажа при неустановившемся режиме фильтрации (26), где параметр p – это коэффициент, который является табличной величиной и определяется зависимостью $p(\frac{r_0^2}{4at})$. Что подразумевается под параметром r_0 в документе не указано.

Изучение особенностей неустановившегося режима фильтрации продолжил Энгельс Витальевич Костерин.

Радиус депрессии при безнапорной фильтрации он предлагает вычислять по формуле (27).

Представленная формула подобна (24), в которой вместо уровнепроводности и толщины

⁸Альтовский М.Е. Справочник гидрогеолога. М. Госгеолтехиздат, 1962. 623 с.

⁹Методические указания по определению гидрогеологических параметров при разведке и освоении угольных месторождений. Л.: ВНИМИ, 1974. 140 с.

водоносного слоя подставлены соответствующие значения¹⁰.

Вслед за [27] в 1991 г. в «Пособии по проектированию» публикуются две формулы вычисления радиуса депрессии для начального периода неустановившегося режима при безнапорной и напорной фильтрации. Для напорной фильтрации формула (29) абсолютно идентичная формуле (25) [27]. Для безнапорной фильтрации формулы (28) и (24) отличаются только прикорневым коэффициентом: вместо 1,7 разработчики «Пособия по проектированию», без математических пояснений, приводят коэффициент 2¹¹.

В учебнике для вузов «Гидрогеология» за 2009 г., авторами которого являются Анатолий Моисеевич Гальперин, Вадим Станиславович Зайцев, Геннадий Николаевич Харитоненко и Юлий Александрович Норнатов, вычисления радиуса влияния при безнапорной и напорной фильтрации вновь сводятся к одной формуле (30), а также приводится формула (31) определения радиуса влияния горной выработки в водоносных породах.

Ссылок на авторов формул, кроме общего списка литературы, нет¹².

В региональном методическом документе «Дренажи в проектировании зданий и сооружений» РМД 50-06-2009 информации о характеристиках и способах вычислений параметров для неустановившегося режима фильтрации не содержится¹³.

В СП 103.13330.2012 от 2012 г. представлена только одна формула (32) вычисления радиуса депрессии для начального периода неустановившегося режима, при этом переменная a сформулирована как «...обобщенный знак, обозначающий при пользовании формулами, в которые он входит: при напорной фильтрации a_{pc} – пьезопроводность, при безнапорной фильтрации a_{ic} – уровнепроводность». Ссылок на авторов формул не приводится. Никаких дополнительных ограничений к формуле к водоносным пластам или дренажным системам не указано¹⁴.

Таким образом, авторами представленных работ предлагаются разные варианты формулы для вычисления радиуса влияния депрессионной воронки при неустановившемся режиме фильтрации водопонижительной системы. Обобщенно, она может быть представлена как $R = r + b\sqrt{at}$, где b – числовой коэффициент.

Отметим, что сами ученые указывают, что формулы пригодны к использованию для сравнительно малых численных значений времени понижения, для очень приближенного или грубого приближения вычисления радиуса влияния, с целью предварительной оценки радиуса. Сведений о величине погрешности вычислений в научных работах и справочной литературе нет.

Рассмотрим вторую зависимость $R=R(r_c, E_i(r_c, a, t))$, где $E_i(u)$ – интегральная показательная функция.

В логарифмической зависимости, позволяющей определить радиус влияния,

$$\ln \frac{R}{r_c} = -\frac{1}{2} E_i \left(-\frac{r^2}{4at} \right), \quad (33)$$

особый интерес представляет решение интегральной показательной функции, предлагаемое разными авторами.

Большинство ученых решением интегральной показательной функции рассматривают функцию натурального логарифма $\ln(r, a, t)$. Формулу (8) без математических доказательств встречаем в 1960 г. у Сергея Козмича Абрамова [18] со ссылкой на Файбиша Минаевича Бочевера.

Исаак Абрамович Чарный в 1963 г. в качестве ограничений для (8) указывает, что данная формула применима лишь при малых значениях, но при каких именно не уточняет [20].

Уточнения дают Файбиш Минаевич Бочев и Иван Владимирович Гармонов. В работе [21] задано ограничение $\frac{r^2}{4at} < 0,1$, а уже в 1965 г. авторы [22] сужают промежуток до (0,05; 0,1).

Другой диапазон применения формулы приведен в «Методических указаниях».

¹⁰Костерин Э.В. Основания и фундаменты: учеб. для вузов по спец. «Строительство автомоб. дорог и аэродромов» и «Мосты и транспортные тоннели». М.: Высшая школа, 1990. 431 с.

¹¹Пособие по проектированию защиты горных выработок от подземных и поверхностных вод и водопонижения при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений (к СНиП 2.06.14-85 «Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод» и СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений», разд.18 «Проектирование водопонижения»)/ Фундаментпроект Госстроя СССР. М.:АПП ЦИТП Госстроя СССР, 1991. 248 с.

¹²Гальперин А.М., Зайцев В.С., Харитоненко Г.Н., Норнатов Ю.А. Геология. Часть III – Гидрогеология: учебник для вузов. М.: Горная книга, 2009. 400 с.

¹³РМД 50-06-2009 Санкт-Петербург. Дренажи в проектировании зданий и сооружений. СПб.: Правительство Санкт-Петербурга, 2009.

¹⁴СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02- 2003. М.: Госкомстандарт, 2012. 62 с.

По мнению разработчиков формула (8) применима при выполнении неравенства $r < 0,6\sqrt{at}$, т. е. на промежутке $(0; 0,09)$. Следовательно, в справочной документации наблюдаем два способа определения решения интегральной показательной функции: по формуле (8) с ограничением для аргумента на промежутке $(0; 0,1)$ и по значениям, приведенными в табличном виде^{5,8}, для $\frac{r^2}{4at} > 0$ [27]. Отметим, что при малых значениях аргумента ($\frac{r^2}{4at} < 0,1$) после применения формулы (8) и формулы Дюпюи для понижения пьезометрического уровня радиус влияния депрессионной воронки будет вычисляться по формуле (17).

Выделим несколько несоответствий. В [18] в первом и во втором абзацах указано, что возможна ситуация, когда $\frac{r^2}{4at} \leq -0,01$.

Скорее всего, здесь закралась опечатка, поскольку ни один из сомножителей не может быть отрицательным, следовательно, частное не может быть меньше отрицательного числа.

Кроме того, в [18] приведена формула с измененной формулировкой – для «суммарного количества дренажных вод», со ссылкой на работу Исаака Абрамовича Чарного, в то время как в [20] эта формула определена для «суммарного расхода жидкости», что является более логичным. В справочных документах и научных работах значения интегральной показательной функции в табличном виде приводятся для аргументов больше 0,1. Выполненный анализ табличных данных показал, что далеко не всегда учитывается количество значащих цифр решения функции, что не позволяет сделать вывод о погрешности производимых вычислений [27]. В работе [29] неправильно указаны аргументы для приведенных значений функции – даны значения для аргументов 2,0; 3,0; 4,0; 5,0, а не 1,2; 1,3; 1,4; 1,5, как указано в таблице. Использовать табличные данные не всегда удобно, какие-то аргументы могут отсутствовать, где-то встречаются опечатки и неточ-

ности, нет возможности для определения погрешности вычислений. Улучшить ситуацию можно за счет применения IT-технологий. Анатолий Варлаамович Надарейшвили в 1978 г. упоминает опыт использования электронных вычислительных машин для массовой обработки экспериментальных данных без трудоемких вычислительных операций [26]. Он также обращает внимание, что их применение позволяет сократить время на выполнение вычислений с обеспечением высокой точности результата. Повышение точности будет достигаться за счет уменьшения погрешности решения интегральной показательной функции как суммы определенного количества слагаемых:

$$-E_i(-\alpha) = \ln \frac{1}{\alpha} - 0.5772 + \alpha - \frac{\alpha^2}{2 \cdot 2!} + \frac{\alpha^3}{3 \cdot 3!} + \dots,$$

$$\text{где } \alpha = \frac{r^2}{4at}$$

Формула (8), получившая большую популярность, является суммой двух первых слагаемых интегральной показательной функции:

$$-E_i(-\alpha) = \ln \frac{1}{\alpha} - 0.5772 \approx \ln \frac{2,25at}{r^2}$$

$$\text{где } \alpha = \frac{r^2}{4at} \text{ при выполнении условия, что } \alpha < 0,1.$$

Упростить функцию до трех слагаемых предлагает Евгений Ефимович Керкис [30]:

$$E_i(-x) = 0,5772 + \ln x - x$$

Он указывает, что такой формулой «...можно пользоваться при значениях x настолько малых, что величинами x^2 можно пренебречь» [30], но и здесь не указана информация о погрешности получаемого решения. Анатолий Варлаамович Надарейшвили также приводит примеры вычисления функции как суммы первых четырех слагаемых и тоже без указания величины погрешности [26]. Понимание погрешности вычислений важно не только с позиции получения корректных данных, но и для осознания особенностей поведения функции, следовательно, и радиуса влияния с течением времени. В табл. 2 приведен пример изменения знака значений интегральной показательной функции при разных погрешностях вычислений.

Таблица 2. Значения интегральной показательной функции $-E_i(-\alpha)$ относительно нуля при разных погрешностях вычислений (изменение знака)

Table 2. Values of the integral exponent function $-E_i(-\alpha)$ relative to zero at different calculation inaccuracies (change of sign)

Погрешность вычисления	8	10	15
0,01	< 0	> 0	< 0
0,001	< 0	< 0	> 0
0,0001	< 0	< 0	> 0
0,00001	> 0	> 0	> 0

Возникает вопрос: сколько членов ряда необходимо и достаточно взять, чтобы обеспечить требуемую погрешность приближенного решения интегральной показательной функции? Конечно, при соблюдении количества значащих цифр у первых двух слагаемых функции.

Для начала проанализируем ряд $R_E(\alpha)$ на сходимость:

$$R_E(\alpha) = \alpha - \frac{\alpha^2}{2 \cdot 2!} + \frac{\alpha^3}{3 \cdot 3!} + \dots$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} \cdot \alpha^n}{n \cdot n!}, \text{ для } n$$

$$\in N \text{ и } \alpha = \frac{r^2}{4at}$$

Воспользуемся признаком Лейбница, который гласит, что если общий член знакопеременующегося ряда, монотонно убывая по модулю, стремится к нулю, то ряд сходится.

Доказательство:

1. Ряд является знакопеременующимся при $\alpha > 0$.

2. Проверим, убывают ли члены ряда монотонно по модулю. Составим разность:

$$|a_n| - |a_{n+1}| = \left| \frac{(-1)^n \alpha^n}{n \cdot n!} \right| - 1n + 1\alpha^{n+1}(n+1)$$

$$\cdot (n+1)! = \frac{\alpha^n}{n!} \left(\frac{1}{n} - \frac{\alpha}{(n+1)^2} \right) =$$

$$= \frac{\alpha^n}{n!} \cdot \frac{(n+1)^2 - \alpha \cdot n}{n \cdot (n+1)^2} > 0, \text{ для } n \in N.$$

$$(n+1)^2 > \alpha \cdot n, \quad (34)$$

$$\alpha < \frac{(n+1)^2}{n},$$

$$\text{для } n \in N \Rightarrow \alpha < \frac{(1+1)^2}{1} = 4$$

Таким образом, для $\alpha \in (0; 4)$ члены ряда монотонно убывают.

3. Найдем предел модуля общего члена ряда. Воспользуемся признаком д'Аламбера:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{a_{n+1}}{a_n} \right| = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{(-1)^{n+2} \cdot \alpha^{n+1}}{(n+1) \cdot (n+1)!} \right|$$

$$\cdot \frac{n \cdot n!}{(-1)^{n+1} \cdot \alpha^n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{\alpha \cdot n}{(n+1)^2} \right|$$

$$= \alpha \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{1}{2n+2} \right| = 0$$

Делаем вывод, что для любого $\alpha \in (0; 4)$ ряд сходится.

Предел n -го члена ряда стремится к нулю, а значит ряд $RE(\alpha)$ на $(0; 4)$ удовлетворяет

условиям Лейбница. Тогда погрешность, получаемая при замене суммы ряда его частичной суммой $Rep(\alpha)$, не будет превосходить по абсолютной величине первый отбрасываемый член ряда.

Оценим, к какому числу сходится ряд $RE(\alpha)$ для $\alpha \in (0; 4)$.

Продифференцируем ряд:

$$R'_E(\alpha) = \left(\alpha - \frac{\alpha^2}{2 \cdot 2!} + \frac{\alpha^3}{3 \cdot 3!} - \frac{\alpha^4}{4 \cdot 4!} + \frac{\alpha^5}{5 \cdot 5!} + \dots \right)'$$

$$= 1 - \frac{\alpha}{2!} + \frac{\alpha^2}{3!} - \frac{\alpha^3}{4!} + \frac{\alpha^4}{5!} + \dots =$$

$$= \frac{\left(-\alpha + \frac{\alpha^2}{2!} - \frac{\alpha^3}{3!} + \frac{\alpha^4}{4!} - \frac{\alpha^5}{5!} + \dots + \frac{(-\alpha)^n}{n!} + 1 \right) - 1}{e^{-\alpha} - 1} =$$

$$= \frac{e^{-\alpha} - 1}{-\alpha}.$$

Для нахождения суммы ряда выполним интегрирование:

$$R_E(\alpha) = \int_0^{\alpha} R'_E(\alpha) d\alpha = \int_0^{\alpha} \frac{e^{-\alpha} - 1}{-\alpha} d\alpha$$

$$= \lim_{m \rightarrow \alpha} \int_0^m \frac{e^{-\alpha} - 1}{-\alpha} d\alpha =$$

$$= \lim_{m \rightarrow \alpha} \left[- \int_0^m \left(\left(1 - \frac{\alpha}{m} \right)^m - 1 \right) \frac{d\alpha}{\alpha} \right]$$

$$= \lim_{m \rightarrow \alpha} \left[1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{m} \right]$$

То есть для $m \rightarrow \alpha$ и $\alpha \in (0; 4)$, сумма ряда $RE(\alpha) \rightarrow 2,08(3)$.

Тогда найденная сумма ряда при $\alpha \rightarrow 4$ значима и сопоставима со значениями первых двух слагаемых интегральной показательной функции.

Сама функция на промежутке $(0; 4)$:

$$-E_i(-4) \rightarrow -1,386294 - 0,577216 + 2,083333$$

$$\approx 0,119823$$

А что будет с интегральной показательной функцией при $\alpha \geq 4$?

Решив квадратное уравнение (34) относительно переменной n при $\alpha \geq 4$, имеем:

$$n_{y6} = \frac{\alpha}{2} - 1 + \frac{\sqrt{(\alpha - 2)^2 - 4}}{2}$$

Для $\alpha \geq 4$ члены ряда будут монотонно убывать по модулю только начиная со слагаемого с номером n_{y6} . Так, для $\alpha=4$, члены ряда $R(\alpha)$ будут монотонно убывать, начиная со слагаемого $n_{y6}=2$. Для $\alpha=5$, члены ряда $R(\alpha)$ будут монотонно убывать, начиная с $n_{y6}=3$ слагаемого, для $\alpha=8$ с $n_{y6}=6$ слагаемого и т. д.

Примечательно, что Анатолий Моисеевич Гальперин, со ссылкой на Валерия Александровича Мироненко, отдельно выделяет значения интегральной показательной функции именно для аргументов больших 4.

Таким образом, при нахождении суммы ряда $R(\alpha)$ для α из промежутка $[4; +\infty)$ необходимо учитывать первые $n_{уб}$ членов ряда, для которых не выполняется условие монотонного убывания.

Следующие за ними члены ряда необходимо проверять на требуемую погрешность вычислений, поскольку оставшийся ряд уже будет удовлетворять условиям Лейбница, и погрешность оставшейся частичной суммы не будет превосходить по абсолютной величине первый отбрасываемый член ряда.

Все эти вычисления без особых трудностей и без привлечения языков программирования, как, например, предлагают авторы работы [14], могут быть выполнены в электронных таблицах, например, в MS Excel.

На рис. 1 представлены формулы для вычисления радиуса влияния неустановившегося режима фильтрации жидкости.

В ячейку C3 вводится число, соответствующее количеству знаков после запятой требуемой погрешности.

С учетом данного значения и функции ОКРУГЛ() в ячейке C7 выполняется округление постоянной Эйлера.

В ячейке C8 заложено вычисление натурального логарифма и округление его с заданной погрешностью.

Далее, в ячейке C9 вычисляется количество первых $n_{уб}$ членов ряда $RE(\alpha)$, которые необходимо учитывать при подсчете суммы ряда и которые нельзя отбрасывать, поскольку они не являются монотонно убывающими членами ряда. Общее количество членов ряда, которые необходимо сложить для получения суммы с требуемой погрешностью, вычисляется в ячейке C10. В ячейке C11 подсчитывается сумма ряда $RE(\alpha)$.

	A	B	C
1		r_c	
2	Ввод данных	$\alpha = r^2/(4at)$	
3		Погрешность: количество знаков после запятой	
4			
5		Погрешность	=СТЕПЕНЬ(10;(-1)*C3)
6		Постоянная Эйлера	0,5772156649
7		Постоянная с учетом погрешности	=ОКРУГЛ(C6;C3)
8		$\ln(1/\alpha)$	=ОКРУГЛ(LN(1/C2);C3)
9	Вычисления	Необходимо учитывать первые $n_{уб}$ члены ряда	=ОКРВВЕРХ(C2/2-1+КОРЕНЬ((C2-2)
10		Количество слагаемых для обеспечения точности	=СЧЁТ(H2:H170)
11		Сумма ряда	=ОКРУГЛ(СУММ(H2:H170);C3)
12		Функция колодца	=ОКРУГЛ(C8-C7+C11;C3)
13		Радиус влияния	=ОКРУГЛ(C1*EXP(C12)/2;C3)

Рис. 1. Формулы для вычисления радиуса влияния.
Fig. 1. Formulae for calculating the radius of influence.

Расчет функции колодца, как алгебраической суммы постоянной Эйлера, натурального логарифма и суммы ряда $RE(\alpha)$ выполняется в ячейке C12. В ячейке C13 вычисляется окончательное значение радиуса влияния депрессионной воронки на основе формулы (33).

В ячейках ряда H (рис. 2) приведены формулы вычисления членов ряда с учетом про-

верки на заданную погрешность. Если получаемое значение члена ряда меньше, чем требуемая погрешность, то этот член ряда игнорируется:

$$F2 = \text{СТЕПЕНЬ}(-1; E2+1) * \text{СТЕПЕНЬ}(\$C\$2; E2) / (E2 * \text{ФАКТР}(E2))$$

$$G2 = \text{ЕСЛИ}(\text{ABS}(F2) < \$C\$5, "-", F2)$$

	A	B	C	D	E	F	G
					Член ряда	Значение	Значение с учетом погрешности
1	Ввод данных	r_c	200				
2		$\alpha = r^2/(4at)$	4,10		1	4,10E+00	4,1
3		Погрешность: количество знаков после запятой	5		2	-4,20E+00	-4,2025
4					3	3,83E+00	3,828944444
5	Вычисления	Погрешность	0,00001		4	-2,94E+00	-2,943501042
6		Постоянная Эйлера	0,577215665		5	1,93E+00	1,930936683
7		Постоянная с учетом погрешности	0,57722		6	-1,10E+00	-1,099561167
8		$\ln(1/\alpha)$	-1,41099		7	5,52E-01	0,552024586
9		Необходимо учитывать первые $n_{уб}$ члены ряда	2		8	-2,48E-01	-0,247548525
10		Количество слагаемых для обеспечения точности	16		9	1,00E-01	0,100241872
11		Сумма ряда	1,99155		10	-3,70E-02	-0,036989251
12		Функция колодца	0,00334		11	1,25E-02	0,012533548
13		Радиус влияния	100,33456		12	-3,93E-03	-0,003925438
14					13	1,14E-03	0,00114279
15					14	-3,11E-04	-0,000310769
16					15	7,93E-05	7,92806E-05
17					16	-1,90E-05	-1,90459E-05
18					17	4,32E-06	-
19					18	-9,30E-07	-

Рис. 2. Вычисление радиуса влияния с учетом заданной погрешности
Fig. 2. Calculation of the radius of influence taking into account the required inaccuracy

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. На основе исследования научной, нормативной и учебной литературы была выполнена систематизация существующих подходов определения основного параметра неустановившегося режима фильтрации – радиуса депрессии.

2. На основе анализа и систематизации научной, нормативной и учебной литературы в хронологическом порядке проанализированы формулы и способы для определения радиуса депрессии, а также условия применения этих формул.

3. С помощью теории математического анализа был предложен способ вычисления радиуса депрессии с заданной точностью, поскольку, как показало исследование, ученые, описывающие различные формулы, стремились их упростить для удобства вычисления.

4. Доказана возможность применения электронных таблиц в качестве инструмента для вычисления радиуса депрессии при неустановившемся режиме фильтрации с любой наперед заданной погрешностью, поскольку мощности современных информационных технологий позволяют не задумываться о затратах, связанных с вычислительным процессом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чупин В.Р., Йоше А.К. Оценка баланса подземных вод и их пространственного распределения в рамках миссии НАСА GRACE для р. Голубой Нил в Эфиопии (Восточная Африка) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 76–89. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-76-89>. EDN: JNYOGM.

2. Грязнова Е.М. Влияние процесса подтопления на эксплуатационную надежность здания // Экономика строительства. 2024. № 1. С. 99–102. EDN: AWSZFB.

3. Hai V. Pham, Frank T.-C. Tsai Modeling Complex Aquifer Systems: A Case Study in Baton Rouge, Louisiana (USA) // Hydrogeology Journal. 2017. Vol. 25. P. 601–615. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1532-6>.

4. Сысоева Е.В., Анищенко И.О., Мосолова А.С., Ремизова А.А., Терехова Е.С. Обоснование необходимости реконструкции устаревшего фонда зданий культурного назначения на примере Дома культуры Побединский Скопинского района Рязанской области // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 1. С. 186–195. EDN: YJAHBG.
5. Кутуков А.А., Колокольцева Е.Н., Романова Л.С. Инженерные вопросы реставрации. Влияние роста культурного слоя на сохранность объектов культурного наследия на примере каменных храмов города Томска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 3. С. 54–69. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-3-54-69>. EDN: RZLDDE.
6. Бобрышев Д.В., Неронова А.И. Типологические факторы градостроительного развития неудобных территорий в структуре прибрежных зон г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 90–100. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-90-100>. EDN: LWEAUK.
7. Шевцова И.М., Игнаткина Д.О., Москвичева Е.В., Быканов И.В. Предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве (на примере г. Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. № 3 (84). С. 73–85. EDN: MYNACW.
8. Добрускина М.А., Петров А.В., Бат-Эрдэнэ З. Совершенствование технологии устройства подпорных стен в Иркутском регионе с использованием габионов коробчатого типа // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 2. С. 312–323. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-312-323>. EDN: KWUVD.
9. Лукашук Е.Р., Добромиров В.Н. Условия применения самоходных строительных машин в зонах подтопления рек Арктического региона // Строительные и дорожные машины. 2022. № 6. С. 18–22. EDN: SXLSBJ.
10. Zdanova R.V., Sinitsa Ju.S. Procedure for Entering Flood and Flood Zones into The Unified State Register of Real Estate // International Agricultural Journal. 2021. Vol. 64. Iss. 3. P. 1–9. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2021-10328>. EDN: RDTTYU.
11. Яковлева И.Ю. Оценка ущерба от подтопления территории объекта незавершенного строительства // Естественные и технические науки. 2022. № 1 (164). С. 162–164. EDN: EOXEOK.
12. Сольский С.В., Шпилов А.В., Герасимова Е.В. Проблемы проектирования и нормирования при решении задач защиты от подтопления и затопления // Гидротехническое строительство. 2022. № 3. С. 7–14. EDN: EJNDY.
13. Птушкина Г.П. Наводнения и подтопления - как показатель инженерно-технических ошибок обустройства территории города // Архитектура и время. 2023. № 5. С. 8–12. EDN: RGVLKB.
14. Файзиев Х., Бабакаев С.Н., Норматов М.У. Численное решение краевой задачи неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах методом конечных разностей // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 1 (685). С. 43–50. EDN: VTKDXD.
15. Ravshanov R., Abdullaev Z.S., Kotov E.V., Turkmanova Sh.N. Numerical Study of the Process of Unsteady Flow in A Three-Layer Porous Medium // Magazine of Civil Engineering. 2023. Vol. 119. Iss. 3. P. 1–14. <https://doi.org/10.34910/MCE.119.2>.
16. Дударева О.В. Проявление нелинейных эффектов фильтрации при нестационарных режимах работы скважины // Физика конденсированного состояния и ее приложения. Сб. трудов III Междунар. науч.-практ. конф. (г. Стерлитамак, 09–12 сентября 2020 г.). Стерлитамак, 2020. С. 30–35. EDN: YRZQAL.
17. Кусакин И.П. Искусственное понижение уровня грунтовых вод. М.: Ленинград: ОНТИ. Главная редакция строительной литературы, 1935. 247 с.
18. Абрамов С.К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1960. 240 с.
19. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Наука, 1977. 664 с.
20. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. М.: Гостоптехиздат, 1963. 397 с.
21. Бочеввер Ф.М. Гидрогеологические расчеты крупных водозаборов подземных вод и водопонижительных установок. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. 59 с.
22. Бочеввер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М. Основы гидрогеологических расчетов. М.: Недра, 1965. 307 с.
23. Абрамов С.К., Скиргелло О.Б. Осушение шахтных и карьерных полей. Способы, системы и расчеты осушения шахтных и карьерных полей. М.: Недра, 1968. 254 с.
24. Биндеман Н.Н., Язвин Л.С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра, 1970. 216 с.
25. Керкис Е.Е. Методы изучения фильтрационных свойств горных пород. Ленинград: Недра, 1975. 231 с.

26. Надарейшвили А.В. Методы исследований опытных гидродинамических работ и явлений в системе пласт-скважина. М.: Недра, 1978. 224 с.
27. Горбунов-Посадов М.И., Ильичев В.А., Крутов В.И., Коновалов П.А., Смородинов М.И., Сорочан Е.А. [и др.] Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: Стройиздат, 1985. 480 с.
28. Веригин Н.Н. Методы определения фильтрационных свойств горных пород. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. 180 с.
29. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М.: Недра, 1979. 326 с.
30. Керкис Е.Е. Определение неустановившегося радиуса влияния при откачке из напорных водоносных горизонтов // Записки горного института. 1962. Т. 44. № 2. С. 51–55.

REFERENCES

1. Chupin V.R., Yoshe A.K. Evaluating Groundwater Balance and Its Spatial Distribution as Part of Nasa Grace Mission for Blue Nile River (Ethiopia, East Africa). *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):76-89. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-76-89>. EDN: JNYOGM.
2. Gryaznova E.M. The Influence of the Flooding Process On the Operational Reliability of the Building. *Construction Economics*. 2024;1:99-102. (In Russ.). EDN: AWSZFB.
3. Hai V. Pham, Frank T.-C. Tsai Modeling Complex Aquifer Systems: A Case Study in Baton Rouge, Louisiana (USA). *Hydrogeology Journal*. 2017;25:601-615. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1532-6>.
4. Sysoeva E.V., Anishchenko I.O., Mosolova A.S., Remizova A.A., Terekhova E.S. Rationale for The Reconstruction of Old Cultural Buildings On the Example of The "Pobedinsky" House of Culture, Skopinsky District, Ryazan Region. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(1):186-195. (In Russ.). EDN: YJAHBG.
5. Kutukov A.A., Kolokoltseva E.N., Romanova L.S. Engineering Issues in Restoration. Cultural Deposit Growth Effect On Preservation of Stone Churches in Tomsk. *Journal of Construction and Architecture*. 2023;25(3):54-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-3-54-69>. EDN: RZLDDE.
6. Bobryshev D.V., Neronova A.I. Typological Factors of Urban Development of Inconvenient Lands in The Structure of Irkutsk Riparian Zones. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):90-100. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-90-100>. EDN: LWEAUk.
7. Shevtsova I.M., Ignatkina D.O., Moskvicheva E.V., Bykanov I.V. Prevention of Ground Water Flooding of Territories During Construction (For Example, Volgograd). *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture*. 2021;3(84):73-85. (In Russ.). EDN: MYNACW.
8. Dobruskina M.A., Petrov A.V., Bat-Erdene Z. Improving The Technology of Retaining Walls in The Irkutsk Region Using Gabion Baskets. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(2):312-323. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-312-323>. EDN: KWUVDF.
9. Lukashuk E.R., Dobromirov V.N. Conditions for The Use of Self-Propelled Construction Machines in Flood Zones of Rivers in The Arctic Region. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2022;6:18-22. (In Russ.). EDN: SXLSBJ.
10. Zdanova R.V., Sinita Ju.S. Procedure for Entering Flood and Flood Zones into The Unified State Register of Real Estate. *International Agricultural Journal*. 2021;64(3):1-9. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2021-10328>. EDN: RDTTYU.
11. Yakovleva I.Yu. Assessment of Damage from Flooding of the Territory of the Construction in Progress. *Natural and Technical Sciences*. 2022;1(164):162-164. (In Russ.). EDN: EOXEOK.
12. Sol'skiy S.V., Shipilov A.V., Gerasimova E.V. The Issue of Design and Standardization Which Emerge During the Solving Problems of the Protection from Flooding and Inundation. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2022;3:7-14. (In Russ.). EDN: EJNDY.
13. Ptushkina G.P. Floods and Flooding - As an Indicator of Engineering and Technical Errors in The Development of the City Territory. *Architecture and Time*. 2023;5:8-12. (In Russ.). EDN: RGVLKB.
14. Fayziev Kh., Babakaev S.N., Normatov M.U. Numerical Solution of the Problem of Unsteady Filtration in Earth Dams Finite Difference Method. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2016;1(685):43-50. (In Russ.). EDN: VTKDXD.
15. Ravshanov R., Abdullaev Z.S., Kotov E.V., Turkmanova Sh.N. Numerical Study of the Process of Unsteady Flow in A Three-Layer Porous Medium. *Magazine of Civil Engineering*. 2023;119(3):1-14. <https://doi.org/10.34910/MCE.119.2>.
16. Dudareva O.V. Manifestation of Nonlinear Filtering Effects During Unsteady Well Operation. In: *Fizika kondensirovannogo sostoyaniya i ee prilozheniya. Sbornik trudov III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi*

konferentsii = Physics of Condensed Matter and Its Applications. Collection of Proceedings of The III International Scientific and Practical Conference. 09–12 September 2020, Sterlitamak. Sterlitamak; 2020. p. 30–35. (In Russ.). EDN: YRZQAL.

17. Kusakin I.P. *Artificially Lowering the Groundwater Level*. Moscow; Leningrad: ONTI. Main Editorial Office of Construction Literature, 1935. 247 p. (In Russ.).

18. Abramov S.K. *Underground Drainage in Industrial and Urban Construction*. Moscow: State Publishing House of Literature on Construction, Architecture and Building Materials, 1960. 240 p. (In Russ.).

19. Polubarinova-Kochina P.Ya. *Theory of Groundwater Movement*. Moscow: Nauka, 1977. 664 p. (In Russ.).

20. Charnyi I.A. *Underground Fluid Dynamics*. Moscow: Gostoptekhizdat, 1963. 397 p. (In Russ.).

21. Bochever F.M. *Hydrogeological Calculations of Large Groundwater Intakes and Water Reduction Plants*. Moscow: State Publishing House of Literature on Construction, Architecture and Building Materials, 1963. 59 p. (In Russ.).

22. Bochever F.M., Garmonov I.V., Lebedev A.V., Shestakov V.M. *Basics of Hydrogeological Calculations*. Moscow: Nedra, 1965. 307 p. (In Russ.).

23. Abramov S.K., Skirgello O.B. *Drainage of Mine and Quarry Fields. Methods, Systems and Calculations for Draining Mine and Quarry Fields*. Moscow: Nedra, 1968. 254 p. (In Russ.).

24. Bindeman N.N., Yazvin L.S. *Assessment of Operational Groundwater Reserves*. Moscow: Nedra, 1970. 216 p. (In Russ.).

25. Kerkis E.E. *Methods for Studying the Filtration Properties of Rocks*. Leningrad: Nedra, 1975. 231 p. (In Russ.).

26. Nadareishvili A.V. *Methods for Studying Experimental Hydrodynamic Work and Phenomena in The Reservoir-Well System*. Moscow: Nedra, 1978. 224 p. (In Russ.).

27. Gorbunov-Posadov M.I., Il'ichev V.A., Krutov V.I., Konovalov P.A., Smorodinov M.I., Sorochan E.A. [et al.] *Foundations, Foundations and Underground Structures*. Moscow: Stroyizdat, 1985. 480 p. (In Russ.).

28. Verigin N.N. *Methods for Determining the Filtration Properties of Rocks*. Moscow: State Publishing House of Literature on Construction, Architecture and Building Materials, 1962. 180 p. (In Russ.).

29. Borevskii B.V., Samsonov B.G., Yazvin L.S. *Methodology for Determining the Parameters of Aquifers Based On Pumping Data*. Moscow: Nedra, 1979. 326 p. (In Russ.).

30. Kerkis E.E. Determination of The Transient Radius of Influence During Pumping from Confined Aquifers. *Zapiski gornogo instituta*. 1962;44(2):51-55. (In Russ.).

Информация об авторах

Уткин Кирилл Львович,
магистрант,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого,
195251, г. Санкт-Петербург,
Политехническая ул., 29, Россия,
e-mail: utkin.kl@edu.spbstu.ru
Author ID: 1219893

Уткина Оксана Николаевна,
к.п.н, доцент,
Санкт-Петербургский Гуманитарный
университет профсоюзов,
192238, г. Санкт-Петербург, ул. Фучика, 15,
Россия,
✉e-mail: may08_08@mail.ru
Author ID: 610237

Information about the authors

Kirill L. Utkin,
Master's Student,
Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic
University,
29 Politechnicheskaya St., Saint Petersburg
195251, Russia,
e-mail: utkin.kl@edu.spbstu.ru
Author ID: 1219893

Oksana N. Utkina,
Cand. Sci. (Ped.),
Associate Professor,
Saint Petersburg University of Humanities
and Social Sciences,
15 Fuchika St., Saint Petersburg 192238, Russia,
✉e-mail: may08_08@mail.ru
Author ID: 610237

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 17.06.2024.
Одобрена после рецензирования 05.07.2024.
Принята к публикации 08.07.2024.

Information about the article

The article was submitted 17.06.2024.
Approved after reviewing 05.07.2024.
Accepted for publication 08.07.2024.



Мероприятия по увеличению степени надежности и эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения

И.Ю. Шелехов¹, О.Л. Лавыгина^{2✉}, А.И. Шелехова³,
В.Н. Кульков⁴, А.И. Кармалов⁵

^{1,2,3,4}Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия

⁵Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),
г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Надежность работы систем водоснабжения и водоотведения оказывает существенное влияние на окружающую среду, поэтому необходимо внедрять новые методы и способы, которые способствуют снижению риска возникновения аварийных ситуаций. Основываясь на опыте по автоматизации, обслуживанию и модернизации систем водоотведения и водоснабжения было принято решение по введению в автоматизированные системы управления дополнительных программируемых блоков, которые осуществляют контроль и регулирование непосредственно на исполнительном механизме. Для этого была использована среда программирования OWEN Logic, которая управляет насосными станциями через программируемые реле. В статье приводятся функциональные схемы, которые были внесены в стандартные макросы для увеличения степени надежности насосных агрегатов. Также было показано, что внедрение многоуровневого управления позволяет беспрепятственно совершенствовать действующие системы водоснабжения и водоотведения, увеличивать их функциональные возможности и обеспечивать благоприятную работу технологического оборудования. На основании проведенного анализа авторы приходят к выводу, что внедрение данного метода управления технологическими режимами поможет увеличить степень надежности и долговечности насосного оборудования, обеспечит бесперебойную работу насосных станций. При изменении производительности систем водоснабжения и водоотведения, установленные устройства позволят модернизировать их с минимальными экономическими издержками, возможно перепрограммировать работу низкого звена автоматизации, не влияя на работу других звеньев.

Ключевые слова: водоснабжение, водоотведение, насосный агрегат, частотный регулятор, надежность, эффективность

Для цитирования: Шелехов И.Ю., Лавыгина О.Л., Шелехова А.И., Кульков В.Н., Кармалов А.И. Мероприятия по увеличению степени надежности и эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 608–616. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-608-616>. EDN: XZCOXS.

Original article

Measures to increase the reliability and efficiency of water supply and wastewater disposal systems

Igor Yu. Shelekhov¹, Olga L. Lavygina^{2✉}, Anastasia I. Shelekhova³,
Victor N. Kulikov⁴, A.I. Karmalov⁵

^{1,2,3,4}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

⁵Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

Abstract. The reliability of water supply and wastewater disposal systems has a significant impact on the environment: therefore, it is essential to implement new methods and approaches that reduce the risk of emergency situations. Based on the experience in automation, maintenance and modernization of wastewater disposal and water supply systems, the study suggests introducing additional programmable modules into automated control systems that provide control and regulation directly on the actuator. For this purpose, the study involves OWEN Logic programming environment, which manages pumping stations through programmable relays. The paper presents functional diagrams that have been introduced into standard macros to increase the reliability of pumping units. In addition, the paper demonstrates that the implementation of multi-level management facilitates the improvement of existing water supply and wastewater disposal systems, thereby increasing their functional capabilities and ensuring the efficient operation of technological equipment. The conducted analysis shows that the adoption of this method for managing technological processes will enhance the reliability and durability of the equipment, ensuring uninterrupted operation of pumping stations. With a change in the performance of water supply and wastewater disposal systems, the installed devices will allow for modernization with minimal economic costs, and reprogramming the operation of the low-level automation without affecting the performance of other levels.

Keywords: water supply, drainage, pumping unit, frequency controller, reliability, efficiency

For citation: Shelekhov I.Yu., Lavygina O.L., Shelekhova A.I., Kulkov V.N., Karmalov A.I. Measures to increase the reliability and efficiency of water supply and wastewater disposal systems. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):608-616. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-608-616>. EDN: XZCOXS.

ВВЕДЕНИЕ

Системы водоснабжения и водоотведения являются неотъемлемой частью функционирования современных объектов капитального строительства. В связи с высокой степенью физического износа, эксплуатируемые канализационные очистные сооружения не обеспечивают нормативных показателей по качеству очистки, что приводит к негативному воздействию на поверхностные водоемы, а эксплуатирующие организации вынуждены оплачивать сверхлимитные платежи за негативное воздействие. Современное природоохранное законодательство обязывает всех водопользователей реализовывать водоохранные мероприятия в зоне осуществления своей деятельности, обеспечивать экологическую безопасность, внедрять природоохранные технологии. Модернизация действующих систем водоснабжения и водоотведения требует применение интеллектуальных систем автоматизации с разработкой информационных моделей управления технологическими процессами как малого, так и большого уровня [1–3].

Преимущества и возможности автоматизированных систем управления очевидны: чем меньше человек вмешивается в технологический процесс, тем надежней и качественней он осуществляется. Поэтому, процесс автоматизации должен осуществляться специалистами, обладающими знаниями из разных областей науки. Чтобы обеспечить оперативную реакцию на происходящие события, обеспечить

контроль и управление работающими системами очистки в зависимости от количества сточных вод, от вида и концентрации вредных веществ в этих водах, необходимо разрабатывать аппаратные и программные решения, чтобы максимально снизить вероятность попадания загрязняющих веществ в окружающую среду [4–7]. Для разработки данных решений должны привлекаться специалисты, обладающие знаниями в области водоснабжения и водоотведения. Для того, чтобы организовать программное управление технологическим процессом, необходимы специалисты, владеющие программными средствами. Они в свою очередь должны понимать как происходит анализ и работа технологического оборудования для того, чтобы обеспечить надежную и длительную работу узлов и агрегатов системы [8]. Системы водоснабжения и водоотведения должны работать в определенном диапазоне давлений, независимо от количества и качества перекачиваемой жидкости, пуск и остановка насосных агрегатов, закрытие и открытие задвижек может привести к резкому перепаду давления и созданию аварийных ситуаций из-за нарушений герметичности и разрушения технологического оборудования. Для снижения этих негативных факторов стало широко применяться частотное регулирование электродвигателями. С помощью частотных регуляторов не только меняют производительность насосных агрегатов, но и обеспечивают плавный пуск и остановку двигателей.

Непрофессиональное применение частотного регулирования может существенно снизить срок эксплуатации насосных агрегатов, т. к. их работа должна осуществляться в регламентированном диапазоне как по давлению, так и по производительности [9, 10]. Настройка автоматического регулирования работы насосных станций в различных технологических режимах до сих пор остается актуальной научной задачей, при которой необходимо рассчитать напорную характеристику, которая задается векторными характеристиками подача–напор и подача–мощность для конкретных условий.

Улучшение характеристик насосных станций, увеличение их срока службы существенно влияет не только на эффективность работы систем водоснабжения и водоотведения, но и на экономические показатели [11].

МЕТОДЫ

Исследования многих ученых показывают, что в системах водоснабжения и водоотведения количество перекачиваемой жидкости меняется в зависимости от времени года и времени суток, разница в перекачиваемом объеме может отличаться в несколько раз, особенно это ярко выражено на производственных предприятиях [12, 13]. Следовательно, при использовании частотного управления работа насоса может происходить как при малой производительности, так и при большой. Вероятность того, что при управлении по давлению насосный агрегат может выйти из разрешенной рабочей области, очень велика, что приведет к сокращению срока службы агрегата [14]. Защита насоса от работы при большой нагрузке не вызывает особой трудности, т. к. большинство частотных регуляторов оснащено защитой от перегрузки и ограничение наступает до того момента, когда насос попадает в верхнюю неблагоприятную для работы зону. В тех случаях, когда работа системы происходит с ограничением по нагрузке, параллельно основному насосному агрегату устанавливается дополнительный с непосредственным питанием от сети без частотного регулирования, тем самым снимая ограничение попадания дополнительного оборудования в неблагоприятные зоны для работы. Нередки случаи, когда параллельно устанавливаются несколько насосных агрегатов, которые могут работать как при недостаточной нагрузке, так и при перегрузке. Если на каждый насос и задвижку установить частотный регулятор, то возможно осуществлять корректировку рабочего диапазона насосного агрегата, обеспечивать плавную работу двигателей и задвижек. К сожалению, по очень многим причинам, обеспечить полную автоматизацию невозможно как в техническом плане,

так и по экономическим соображениям. Применение программируемых логических контроллеров (ПЛК) позволяет удовлетворить возрастающие потребности эксплуатирующих организаций в области управления системами водоснабжения и водоотведения. Имея большое количество различных архитектурных решений, большую скорость обработки данных и возможность объединения в единую сеть, инженеры, работающие в области автоматизации технологических процессов, могут создавать многоуровневые системы управления [15], в том числе в области водоснабжения и водоотведения. Автоматизация данных систем отличается уникальностью, создаваемые математические модели для программного управления режимами работы должны содержать малое число идентифицируемых параметров для отражения основных свойств управляемой системы, что в большинстве случаев невозможно. Поэтому, создаваемые математические модели работают по упрощенному принципу, чтобы снизить отрицательное влияние на исходный результат. Разработчики таких систем исключают возможные ограничения, наложенные на технологическое оборудование нижнего уровня, акцентируя внимание на стабилизацию промежуточных параметров подачи жидкости.

Необходимо создавать автоматические системы нижнего уровня, которые могут работать автономно, независимо от всего технологического цикла.

При этом мы получаем систему двухзвенного или трехзвенного управления, где на низком уровне задаются требуемые параметры, при выполнении которых дается команда на верхний уровень для выполнения следующей операции [16]. Применение данного метода управления, при котором осуществляется распределение интеллекта по уровням, позволяет системе работать автономно на каждом уровне и не зависеть от управления всей системы, что в значительной степени увеличивает надежность работы в целом.

При этом увеличивается не только степень надежности системы, но и возможность модернизации и усовершенствования ее каждого звена [17].

Опыт по осуществлению контроля за работой насосных станций на нижнем уровне автоматизированных систем водоснабжения провели в г. Самара во время комплексной реконструкции внутриквартальных станций подкачки.

За счет внедрения программного способа управления частотными регуляторами удалось существенно увеличить степень надежности и

эффективности системы водоснабжения города в целом.

Методика уровневой автоматизации оправдывает себя, т. к. позволяет осуществлять независимый анализ работы каждого звена и разрабатывать независимый алгоритм его управления. Это особенно актуально для работы насосных агрегатов, т. к. они подбираются по усредненному показателю, с учетом того, что они будут эксплуатироваться в режиме рабочего диапазона, а на практике эксплуатация осуществляется за его пределами. При проведении натурных исследований, применяя стандартные статистические методы, можно определить временной интервал, когда и в каком режиме должны эксплуатироваться насосные станции и осуществить корректировку работы как самого насоса, так и запорно-регулирующую аппаратуру. Используя данные методы и методики, мы разработали систему программного управления насосными агрегатами, основываясь на их температурном режиме работы.

В основу разрабатываемого программного управления было положено три основных признака:

1. Через определенный промежуток времени любой двигатель, работающий под нагрузкой, должен находиться в определенном температурном диапазоне.

2. Если двигатель не выходит на заданный температурный интервал, необходимо на

выходе из насоса создать дополнительное гидравлическое сопротивление.

3. Если температура двигателя приближается к верхнему диапазону значения рекомендованной температуры, необходимо включить резервный насос и убрать на выходе основного насоса гидравлическое сопротивление. Для реализации процесса управления системами транспортировки жидкости была использована среда программирования OWEN Logic, которая управляет насосными станциями через программируемые реле.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Идет активное внедрение управления системами водоснабжения и водоотведения на основе ПЛК, в которые закладываются сложные и многофункциональные алгоритмы управления. Как уже отмечалось выше, при применении одного многофункционального блока всегда будет присутствовать вероятность, что один или несколько исполнительных механизмов в определенные технологические моменты будут работать не в соответствии со своими рекомендованными параметрами. Данная ситуация часто встречается при параллельной работе двух и более насосных агрегатов, когда один из них работает с использованием частотного регулирования. Для того, чтобы работа насосных агрегатов находилась в рабочей области, в ручном или автоматическом режиме регулируют положением задвижек как это показано на рис. 1.

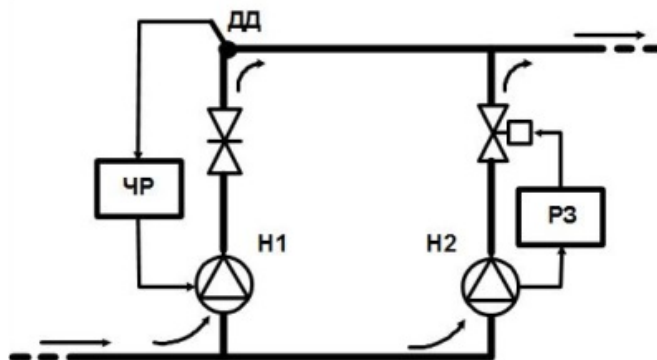


Рис. 1. Параллельная работа двух насосных агрегатов:
Н1 – насосный агрегат № 1, Н2 – насосный агрегат № 2, ЧР – частотный регулятор,
ДД – датчик давления, РЗ – регулятор положения задвижки

Fig. 1. Parallel operation of two pumping units:
H1 – pumping unit No. 1, H2 – pumping unit No. 2, FR – frequency regulator,
PS – pressure sensor, VR – valve position regulator

Как видно из рис. 1, схема управления работой насосных агрегатов достаточно простая, при необходимости данное управление можно осуществлять в автономном режиме, если ввести дополнительный уровень автоматизации.

Проведенный литературный обзор и анализ действующих систем водоснабжения и водоотведения показал, что данное решение не обеспечивает необходимый уровень надежности и эффективности. Для автономного управления

аналогичными агрегатами были применены программируемые реле (ПР), устройства, которые представляют из себя упрощенный вариант ПЛК, но с более приемлемой стоимостью. Для создания автономной системы управления были использованы достаточно простые ПР, которые вместе с интерфейсом RS-485 обходятся в сумму менее 10 тыс. руб. Для данных устройств имеются штатные макросы, которые в аналогичном режиме, как и ПЛК, управляют

насосными агрегатами. Для реализации нашего алгоритма управления в программный код были введены изменения.

Введены две дополнительные функции по измерению температуры перекачиваемой жидкости и температуры двигателя, а также по вычислению их среднего значения (рис. 2).

Следующая функция, показанная на рис. 3, сравнивает полученное значение температуры с нормированным значением.

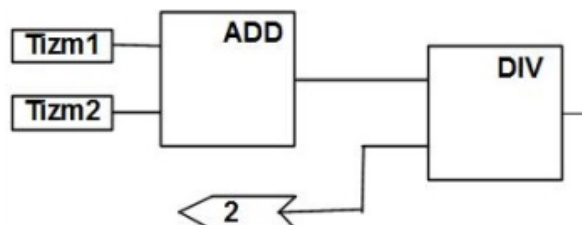


Рис. 2. Функция измерения и вычисления средней температуры
Fig. 2. The function of measuring and calculating the average temperature

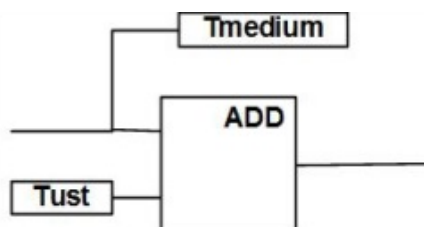


Рис. 3. Функция сравнения с нормированной температурой
Fig. 3. The comparison function with the normalized temperature

Так как на заданный интервал температур двигатель выходит через определенный промежуток времени, мы в стандартный макрос вводим функцию таймера, в котором

указываем отрезок времени, через который необходимо принять решение о перемещении задвижки в зависимости от измеренной температуры (рис. 4).

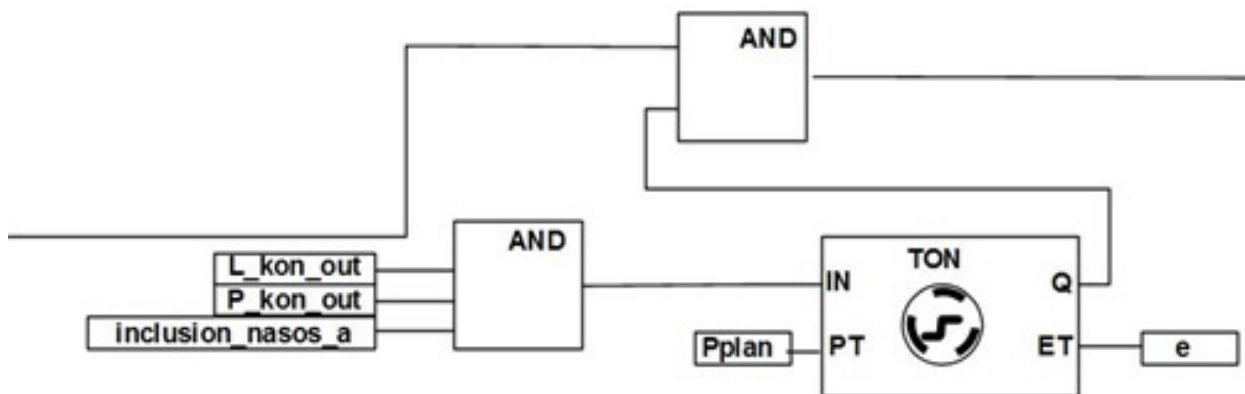


Рис. 4. Функция временной задержки
Fig. 4. Time delay function

Большинство инженерных систем, работающих в области водоснабжения или водоотведения, являются технологическими конструкциями с неравномерным расходом энергии. В

течение технологических циклов значения максимальной и минимальной нагрузки значительно отличаются, а в области своих номинальных нагрузок система может работать не

более 10–15 % времени. До появления частотных регуляторов регулирование нагрузки осуществлялось за счет задвижек, данный метод назывался дросселирование.

Данный метод представляет собой то, что насос работает на своей номинальной нагрузке, а за счет задвижек с электроприводом осуществляется увеличение или уменьшение подачи жидкости. При массовом переходе на частотное управление разработчики программного управления отказались от данного способа управления. Опыт эксплуатации данных инженерных систем показал, что необходимо частично использовать данный метод, и организовать их работу отдельно от других возмущающих факторов, в частности от рабочего диапазона работы двигателей насосных агрегатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение частотного регулирования и современных средств программного управления сделало революционный скачок в области экономии энергетических затрат, снизилось количество повреждений трубопроводов и технологического оборудования за счет сглаживания перепадов давления при открывании–закрывании задвижек. При осуществлении работы по автоматизации инженерных систем, настройке и их обслуживанию было замечено, что со временем общая производительность

данных систем меняется, что негативно сказывается на работе технологического оборудования. Повлиять на процесс изменения диапазона, изменения производительности систем невозможно. Количество абонентов централизованных систем водоснабжения и водоотведения всегда будет увеличиваться, технологические циклы производств будут изменяться, соответственно, необходимо применять иные методы и подходы, которые позволят поддерживать работу систем водоснабжения и водоотведения в работоспособном состоянии.

Апробирование нашего метода по разбивке данных инженерных систем на различные уровни управления показало, что надежность систем значительно повышается, отсутствуют отказы в работе насосных агрегатов.

Кроме этого, применение недорогих и надежных в работе программируемых реле открывает новые возможности по усовершенствованию данных систем.

Все сложные технологические процессы можно разбить на более простые, и в рамках простых процессов поставить конкретные задачи по автоматизации.

При данном подходе для обеспечения работоспособности системы не требуется большое количество вводов–выводов, при этом появляется возможность перепрограммирования этих устройств под новые задачи.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Safonyk A., Targoni I., Yuriy M., Bomba A. Research and Automation of the Process of Wastewater Treatment Electrocoagulation // 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Lviv, 11–14 September 2018). Lviv, 2018. p. 84–88. <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2018.8526661>.
2. Назаров М.А., Варламов Н.А. Математическое описание физико-химической очистки сточных вод в напорном флотаторе как объекта автоматизации // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. 77-я Всеросс. науч.-техн. конф. (г. Самара, 26–30 октября 2020 г.). Самара, 2020. С. 494–500. EDN: PHWKTX.
3. Sweeney M.W., Kabouris J.C. Modeling, Instrumentation, Automation, and Optimization of Wastewater Treatment Facilities // Water Environment Research. 2002. Vol. 74. P. 610–643. <https://doi.org/10.2175/106143002X140549>. EDN: UUTJYR.
4. Асланов М.Т., Исмаилов С.У., Мусабеков А.А. Использование современных технологий автоматизации для поддержки проектов по очистке сточных вод // Научные труды ЮГУ им. М. Ауэзова. 2014. № 2 (29). С. 22–26. EDN: GRZDZH.
5. Лавыгина О.Л., Гребнева О.А., Алексеев А.В. Снижение экологических рисков при реализации мероприятий по реконструкции системы водоотведения на территории центральной экологической зоны оз. Байкал // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 62–69. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-62-69>. EDN: SYAUWD.
6. Moldovan A., Nuca I. Automation of Wastewater Treatment Plant // 2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN) (Craiova, 09–11 October 2019). Craiova, 2019. p. 1–4. <https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2019.8905867>. EDN: JOHCSS.
7. Zhang W., Mueller A.V., Tooker N.B. Enabling Wastewater Treatment Process Automation: Leveraging Innovations in Real-Time Sensing, Data Analysis, And Online Controls // Environmental Science: Water Research and Technology. 2020. Vol. 6. Iss. 11. P. 2973–2992. <https://doi.org/10.1039/d0ew00394h>. EDN: LCIDJP.

8. Diehl S. Shock-Wave Behaviour of Sedimentation in Wastewater Treatment: A Rich Problem // Springer Proceedings in Mathematics. Tribute Workshop in Honour of Gunnar SPARR (Lund, 08–09 May 2008). Lund, 2012. P. 175–214. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20236-0_7. EDN: SOUUN.
9. Ракицкий Д.С., Егорова Ю.А., Нарогный С.Л., Табунков А.С., Фролов Е.С. Оптимизация работы квартальных насосных станций ООО «Самарские коммунальные системы». Комплексный подход к реконструкции насосных станций подкачки // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. 2018. С. 303–309. EDN: YNEUGL.
10. Николенько И.В., Котовская Е.Е., Котовский А.Е. Определение фактических параметров эксплуатации силовых агрегатов подкачивающих насосных станций // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2022. № 6 (762). С. 56–69. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2022-762-6-56-69>. EDN: RYMAZC.
11. Тарасов А.В. Исследование методов повышения эффективности насосных станций // Молодежь и XXI век – 2020: материалы X Междунар. молодежной науч. конф. (г. Курск, 19–20 февраля 2020 г.). Курск, 2020. С. 368–370. EDN: PCYDMY.
12. Суржко О.А., Оковитая К.О. Автоматизация процессов очистки сточных вод птицефабрик // Инновационная наука. 2016. № 12–2. С. 108–111. EDN: XETTGX.
13. Шелехов И.Ю., Янченко В.А., Пальчиков С.Н. Оптимизация системы горячего водоснабжения цеха по производству майонеза // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 93–8. С. 130–132. <https://doi.org/10.18411/trnio-01-2023-417>. EDN: JVKXFI.
14. Safonyk A., Tarhoni I., Bomba A. Modeling and Automation of the Electrocoagulation Process in Water Treatment // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 871. P. 451–463. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01069-0_32. EDN: XFVLMH.
15. Bebikhov Y.V., Podkamenniy Y.A., Semenov A.S. Development of an Automatic Process Control System for Biological Wastewater Treatment // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2022. Vol. 857 LNEE. P. 3–13. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94202-1_1. EDN: ABIXQB.
16. Макарова И.А. Автоматизация и выбор управления системами непрерывного действия сорбционной очистки сточных вод // Инженерный вестник Дона. 2023. № 6 (102). С. 753–767. EDN: PDIAZU.
17. Оковитая К.О. Совершенствование технологий очистки сточных вод мясоперерабатывающих предприятий // Инновационная наука. 2016. № 5–2 (17). С. 174–176. EDN: VVWXUR.

REFERENCES

1. Safonyk A., Targoni I., Yuriy M., Bomba A. Research and Automation of the Process of Wastewater Treatment Electrocoagulation. In: 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 11–14 September 2018, Lviv. Lviv; 2018. p. 84–88. <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2018.8526661>.
2. Nazarov M.A., Varlamov N.A. Mathematical Description of the Physico-Chemical Wastewater Treatment in Dissolved Air Flotator as Automation Object. In: *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'nye tekhnologii. 77-ya Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya = Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Construction Technologies. 77th All-Russian Scientific and Technical Conference.* 26–30 October 2020, Samara. Samara; 2020. p. 494–500. (In Russ.). EDN: PHWKTX.
3. Sweeney M.W., Kabouris J.C. Modeling, Instrumentation, Automation, and Optimization of Wastewater Treatment Facilities. *Water Environment Research*. 2002;74:610-643. <https://doi.org/10.2175/106143002X140549>. EDN: UUTJYR.
4. Aslanov M.T., Ismailov S.U., Musabekov A.A. Using Modern Automation Technologies to Support Wastewater Treatment Projects. *Nauchnye trudy YuKGU im. M. Auezova*. 2014;2(29):22-26. (In Russ.). EDN: GRZDZH.
5. Lavygina O.L., Grebneva O.A., Alekseev A.V. Environmental Risk Prevention During the Reconstruction of the Sewerage System in The Lake Baikal Central Ecological Zone. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):62-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-62-69>. EDN: SYAUWD.
6. Moldovan A., Nuca I. Automation of Wastewater Treatment Plant. In: 2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIEMEN). 09–11 October 2019, Craiova. Craiova; 2019. p. 1–4. <https://doi.org/10.1109/SIEMEN.2019.8905867>. EDN: JOHCSS.
7. Zhang W., Mueller A.V., Tooker N.B. Enabling Wastewater Treatment Process Automation: Leveraging Innovations in Real-Time Sensing, Data Analysis, And Online Controls. *Environmental Science: Water Research and Technology*. 2020;6(11):2973-2992. <https://doi.org/10.1039/d0ew00394h>. EDN: LCIDJP.
8. Diehl S. Shock-Wave Behaviour of Sedimentation in Wastewater Treatment: A Rich Problem. In: *Springer Proceedings in Mathematics. Tribute Workshop in Honour of Gunnar SPARR*. 08–09 May 2008, Lund. Lund; 2012. p. 175–214. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20236-0_7. EDN: SOUUN.

9. Rakitskii D.S., Egorova Yu.A., Nagornyi S.L., Tabunkov A.S., Frolov E.S. Optimization of The Operation of Quarterly Pumping Stations of Samara Utility Systems LLC. An Integrated Approach to The Reconstruction of Pumping Stations. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'nye tekhnologii*. 2018:303-309. (In Russ.). EDN: YNEUGL.
10. Nikolenko I.V., Kotovskaya H.E., Kotovskii A.E. Determination of The Actual Operating Parameters of the Power Units of Pumping Stations. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022;6(762):56-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2022-762-6-56-69>. EDN: RYMAZC.
11. Tarasov A.V. Research On Methods for Increasing the Efficiency of Pumping Stations. In: *Molodezh' i XXI vek – 2020: materialy X Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii = Youth and The 21st Century – 2020: Materials of The X International Youth Scientific Conference*. 19–20 February 2020, Kursk. Kursk; 2020. p. 368–370. (In Russ.). EDN: PCYDMY.
12. Surzhko O.A., Okovitaya K.O. Automation of Wastewater Treatment Processes from Poultry Farms. *Innovatsionnaya nauka*. 2016;12–2:108-111. (In Russ.). EDN: XETGTX.
13. Shelekhov I.Yu., Yanchenko V.A., Pal'chikov S.N. Optimization of The Hot Water Supply System of the Mayonnaise Production Workshop. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2023;93–8:130-132. (In Russ.). <https://doi.org/10.18411/trnio-01-2023-417>. EDN: JVKXFI.
14. Safonyk A., Tarhonii I., Bomba A. Modeling and Automation of the Electrocoagulation Process in Water Treatment. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019;871:451-463. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01069-0_32. EDN: XFVLMH.
15. Bebikhov Y.V., Podkamenniy Y.A., Semenov A.S. Development of an Automatic Process Control System for Biological Wastewater Treatment. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2022;857 LNEE:3-13. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94202-1_1. EDN: ABIXQB.
16. Makarova I.A. Automation and Control Selection of Continuous Sorption Wastewater Treatment Systems. *Engineering Journal of Don*. 2023;6(102):753-767. (In Russ.). EDN: PDIAZU.
17. Okovitaya K.O. Improving Wastewater Treatment Technologies from Meat Processing Plants. *Innovatsionnaya nauka*. 2016;5–2(17):174-176. (In Russ.). EDN: VWVXUR.

Информация об авторах

Шелехов Игорь Юрьевич,

к.т.н., доцент кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: promteplo@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7677-3187>
Author ID: 480140

Лавыгина Ольга Леонидовна,

к.т.н., доцент, доцент кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: olgakot81@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>
Author ID: 689382

Шелехова Анастасия Игоревна,

студент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: sheleh.ananas@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9045-9728>
Author ID: 1150048

Information about the authors

Igor Yu. Shelekhov,

Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: promteplo@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7677-3187>
Author ID: 480140

Olga L. Lavygina,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: olgakot81@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>
Author ID: 689382

Anastasia I. Shelekhova,

Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: sheleh.ananas@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9045-9728>
Author ID: 1150048

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: kulkof.viktor@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3838-0777>
Author ID: 730720

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: kulkof.viktor@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3838-0777>
Author ID: 730720

Кармалов Александр Иванович,

заместитель директора,
ООО «Томскводоканал»,
634021, г. Томск, ул. Елизаровых, 79/2, Россия,
e-mail: karmalov@vodokanal.tomsk.ru
<https://orcid.org/0009-0006-3239-5926>
Author ID: 891094

Alexander I. Karmalov,

Deputy Director of LLC "TomskVodokanal",
79/2, Elizarovyh, 634021, Tomsk, 634021,
Russia,
e-mail: karmalov@vodokanal.tomsk.ru
<https://orcid.org/0009-0006-3239-5926>
Author ID: 891094

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 28.06.2024.
одобрена после рецензирования 12.07.2024.
принята к публикации 16.06.2024.

Information about the article

The article was submitted 28.06.2024.
Approved after reviewing 12.07.2024.
Accepted for publication 16.06.2024.

**Методика выявления эталонных архитектурно-пространственных решений вузов с использованием графической матрицы****М.П. Гришина¹, А.Е. Михайлова²**¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Россия²ООО «Архикон», г. Казань, Россия

Аннотация. Актуальность данного исследования заключается в архитектурно-пространственном развитии территорий существующих вузов и кампусов. Наличие административных зданий, учебных корпусов, библиотек, лабораторий, студенческих общежитий и спортивных сооружений, медицинских пунктов, организация пешеходных зон, зеленых насаждений, парков и спортивных площадок, рекреация зеленых зон способствуют укреплению социальных связей между студентами и преподавателями, благоприятно сказывается на их обучении и развитии. Представленная статья анализирует примеры успешного развития студенческих кампусов, а также выявляет факторы, влияющие на их эффективность. Результаты исследования могут стать основой для создания архитектурно-пространственных решений с целью всестороннего формирования комфортной образовательной среды современных вузов Поволжья. Кроме того, результаты проведенного анализа помогут определить приоритеты и очередность решения задач архитектурного развития территорий на разных уровнях – от градостроительного планирования до установки инженерных систем и автоматики. Наличие ухоженных зеленых насаждений, удобных площадок для отдыха и общения, а также разнообразие спортивных и культурных объектов способствует созданию комфортной и стимулирующей атмосферы, что в свою очередь повысит мотивацию студентов к обучению и развитию их социальных навыков. Отмечено, что ключевыми факторами успешного архитектурно-пространственного решения территории университетского кампуса являются: грамотное планирование, учет потребностей и предпочтений студентов, а также вовлечение их в процесс принятия решений. Кроме того, подчеркивается то, что важно уделять внимание поддержанию и регулярному обновлению зеленых насаждений и инфраструктуры кампуса.

Ключевые слова: образовательная среда, студенческий кампус, доступная среда, рациональность планировочной организации, архитектурно-пространственная организация

Для цитирования: Гришина М.П., Михайлова А.Е. Методика выявления эталонных архитектурно-пространственных решений вузов с использованием графической матрицы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 617–628. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-617-628>. EDN: ZWKPB.

Original article**Methodology for identifying reference architectural and spatial solutions of universities using a graphic matrix****M.P. Grishina¹, A.E. Mikhailova²**¹Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russia²LLC «Archicon», Kazan, Russia

Abstract. The present study considers architectural and spatial development of the existing universities and campuses as relevant issue. Administrative and academic buildings, libraries, laboratories, student dormitories and sports facilities, medical centers, pedestrian zones, green spaces, parks and sports grounds, green area recreations contribute to strengthening social ties between students and teachers, providing a beneficial effect on learning and development. The present paper analyzes examples of

successful development of student campuses and identifies the factors of their effectiveness. The study findings may serve as a foundation for creating architectural and spatial solutions aimed at comprehensive development of a comfortable educational environment in modern universities of the Volga region. Furthermore, the results of the conducted analysis will assist in identifying priorities of architectural development tasks in areas at different levels — from urban planning to the installation of engineering and automation systems. Well-maintained green spaces, convenient areas for relaxation and socialization, as well as a variety of sports and cultural facilities, will contribute to the creation of comfortable and stimulating atmosphere, which, in turn, will enhance students' motivation for learning and develop their social skills. Effective planning, consideration of the needs and preferences of students, and their involvement in the decision-making process are indicated as the key factors for successful architectural and spatial solutions of university campuses. In addition, the maintenance and regular updating of green spaces and campus infrastructure are found significant.

Keywords: educational environment, student campus, accessible environment, rationality of planning organization, architectural-spatial organization

For citation: Grishina M.P., Mikhailova A.E. Methodology for identifying reference architectural and spatial solutions of universities using a graphic matrix. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):617-628. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-617-628>. EDN: ZWKPBR.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие архитектуры вузов является актуальной темой, требующей подробного и всестороннего рассмотрения.

Студенческий кампус, как основная образовательная среда, оказывает значительное влияние на качество обучения и жизнь студентов. Важно изучить факторы, которые способствуют созданию комфортной обстановки для обучения студентов.

Качество развития архитектуры вузов зависит от таких факторов, как изменения в образовательной среде, технологический прогресс, а также социокультурные тенденции (уровень ожиданий учащихся и сотрудников вуза) [1]. Для того, чтобы понять, что из себя представляет кампус, недостаточно только изучить особенности его планировочного решения – важно проводить социологические исследования оценки качества территории образовательной среды [2]. Анализ развития территории университетского кампуса в социологическом контексте позволяет выявить взаимосвязь между архитектурно-пространственной средой и поведением студентов [3–5]. Комфортная и привлекательная среда способствует формированию и укреплению связей между студентами, созданию условий для коллективных мероприятий и активного участия в студенческой жизни [6].

Цель исследования – определить соответствующий уровень развития архитектурно-пространственной организации территории вуза.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

- классифицировать наиболее знаковые зарубежные и отечественные кампусы;
- провести анализ матричного метода;
- проанализировать результаты и дать оценку развития территории образовательной среды.

МЕТОДЫ

Первым шагом в матричной методике является выполнение классификации университетских кампусов по типу в городской среде. Далее, применяется матричный метод, включающий информацию о зарубежных и отечественных аналогах студенческих кампусов. Важно учитывать не только их размер и функциональное назначение, но и особенности планировочной структуры и благоустройства [7]. Анализируя успешные примеры, можно выделить ключевые элементы, способствующие созданию комфортной образовательной среды [8–10]. Для подробного архитектурно-пространственного анализа были изучены и систематизированы мировые студенческие кампусы архитектурных вузов. Метод классификации, отраженный в табл. 1, позволил систематизировать кампусы по расположению и планировочной структуре. Так, в Европе распределение и размещение университетов было определено локальными традициями и ценностями (например, кампус Федеральной школы Цюриха). С увеличением потока студентов и ростом городской застройки потребовалось обеспечить дополнительное пространство для образовательных учреждений. Поэтому начали создавать кампусы прямо внутри городских областей для обеспечения легкого доступа к образованию [11].

Таблица 1. Классификация зарубежных кампусов архитектурно-строительных вузов
Table 1. Classification of foreign campuses of architecture and civil engineering universities

1	Модель университетского кампуса	Аналоги зарубежного опыта проектирования			
	Городской распределительный тип	Манчестерский университет	Делфтский университет	Федеральная школа Цюриха	Национальный университет Сингапура
2	Городской локальный тип	Университет Британской Колумбии	Международная школа Лозанны	Токийский университет	Университет Цинхуа
3	Пригородный локальный тип	Массачусетский технологический университет	Сеульский национальный университет	Норвежский университет естественных и технологических наук	Университет Баккнела

В США начало созданию кампусов положила потребность в обеспечении качественного образования для растущего числа студентов. Старые колледжи и университеты сталкивались с проблемами вместимости и инфраструктуры. Следовательно, создание кампусов позволило обеспечить более удобные условия для обучения и проживания, а также расширить учебные возможности в стране (например, кампус университета Баккнела) [12].

На примере современных университетских кампусов (построенных или реконструированных после 1980 г., например, кампус Сингапурского университета или кампус Делфтского университета и т. д.) наглядно показано гибкое использование пространства и возможность адаптации к новым потребностям студентов, что является важным аспектом, активно учитываемым в проектировании архитектурных кампусов.

Развитие архитектурных кампусов в Европе и США нацелено на создание вдохновляющей и современной среды, способствующей образованию и развитию студентов. Ключевыми аспектами, способствующими созданию комфортной образовательной среды, являются безопасность, транспортная доступность, наличие развитой инфраструктуры, наличие культурной и социальной среды [13].

Был проведен аналогичный анализ и на отечественных студенческих кампусах вузов (табл. 2). Архитектура прототипов студенческих кампусов в России до XX в. выражалась в предоставлении комфортных условий для

обучения, проживания и социальной жизни (например, кампус Санкт-Петербургского государственного университета Петра Великого, кампус Московского государственного университета, которые сочетают в себе современные архитектурные решения, удобство и функциональность) [14, 15].

Тенденции пространственного формирования архитектурных вузов СССР отличались от прототипов до XX в. Архитектура университетов и других образовательных учреждений часто отражала идеи социализма и коммунизма [16, 17]. Здания строились в соответствии с принципами социалистического реализма, включая простоту форм, функциональность и доступность (например, кампус Тихоокеанского государственного университета или Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета). Ключевыми аспектами, способствующими созданию комфортной образовательной среды, как и в зарубежных аналогах, являются обеспечение защищенности территории вуза, доступность пешеходных связей, наличие общежитий, мест питания, зон рекреации и мест досуговой деятельности [18–20]. Учитывая данные критерии формирования студенческого кампуса, были составлены матричные табл. 3 и табл. 4 для зарубежных и отечественных студенческих кампусов.

Матричный метод позволил выявить сильные и слабые стороны каждого кампуса по выбранным параметрам, а также определить направления для улучшения условий

проживания и обучения студентов. Для удобного визуального восприятия были выбраны три цвета: желтый (оценка выше 3,9), белый (граница 4), синий (от 0 до 3,9), и их оттенки, где насыщенный желтый – самый высокий показатель, а насыщенный синий – самый низкий.

Так, среди зарубежных студенческих кампусов по показателям оценки архитектурно-пространственного формирования образовательной среды образцовыми стали университет Бакнелла, университет Британской Колумбии, национальный университет Сингапура и Делфтский университет.

Таблица 2. Классификация отечественных кампусов архитектурно-строительных вузов
Table 2. Classification of domestic campuses of architecture and civil engineering universities

	Модель университетского кампуса	Аналоги отечественного опыта проектирования				
1	Городской распределительный тип	Казанский государственный архитектурно-строительный университет	Самарский государственный технический университет	Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет		Томский государственный архитектурно-строительный университет
2	Городской локальный тип	Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова	Сибирский Федеральный университет	Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого	Тихоокеанский государственный университет
3	Пригородный локальный тип	Сириус	Дальневосточный Федеральный университет		Иннополис	

Стоит отметить, что у не вошедших в список образцовых студенческих кампусов, отмечаются самые низкие показатели в критерии «наличие общежитий для профессорского состава». Для отечественных примеров студенческих кампусов примененный матричный метод также послужил основой для выявления ключей формирования лучших университетов. Данный метод анализа позволил увидеть пробелы в благоустройстве территории кампусов. Среди российских студенческих кампусов по показателям оценки качественного благоустройства и благоприятной среды лидерами стали университет Сириус и Дальневосточный Федеральный университет. Стоит отметить, что у всех университетов, за исключением Сириуса, отмечаются самые низкие показатели в критерии «наличие общежитий для профессорского состава». По двум проанализированным матрицам более высокими показателями качества среды и благоустройства территории обладают кампусы зарубежных вузов. Отмечаются заметные различия в показателях развитой инфраструктуры и качественного жилья.

Тем не менее, по средним показателям критерия «Безопасность» лидируют отечественные университеты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты матричного анализа показали значительное превосходство лидирующих кампусов. В табл. 5 наглядно представлено, что более 50 % оценок по критериям, отражающим суть архитектурно-пространственных решений, выше среднего показателя таблицы – 3,5.

Университет Бакнелла в США отличается своими живописными парками, пешеходными зонами и современными учебными зданиями, интегрированными в природную среду. Университет Британской Колумбии в Канаде представляет собой гармоничное сочетание традиционной архитектуры и новейших технологий, способствующих активному обучению и исследованиям. Национальный университет Сингапура известен своими футуристическими зданиями, инновационными учебными пространствами, благотворно влияющими на общественное настроение студентов в среде, и зелеными площадками для отдыха студентов.

Таблица 3. Матричный метод анализа зарубежных кампусов
Table 3. Matrix method for analyzing foreign campuses

№	Название объекта исследования	Безопасность кампуса	Качество общежитий	Наличие общежитий для профессорского состава ВУЗа	Качество учебных корпусов	Места досуговой деятельности	Наличие инфраструктуры	Транспортная доступность	Пешеходные связи	Качество озеленения	Комфортность благоустройства	Среднее
1	Манчестерский университет	3	3	3	4,8	3	4	3	4	2	3	✗
2	Делфтский университет	4	5	3	4,8	4,5	4,8	3	4	4,5	5	✓
3	•Федеральная школа Цюриха	3	4	6	4,8	3	3	3	4	3,5	4	✗
4	Национальный университет Сингапура	4,5	5	5	4,5	4	4	3,5	4	3,5	4,6	✓
5	Университет Британской Колумбии	4	4,5	5	5	5	4	3	4	4	4,2	✓
6	Международная школа Лозанны	4	3,8	3	3,7	3	3	3	3,7	4	3,5	✗
7	Токийский технологический университет	3,5	4	3	3,5	4	4	4	4	4	3,6	!
8	Массачусетский технологический институт	3	4	4	4	3,7	4	4	3,7	4	4	!
9	Сеульский национальный университет	4	4,8	1	4,5	4,3	4,8	4	4	4,6	4	!
10	•Норвежский университет естественных и технических наук	4	4,5	6	4	3,4	3	4	4	4,8	3,5	✗
11	Университет БАКНЕЛЛА	5	4,8	2	4,5	5	4,8	3,8	4,5	4,5	5	✓
12	Университет Цинхуа	3	4	4	3,5	3,5	3,5	3	3,5	3,5	4	✗

Таблица 4. Матричный метод анализа отечественных кампусов
Table 4. Matrix method for analyzing domestic campuses

№	Название объекта исследования	Безопасность кампуса	Качество общежитий	Наличие общежитий для профессорского состава ВУЗа	Качество учебных корпусов	Места досуговой деятельности	Наличие инфраструктуры	Транспортная доступность	Пешеходные связи	Качество озеленения	Комфортность благоустройства	Среднее
1	КГАСУ	4	3	6	4,5	3	3	3	3	2	2	×
2	ННГАСУ	3	2	6	2	2	2	3	2	3	2	×
3	СамГТУ	3	2	6,5	3	2	2	3	2	2	2	×
4	Кубгау	3,5	2	6	3	3	3	4	2	4,5	3	×
5	МГУ	3	2	1	3,8	3	3	4	3	3	3	×
6	СПбГПУ	4	4	6	3	3	3	4	4	4,5	3	!
7	СФУ	3	4	6	4	4	4	4	3	4	4,5	!
8	ДВФУ	3	4,5	4	3	3	4	3	5	5	4	✓
9	Иннополис	3	4,5	2	5	3	4	3	3	3	4	!
10	Сириус	4,5	4,5	5	5	4	4	4	4	4,8	5	✓
11	ТГАСУ	3	2	6	3	2	3	4	2	3,8	2	×
12	ТОГУ	2	2	1	3	2	2	4	3	3	2	×

Таблица 5. Результаты анализа матрицы зарубежных кампусов

Table 5. Results of the analysis of the matrix of foreign campuses

Название объекта исследования	Безопасность кампуса	Качество общежитий	Общежития для профессорского состава ВУЗа	Качество учебных корпусов	Места досуговой деятельности	Наличие инфраструктуры	Транспортная доступность	Пешеходные связи	Качество озеленения	Комфортность благоустройства	Среднее
Делфтский университет	4	5	3	4,8	4,5	4,8	3	4	4,5	5	4,3
Национальный университет Сингапура	4,5	5	5	4,5	4	4	3,5	4	5	4,4	4,2
Университет Британской Колумбии	4	4,5	5	5	5	4	3	4	4	4,2	4,3
Университет Бакнелла	5	4,8	2	4,5	5	4,8	3,8	4,5	4,5	5	4,4

Таблица 6. Результаты анализа матрицы отечественных кампусов

Table 6. Results of the analysis of the matrix of domestic campuses

Название объекта исследования	Безопасность кампуса	Качество общежитий	Общежития для профессорского состава ВУЗа	Качество учебных корпусов	Места досуговой деятельности	Наличие инфраструктуры	Транспортная доступность	Пешеходные связи	Качество озеленения	Комфортность благоустройства	Среднее
Дальневосточный Федеральный университет	3	4,5	4	3	3	4	3	5	5	4	4,3
Сириус	4,5	4,5	5	5	4	4	4	4	4,5	5	4,2

Делфтский университет в Нидерландах впечатляет своей минималистичной архитектурой, функциональными пространствами и интеграцией современных технологий. Каждый из этих университетов является примером современных тенденций в развитии студенческих

кампусов, где важным аспектом является не только учебный процесс, но и обеспечение комфортной и стимулирующей среды для студентов, преподавателей и исследователей [21–23].

Результаты матричного анализа аналогов

отечественного опыта показали явно выраженное типологическое отличие лидирующих кампусов. Важно отметить, что Дальневосточный Федеральный университет и Сириус запроектованы и построены уже в постиндустриальную эпоху. В табл. 6 наглядно представлено, что более 50 % оценок по критериям, отражающим суть архитектурно-пространственных решений, выше среднего показателя таблицы – 3. Дальневосточный Федеральный университет, расположенный в г. Владивостоке, отличается современным дизайном зданий, сочетает в себе инновационные технологии и сохранение исторического наследия. Здесь акцент делается на использование ресурсов территории, что способствует развитию креативности и привлекательности учебного процесса [24].

Еще одним примером успешного архитектурно-пространственного развития студенческого кампуса является университет Сириус в г. Сочи. Этот образовательный центр объединяет в себе современные технологии с уникальным природным ландшафтом, создавая уникальную атмосферу для студентов. Здания кампуса напоминают олимпийскую деревню, что придает особый шарм месту и создает по-настоящему вдохновляющую образовательную среду [25, 26]. Следовательно, развитие отечественных студенческих кампусов включает в себя инновационные подходы к дизайну

и функциональности, что способствует повышению уровня образования в России и созданию условий для качественной учебной деятельности студентов [27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, методика выявления архитектурных эталонов в образовательной среде с помощью графической матрицы является эффективным инструментом для анализа и сравнения различных объектов. Она позволяет выявить основные характеристики и особенности архитектурных решений, а также определить их соответствие установленным стандартам и требованиям. Полученные данные результатов матриц позволили сделать вывод о том, что образовательная среда студенческого кампуса во многом определяется не только функциональными зданиями, но и обеспеченной безопасностью, природным ландшафтом и качеством его благоустройства. Созданная база знаний и опыта может быть использована для разработки новых проектов и улучшения существующих объектов [28, 29].

Этот подход способствует повышению качества и эффективности проектирования вузов, обеспечит создание современных и функциональных образовательных и научных пространств, а также повлияет на разработку стратегий и методов исправления проектируемых решений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Моторина Ю.В., Москвин Н.А. Формирование пространства университетских кампусов с целью создания благоприятных условий с учетом современных требований и развития в структуре города // Вестник Российского университета Дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2013. № 5. С. 76–85. EDN: SDLVQF.
2. Ayotunde Dawodu, Haoyue Dai, Tong Zou, Hongjie Zhou, Wenhan Lian, Jumoke Oladejo [et al.] Campus Sustainability Research: Indicators and Dimensions to Consider for The Design and Assessment of a Sustainable Campus // Heliyon. 2022. Vol. 8. Iss. 12. P. 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11864>.
3. Letzter J. The Architecture of Academic Libraries in Israel: Knowledge and Prestige // The Journal of Academic Librarianship. 2023. Vol. 49. Iss. 2. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.acalib.2022.102645>.
4. Ахмедьянова Г.Ф., Мошуров Н.П., Ерошенко О.С. Влияние университетской среды на успешность обучения студентов технического профиля // Теория и практика общественного развития. 2014. № 7. С. 70–72. EDN: SDYBDP.
5. Yan Hong Shanghai College: An Architectural History of the Campus Designed by Henry K. Murphy // Frontiers of Architectural Research. 2016. Vol. 5. Iss. 4. P. 466–476. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.07.002>.
6. Пучков М.В. Университетский кампус. Принципы создания пространства современных университетских комплексов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 3 (32). С. 79–88. EDN: OEDUUX.
7. Пугач В.Н. Рейтинги вузов как один из способов оценки качества образования // Интернет-журнал «Науковедение». 2011. № 2 (7). С. 1–14. EDN: OJQRDZ.
8. Гришина М.П. Анализ состояния зеленых насаждений на территории вуза с использованием современных технологий // Лесное хозяйство. Материалы докладов 85-й науч.-тех. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с междунар. участием) (г. Минск, 01–13 февраля 2021 г.). Минск, 2021. С. 219–220. EDN: XPFUDZ.
9. Grishina M.P. Analysis of the Functional Planning Development of Cities in the USSR on the Example of Kazan // Proceedings of STCCE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 169. P. 101–112.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-80103-8_11.

10. Гришина М.П., Еремеева К.Н. Принципы формирования архитектуры современных речных вокзалов // *Архитектура и строительство России*. 2022. № 2 (242). С. 34–39. EDN: LDSZWU.
11. Troyer D. Imagine If We Could Start Over: Designing A College from Scratch // *About Campus*. 2005. Vol. 10. Iss. 4. P. 4–9. <https://doi.org/10.1002/abc.136>.
12. Hajrasouliha A. Campus Score: Measuring University Campus Qualities // *Landscape and Urban Planning*. 2017. Vol. 158. P. 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.10.007>.
13. Amaral A.R., Rodrigues E., Gaspar A.R., Gomes Á. A Review of Empirical Data of Sustainability Initiatives in University Campus Operations // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 250. P. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119558>.
14. Свечкарь Е.С. Особенности формирования современных молодежных центров // *Архитектура и современные информационные технологии*. 2022. № 3 (60). С. 112–126. <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2022-3-112-126>. EDN: WTLJBE.
15. Молоткова В.А., Антюфеев А.В. Архитектурно-планировочная организация внутренних пространств университетских кампусов на примере территории института архитектуры и строительства ВОЛГГТУ // *Социология города*. 2023. № 1. С. 83–99. https://doi.org/10.35211/19943520_2023_1_83. EDN: MTOALF.
16. Веселкина М.В. Особенности проектирования студенческих городков и общежитий // *В мире науки и искусства: вопросы филологии, искусствоведения и культурологии*. 2016. № 59. С. 11–16. EDN: VVDLRB.
17. Корякин Ю.М., Пучкин И.А. Формирование студенческих кампусов в крупнейших городах России // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство. Сборник статей 74-й Международной научно-технической конференции (г. Самара, 10–14 апреля 2017 г.)*. Самара, 2017. С. 308–311. EDN: YRAXYV.
18. Зобова М.Г. Современные аспекты архитектурно-градостроительного проектирования университетских кампусов // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2015. № 3 (178). С. 243–248. EDN: UFZJJV.
19. Ендовицкая А.Г. Студенческий кампус: инфраструктура безопасности // *Организация работы с молодежью*. 2017. № 1. С. 1–4. EDN: YOUPWS.
20. Глушко Н.М., Деренок А.Д., Чулков Н.А. Проблемы безопасности вузовских инновационных центров нового поколения (общежитий, кампусов) // *Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сб. трудов XVIII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Сочи, 01–10 октября 2021 г.)*. М., 2021. С. 94–98. EDN: JQKMRK.
21. Пасько О.А. Особенности землеустройства и тенденции развития кампусов // *Записки горного института*. 2013. Т. 204. С. 147–153. EDN: RSEQXL.
22. Захаревская Н.С., Снядовская Т.Ю. Тенденции в развитии архитектуры студенческих городков // *Проблемы теории и истории архитектуры Украины*. 2018. № 18. С. 213–221.
23. Тютин А.Д., Гаджидибиров А.М. Актуальные тенденции в архитектуре современного студенческого кампуса // *Евразийское научное объединение*. 2020. № 12-8 (70). С. 555–557. EDN: UBLTZL.
24. Гончикова Я., Галенко Е.В. Инфраструктура для развития делового туризма на территории кампуса ДВФУ // *Менеджмент предпринимательской деятельности. Материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф. преподавателей, докторантов, аспирантов и студентов (г. Симферополь, 18–19 апреля 2019 г.)*. Симферополь, 2019. С. 359–362. EDN: ZHYJIS.
25. Сталинская Е.П. Краткосрочные формы коллективного художественного образования подростков (арт-кампусы, творческие смены, образовательные пленэры) // *Искусство и диалог культур. Сборник научных трудов XIV Международной межвузовской научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 02 апреля 2021 г.)*. СПб, 2021. С. 122–130. EDN: BHPDNF.
26. Дьяков И.Г., Щербинина О.С. Организация работы с одаренными школьниками на базе университета // *Ярославский педагогический вестник*. 2019. № 1 (106). С. 23–29. <https://doi.org/10.24411/1813-145X-2019-10273>. EDN: VUWBPA.
27. Дагданова И.Б. Университетский кампус как пространство социального взаимодействия (на примерах современных кампусов зарубежья) // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2015. № 1 (12). С. 127–137. EDN: TQMJZD.
28. Вавилонская Т.В. Сохранение и обновление архитектурно-исторической среды Самарского Поволжья // *Архитектура и строительство России*. 2014. № 12. С. 2–9. EDN: TDNZJZ.
29. Гринев Р.В. Композиционная основа как главный принцип принятия пространственных решений при создании масштабных системных средовых комплексов (на примере проектных решений, принимаемых при работе на объектах ТГУ) // *Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья: сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции (заочной) (г. Тольятти, 16–18 сентября 2015 г.)*. Тольятти, 2015. С. 224–229. EDN: UKARBB.

REFERENCES

1. Motorina Y.V., Moskvina N.A. Space Planning of University Campus in Order to Provide Environment Considering Modern Requirements in City Structure. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2013;5:76-85. (In Russ.). EDN: SDLVQF.
2. Ayotunde Dawodu, Haoyue Dai, Tong Zou, Hongjie Zhou, Wenhan Lian, Jumoke Oladejo [et al.] Campus Sustainability Research: Indicators and Dimensions to Consider for The Design and Assessment of a Sustainable Campus. *Heliyon*. 2022;8(12):1-26. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11864>.
3. Letzter J. The Architecture of Academic Libraries in Israel: Knowledge and Prestige. *The Journal of Academic Librarianship*. 2023;49(2):1-17. <https://doi.org/10.1016/j.acalib.2022.102645>.
4. Akhmedyanova G.F., Moshurov N.P., Eroshenko O.S. Impact of The University Environment On Efficient Education of Students Majoring in Technical Sciences. *Theory and Practice of Social Development*. 2014;7:70-72. (In Russ.). EDN: SDYBDP.
5. Yan Hong Shanghai College: An Architectural History of the Campus Designed by Henry K. Murphy. *Frontiers of Architectural Research*. 2016;5(4):466-476. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.07.002>.
6. Puchkov M.V. University Campus. Principles of Architectural and Urban Design for Modern University Complexes. *Journal of Construction and Architecture*. 2011;3(32):79-88. (In Russ.). EDN: OEDUUX.
7. Pugach V.N. University Ratings as One of the Ways to Assess the Quality of Education. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2011;2(7):1-14. (In Russ.). EDN: OJQRDZ.
8. Grishina M.P. Analysis of The State of Green Spaces On The Territory of the University Using Modern Technologies. In: *Lesnoe khozyaistvo. Materialy dokladov 85-i nauchno-tekhnicheskoi konferentsii professor-sko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem) = Forestry. Materials of Reports of The 85th Scientific and Technical Conference of Teaching Staff, Researchers and Graduate Students (With International Participation)*. 01–13 February 2021, Minsk,. Minsk; 2021. p. 219–220. (In Russ.). EDN: XPFUDZ.
9. Grishina M.P. Analysis of the Functional Planning Development of Cities in the USSR on the Example of Kazan. *Proceedings of STCCE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021;169:101-112. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80103-8_11.
10. Grishina M.P., Ereemeeva K.N. Principles of Formation of Architecture of Modern River Stations. *Architecture and Construction of Russia*. 2022;2(242):34-39. (In Russ.). EDN: LDSZWU.
11. Troyer D. Imagine If We Could Start Over: Designing A College from Scratch. *About Campus*. 2005;10(4):4-9. <https://doi.org/10.1002/abc.136>.
12. Hajrasouliha A. Campus Score: Measuring University Campus Qualities. *Landscape and Urban Planning*. 2017;158:166-176. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.10.007>.
13. Amaral A.R., Rodrigues E., Gaspar A.R., Gomes Á. A Review of Empirical Data of Sustainability Initiatives in University Campus Operations. *Journal of Cleaner Production*. 2020;250:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119558>.
14. Svehkar E.S. Features of The Formation of Modern Youth Centers. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2022;3(60):112-126. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2022-3-112-126>. EDN: WTLJBE.
15. Molotkova V.A., Antufeev A.V. Architectural and Planning Organization of Internal Spaces of University Campuses On the Example of the Territory of the Institute of Architecture and Construction of VSTU. *Urban Sociology*. 2023;1:83-99. (In Russ.). https://doi.org/10.35211/19943520_2023_1_83. EDN: MTOALF.
16. Vesolkina M.V. Design Features of Campus and Student Dormitory. *V mire nauki i iskusstva: voprosy filologii, iskusstvovedeniya i kul'turologii*. 2016;59:11-16. (In Russ.). EDN: VVDLRB.
17. Koryakin Yu.M., Puchkin I.A. Formation of Student Campuses in The Largest Cities of Russia. In: *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Gradostroitel'stvo. Sbornik statei 74-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Urban Planning. Collection of Articles of The 74th International Scientific and Technical Conference*. 10–14 April 2017, Samara. Samara; 2017. p. 308–311. (In Russ.). EDN: YRAXYV.
18. Zobova M.G. Modern Principles of Architectural and Urban Designing of University Campuses. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2015;3(178):243-248. (In Russ.). EDN: UFZJJV.
19. Endovitskaya A.G. Student Campus: Security Infrastructure. *Organizatsiya raboty s molodezh'yu*. 2017;1:1-4. (In Russ.). EDN: YOUPWS.
20. Glushko N.M., Derenok A.D., Chulkov N.A. Security Problems of New-Generation University Innovation Centers (Dormitories, Campuses). In: *Innovatsionnye, informatsionnye i kommunikatsionnye tekhnologii: sbornik trudov XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Innovative, Information and Communication Technologies: Collection of Proceedings of The XVIII International Scientific and Practical Conference*. 01–10 October 2021, Sochi. Moscow; 2021. p. 94–98. (In Russ.). EDN: JQKMRK.

21. Pas'ko O.A. Features of Land Management and Trends in Campus Development. *Journal of Mining Institute*. 2013;204:147-153. (In Russ.). EDN: RSEQXL.
22. Zakharevskaya N.S., Snyadovskaya T.Yu. Trends in The Development of Campus Architecture. *Problemy teorii i istorii arkhitektury Ukrainy*. 2018;18:213-221. (In Russ.).
23. Tyutina A.D., Gadzhidibirov A.M. Current Trends in The Architecture of a Modern Student Campus. *Evraziiskoe nauchnoe ob"edinenie*. 2020;12-8(70):555-557. (In Russ.). EDN: UBLTZL.
24. Gonchikova J., Galenko E.V. Infrastructure for The Development of Business Tourism in The FEFU Campus Territory. In: *Menedzhment predprinimatel'skoi deyatel'nosti. Materialy XVII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii prepodavatelei, doktorantov, aspirantov i studentov = Business Management. Materials of The XVII International Scientific and Practical Conference of Teachers, Doctoral Students, Graduate Students and Students*. 18–19 April 2019, Simferopol. Simferopol; 2019. p. 359–362. (In Russ.). EDN: ZHYJIS.
25. Stalinskaya E.P. Short-Term Forms of Collective Art Education for Adolescents (Art Campuses, Creative Sessions, Educational Plein Air Painting Classes). In: *Iskusstvo i dialog kul'tur. Sbornik nauchnykh trudov XIV Mezhdunarodnoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Art and Dialogue of Cultures. Collection of Scientific Papers of The XIV International Interuniversity Scientific and Practical Conference*. 02 April 2021, Saint Petersburg. Saint Petersburg, 2021. p. 122–130. (In Russ.). EDN: BHPDHF.
26. Diyakov I.G., Shcherbinina O.S. Organization of Work with Gifted Schoolchildren in The University. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*. 2019;1(106):23-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1813-145X-2019-10273>. EDN: VUWBPA.
27. Dagdanova I.B. University Campus as The Area of Sociable Collaboration (At The Examples of Modern Foreign Campuses). *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2015;1(12):127-137. (In Russ.). EDN: TQMJZD.
28. Vavilonskaja T.V. Preservation and Updating of the Architecturally Historical Environment of Region On an Example of the Samara Region. *Architecture and Construction of Russia*. 2014;12:2-9. (In Russ.). EDN: TDNZJZ.
29. Grinev R.V. Compositional Basis as The Main Principle of Making Spatial Decisions When Creating Large-Scale Systemic Environmental Complexes (Using The Example of Design Decisions Made When Working at TSU Facilities). In: *Gradostroitel'stvo, rekonstruktsiya i inzhenernoe obespechenie ustoichivogo razvitiya gorodov Povolzh'ya: sbornik trudov IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (zaочно) = Urban Planning, Reconstruction and Engineering Support for Sustainable Development of Volga Region Cities: Collection of Proceedings of The IV All-Russian Scientific and Practical Conference (Correspondence)*. 16–18 September 2015, Tolyatti. Togliatti; 2015. p. 224–229. (In Russ.). EDN: UKARBB.

Информация об авторах**Гришина Мария Павловна,**

кандидат архитектуры, доцент
Казанский государственный
архитектурно-строительный университет,
420061, г. Казань, ул. Калинина 43, Россия,
e-mail: grishinih@yandex.ru.
<https://orcid.org/0000-0001-8234-8403>
Author ID: 855287

Михайлова Анна Евгеньевна,

архитектор-проектировщик,
проектная фирма ООО «Архикон».
420094, г. Казань, ул. Аделя Кутуя 2а, Россия,
✉e-mail: anna.mikhaylova.archi00@gmail.com.
<https://orcid.org/0009-0003-9191-0033>

Information about the authors**Maria P. Grishina,**

Cand. of Architecture, Associate Professor,
Kazan State University of Architecture and Civil
Engineering,
43 Kalinina St., Kazan 420061, Russia,
e-mail: grishinih@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8234-8403>
Author ID: 855287

Anna E. Mikhailova,

Architect,
Design firm LLC «Archicon»,
2a Adela Kutuya St., Kazan 420094, Russia,
✉e-mail: anna.mikhaylova.archi00@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-9191-0033>

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 20.06.2024.
Одобрена после рецензирования 03.07.2024.
Принята к публикации 05.07.2024.

Information about the article

The article was submitted 20.06.2024.
Approved after reviewing 03.07.2024.
Accepted for publication 05.07.2024.



Оценка влияния недостроенной части архитектурно-монументального комплекса «Каскад» как коммуникативного ядра между районами Кентрон и Канакер-Зейтун в городе Ереване и предложение по решению градостроительной проблемы

И.Е. Дружинина¹, Р.А. Селиванов², Г.Г. Шагинян³✉

^{1,2,3}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье рассматривается проблема коммуникации между районами Кентрон и Канакер-Зейтун в г. Ереване. Особое внимание отводится архитектурно-монументальному комплексу «Каскад». Он имеет важное градостроительное значение в структуре общественных пространств г. Еревана, а также занимает прочное место в сознании горожан в качестве одного из символов столицы Армении. Целью исследования является выявление причины проблемы пешеходной коммуникации между районами города, определение перспективы развития, преобразования и модернизации территории. Также проводится сравнительный анализ общественных пространств центра города, изучение общедоступных GPS-треков и исследование результатов социологического опроса. Результаты градостроительного анализа определяют проблему пешеходной доступности в городе, а также создают картину взаимосвязи общественных пространств. Результаты социологического исследования позволяют понять запросы горожан и гостей г. Еревана для последующего развития архитектурно-монументального комплекса «Каскад». Исследования качественных и количественных характеристик общественных пространств выявили проблемы коммуникации между районами города на композиционном луче север–юг, которые связаны с незавершенностью строительства пятой террасы комплекса. Социологическое исследование подтверждает необходимость завершения строительства. Опрос показывает мнения горожан и гостей города о потенциально возможном развитии среды «Каскада».

Ключевые слова: Ереван, архитектурно-монументальный комплекс «Каскад», памятник «50-летия Октябрьской революции», Кентрон, Канакер-Зейтун

Для цитирования: Дружинина И.Е., Селиванов Р.А., Шагинян Г.Г. Оценка влияния недостроенной части архитектурно-монументального комплекса «Каскад» как коммуникативного ядра между районами Кентрон и Канакер-Зейтун в городе Ереване и предложение по решению градостроительной проблемы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 629–645. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-629-645>. EDN: BUVLXX.

Original article

Assessing the impact of the unfinished part of the Cascade architectural and monumental complex as a communicative core between Kentron and Kanaker-Zeytun districts in Yerevan and a proposal for solving the urban planning problem

Inna E. Druzhinina¹, Roman A. Selivanov², Grach G. Shaginyan³✉

^{1,2,3}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper considers the problem of communication between Kentron and Kanaker-Zeytun districts in Yerevan. Particular attention is paid to the Cascade architectural and monumental complex. It obtains an important urban planning significance in the structure of public spaces in Yerevan and is considered by citizens as one of main symbols of the capital of Armenia. The study is aimed at identify-

ing the grounds for poor pedestrian communication between the districts of the city and determining the prospects of development, transformation, and modernization of the territory. The methodology involved a comparative analysis of public spaces in the city center, publicly available GPS tracks and the results of a sociological survey. The results of the urban planning analysis outline the problem of pedestrian accessibility in the city, and demonstrate the relationship between public spaces. The sociological survey depicts the demands of the citizens and guests of Yerevan for the further development of the Cascade architectural and monumental complex. Studying the qualitative and quantitative characteristics of public spaces revealed the problems of communication between the districts of the city on the north-south compositional axis, which are associated with the incomplete construction of the fifth terrace of the complex. Sociological research necessitates the construction to be completed. The survey shows the opinions of citizens and guests of the city about the potential development of the Cascade environment.

Keywords: Yerevan, Architectural and monumental complex Cascade, Monument to the 50th anniversary of the October Revolution, Kentron, Kanaker-Zeytun

For citation: Druzhinina I.E., Selivanov R.A., Shaginyan G.G. Assessing the impact of the unfinished part of the Cascade architectural and monumental complex as a communicative core between Kentron and Kanaker-Zeytun districts in Yerevan and a proposal for solving the urban planning problem. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):629-645. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-629-645>. EDN: BUVLXX.

ВВЕДЕНИЕ

Ереван, являясь городом древним, претерпевает метаморфозы на протяжении более 2800 лет. Город, который по официальным данным был основан еще в 782 г. до н. э. [1], сегодня является точкой притяжения для туристов и людей, которые поменяли прежнее место жительства на Армению. Сейчас советский «розовый» г. Ереван стал местом, где объединяются жители Армении и этнические армяне, которые посещают свою историческую родину [2]. На протяжении почти трех тысяч лет не раз изменялись его структурные особенности. Э. Цайдлер считает, что «Подобно любой структуре или системе, города требуют постоянной заботы и обновления – восстановления и реконструкции частей города» [3]. Современный облик г. Еревана был создан 99 лет назад (в 1924 г.).

По плану Александра Таманяна и Николая Буниатяна в 1924 г. он должен был превратиться в социалистический город-сад, административную и культурную столицу Армении [4]. Целью архитекторов было спроектировать город, который стал бы символом возрождения нации [5]. «Основным принципом планирования Еревана было единение города с рельефом и его функциональное разделение на разные зоны – административную, промышленную, коммерческую, студенческую, жилую, культурную и др. с равномерным распределением жилых зданий по территории города. До 15 % площади города было отведено для озеленения. Так, например, чтобы защитить город от северных ветров, в север-

ной части города был запроектирован большой лесопарк. Планировка Еревана характеризуется сочетанием круговых, радиальных и прямоугольных улиц. Опыт дальнейшей эксплуатации города показывает, что принятая форма расположения улиц и проспектов, окруженных круглым лесопарком, является наиболее рациональной для рельефа города» [6]. Несмотря на недолгий исторический период своего существования, советской архитектурой были зафиксированы различные достижения [7, 8]. Учитывая это, а также мировой архитектурный опыт, Александр Таманян приступил к созданию проекта для г. Еревана. Для него гора Арабат стала главным пространственным ориентиром и идейным стержнем во время проектирования советского города.

Проект города-сада до сих пор является актуальным для центральной части г. Еревана, ставшим его особенностью. Говоря о структуре «г. Еревана Таманяна», следует обратить внимание на логично созданные общественные пространства и коммуникации между ними. Большая часть важных общественных пространств центра города находится на каркасе градостроительной системы, который формируют главные транспортные магистрали, коммуникационные узлы, общественные, деловые и другие уникальные комплексы, притягивающие массовые потоки посетителей [9].

Следовательно, люди проводят большое количество времени в них [10]. Элементы градостроительного каркаса города взаимодей-

ствуют на уровне их иерархической соподчиненности, формируя целостную композицию [11].

Формирование системы общественных пространств основано на принципах непрерывности и проницаемости, обеспечивающих связь с прилегающими территориями и доступность для всех жителей [12]. Считается, что современные и качественные общественные пространства благоприятно влияют не только на состояние проживающих рядом людей, но и на население города в целом, общий архитектурный вид, туристические потоки и экономическую сферу [13]. При изучении концепции формирования общественных пространств города были проанализированы существующие пространства и выявлены связи между ними. Стоит подчеркнуть, что не все их имеют пешеходные связи (рис. 1). Большой проблемой является отсутствие коммуникаций между архитектурно-монументальным комплексом «Каскад» и памятником «50-летия Октябрьской революции». Данный недостаток

лишает возможности передвижения населения между двумя общественными центрами – Кентрон и Канакер-Зейтун, что создает конфликтную зону в городском пространстве «когерентного города» [14, 15]. В данном отрезке композиции системы общественных пространств наблюдается фрагментарно разобранная градостроительная система без выстроенной иерархии элементов – разрозненный градостроительный контекст [16]. Изначально пространство на Канакерских холмах, задуманное академиком Александром Таманяном, представлялось системой ступеней, которая на композиционном луче север-юг являлась связующим звеном между частями города.

В наши дни архитектурно-монументальный комплекс «Каскад» не достроен и не до конца выполняет свою функцию. Территория незавершенной части составляет 34,75 % от общей длины комплекса до памятника «50-летия Октябрьской революции» с размером около 421 м.



Рис. 1. Схема системы общественных пространств центра города Ереван, 2023 г.

Автор Г.Г. Шагинян, руководитель Р.А. Селиванов

Fig. 1. Scheme of the system of public spaces in the city center of Yerevan, 2023.

Author G.G. Shaginyan, supervisor R.A. Selivanov

Указанные на рис. 1 номера соответствуют номеру общественного пространства из

табл. 1. «Каскад» все еще продолжает долгий путь проектирования и застройки. По проекту

Джима Торосяна, Саркиса Гюрзадяна и Аслана Мхитаряна в 1971 г. началось строительство комплекса. Связь ландшафта и архитектурного сооружения настолько органична, что кажется, будто здания «вырастают» из естественного рельефа [17]. «Касакад» является архитектурно-монументальным комплексом, состоящим из пяти террас длиной 500 м. Ширина комплекса – 50 м. Перепад высот от начала комплекса до памятника «50-летия Октябрьской революции» – более 100 м [18]. По словам Карена Бальяна «Архитектура Джима Торосяна представляет собой пример исключительного развития художественной формы в соединении с широтой градостроительного подхода. Его самое значительное по масштабу сооружение – “Каскад” в центре г. Еревана, намеченный еще в таманяновском плане, представляет раскрытый на город и гору Арарат градостроительный комплекс, решенный как многосложное художественное сооружение» [19].

Верхняя терраса должна была стать открытым выставочным залом с фонтанами. От него ступеньки должны были вести к площадке памятника. Спитакское землетрясение, распад СССР, Первая Карабахская война, а также мировой финансовый кризис 2008–2009 гг. и нехватка финансов в дальнейшем стали основными причинами приостановки реализации таманяновской идеи [20]. Открытый выставочный зал так и не был построен. В 2002-м г. парламент Армении принял закон, в соответствии с которым вся территория (около 13 га) была предоставлена Джерарду Л. Гэфесчяну с условием, что в течение пяти лет там будет построен музей. Существующая часть комплекса была отреставрирована и в 2009 г. в нем был открыт Центр искусств Гэфесчяна. С 2009 г. на территории ландшафтного сквера у подножия «Каскада» действует художественный музей, где представлено более 20 скульптурных композиций и произведений современного искусства [21]. Также был объявлен конкурс на строительство музея в верхней части комплекса, но представленные на нем проекты не были реализованы, так как ни один из них не понравился директору Центра искусств¹. После, архитектором из США, Дэвидом Хадсоном был предложен проект, который не был построен из-за его высокой стоимости. В наши дни верхняя терраса архитектурно-монументального комплекса все еще остается

незавершенной.

Цель исследования – выявить причины проблемы пешеходной коммуникации между районами города, определить возможности перспективного развития, преобразования и модернизации территории.

Материалами исследования являются данные из подробной свободной географической карты мира, социологическое исследование, картографические сведения и снимки из космоса.

МЕТОДЫ

В исследовании проводится сравнительный анализ вместимости общественных пространств центра города, изучение потоков пешеходного движения по композиционному лучу север-юг (от пересечения композиционной оси Кольцевого бульвара в южной части с просп. Тиграна Меца и территорией памятника «50-летия Октябрьской революции» на севере).

Помимо этого, были рассмотрены общедоступные GPS-треки, созданные множеством пользователей на краудсорсинговой основе в OpenStreetMap на всем протяжении архитектурно-монументального комплекса «Каскад». Также было проведено сравнительное социологическое исследование, выявляющее предпочтения и желания не только жителей, но и гостей страны о формировании среды комплекса и его перспективном развитии [22, 23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование в данной статье построено по принципу от общего к частному. Вначале изучалась вместимость общественных пространств центра г. Еревана как важнейших компонентов городской среды [24], в число которых входит комплекс, и сравнение реальной активности в данных пространствах. Далее рассматривались открытые общественные пространства, сопряженные с пешеходной осью север-юг, которая является важным композиционным лучом, связывающим районы города. Затем детально изучались проблемы пешеходного движения по архитектурно-монументальному комплексу «Каскад».

Объектом исследования выступает проблема пешеходной коммуникации между районами города. Предметом исследования является возможность пешеходного движения между районами города через систему общественных пространств. Наряду с изучением градостроительных аспектов в статье приводятся результаты социологического исследо-

¹Ереванский Каскад – живая история // mediamax. Режим доступа: <https://mediamax.am/> (дата обращения: 06.12.23).

вания среди жителей из разных регионов Армении и зарубежья.

Результаты градостроительного анализа определяют проблему пешеходной доступности в городе и создают картину взаимосвязи общественных пространств. Результаты социологического исследования позволяют понять запросы горожан и гостей города о дальнейшем развитии архитектурно-монументального комплекса «Каскад». Для выполнения сравнительного анализа вместимости общественных пространств центра г. Еревана, а также некоторых пространств за административной границей центра, и сопоставления этих данных с существующей ситуацией можно воспользоваться схемой системы общественных пространств города для их выявления. Схема включает три административных района: Кентрон, Канакер-Зейтун и Арабкир. Исследование предполагает вычисление площади общественных пространств центра и районов города – Канакер-Зейтун и Арабкир, сопоставление полученных данных, а также сравнение данных активности пешеходного движения на исследуемых участках с

помощью данных из подробной свободной географической карты мира. Это поможет определить самые популярные общественные пространства в городе и понять важность «Каскада» в их пространственной структуре. В ходе анализа были изучены данные 26 разных общественных пространств по двум критериям: площадь и посещаемость. Общая площадь составляет около 102,695 га. Архитектурно-монументальный комплекс «Каскад», имеющий 2,26 га территории в контурах, занимает 2,2 % от общей площади исследованных пространств. В их структуре комплекс является седьмым по размерам, а территория памятника «50-летия Октябрьской революции» – пятнадцатой. По активности пешеходного движения, по данным GPS-треков, «Каскад» занимает первое место, обходя по активности все важнейшие общественные центры города. Стоит отметить, что территория памятника по активности пешеходного движения на 87,5 % меньше, чем на территории комплекса (таблица). Такая разница активности определяется по большей части незавершенностью строительства комплекса.

Результат оценки площади и активности в общественных пространствах в административных районах Кентрон, Канакер-Зейтун и Арабкир в г. Ереване
The result of assessing the area and activity in public spaces in the administrative districts of Kentron, Kanaker-Zeytun and Arabkir in Yerevan

№	Название общественного пространства	Координаты места	S общественного пространства (га)	% площади по отношению ко всем общественным пространствам	% активности на участке по данным GPS-треков (за 100 % принимается максимальная активность)
1	Английский парк	40°10'27" с. ш. 44°30'29" в. д.	5,5	5,36 (3)	1,56 (17)
2	Парк 2800-летия г. Еревана	40°10'31" с. ш. 44°30'26" в. д.	1,5	1,46 (11)	7,81 (13)
3	Детский парк	40°10'33.28" с. ш. 44°30'27.86" в. д.	2,8	2,73 (5)	4,69 (15)
4	Сквер им. Шаумяна	40°10'38.77" с. ш. 44°27'27.25.83" в. д.	1,8	1,75 (10)	12,5 (11)
5	Площадь Республики	40°10'39" с. ш. 44°30'45" в. д.	0,8	0,78 (17)	54,69 (5)
6	Северный проспект	40°10'56" с. ш. 44°30'53" в. д.	1,215	1,18 (13)	31,25 (6)
7	Площадь Свободы с примыкающей территорией в границах ул. Туманяна, ул. Теряна, просп. Саят-Новы, просп. Месропа Маштоца	40°11'07" с. ш. 44°30'55" в. д.	4,57	4,45 (4)	68,75 (3)

Продолжение таблицы

№	Название общественного пространства	Координаты места	S обществен-ного пространства (га)	% площади по отношению ко всем общественным пространствам	% активности на участке по данным GPS-треков (за 100 % принимается максимальная активность)
8	Сквер им. Мартироса Сарьяна	40°11'14.21" с. ш. 44°30'51.18" в. д.	1,2	1,17 (14)	12,5 (11)
9	Сквер им. Комитаса	40°11'13.89" с. ш. 44°30'58.43" в. д.	1,2	1,17 (14)	7,81 (13)
10	Сквер в контурах ул. Московян, просп. Саят-Новы, просп. Месропа Маштоца	40°11'17.16" с. ш. 44°30'54.89" в. д.	0,73	0,71 (18)	23,44 (7)
11	Сквер им. Александра Таманяна	40°11'22.29" с. ш. 44°30'55.44" в. д.	0,6	0,6 (19)	31,25 (6)
12	Архитектурно-монументальный комплекс «Каскад» с учетом недостроенной части	40°11'29" с. ш. 44°30'56" в. д.	2,26	2,2 (7)	100 (1)
13	Территория памятника 50-летия Октябрьской Революции	40°11'42.31" с. ш. 44°30'56.56" в. д.	1	0,97 (15)	12,5 (11)
14	Парк Победы	40°11'46" с. ш. 44°31'18" в. д.	33	32,13 (1)	18,75 (9)
15	Парк им. Ваагн Давтяна	40°12'17.24" с. ш. 44°31'0.43" в. д.	2,35	2,11 (9)	9,375 (12)
16	Парк им. Дианы Абгар	40°11'0.24" с. ш. 44°30'26.87" в. д.	2,17	2,11 (9)	65,63 (4)
17	Сквер Мисака Манушяна	40°10'53.08" с. ш. 44°30'37.1" в. д.	0,97	0,94 (16)	21,88 (8)
18	Сквер Хачкаров	40°10'38.52" с. ш. 44°30'57.5" в. д.	1,4	1,4 (12)	14,06 (10)
19	Вернисаж	40°10'33" с. ш. 44°31'06" в. д.	2,18	2,12 (8)	18,75 (9)
20	Кольцевой бульвар	40°10'36" с. ш. 44°31'23" в. д.	30	29,21 (2)	89,06 (2)
21	Обсерватория Аграрного университета	40°11'24.69" с. ш. 44°31'28.1" в. д.	1,8	1,75 (10)	4,69 (15)
22	Парк влюбленных	40°11'29" с. ш. 44°30'20" в. д.	2,5	2,43 (6)	1,56 (17)
23	Сквер перед Национальным университетом архитектуры и строительства Армении	40°11'26.89" с. ш. 44°31'24.61" в. д.	0,32	0,31 (21)	0 (18)

Окончание таблицы

№	Название общественного пространства	Координаты места	S обществен-ного пространства (га)	% площади по отношению ко всем общественным пространствам	% активности на участке по данным GPS-треков (за 100 % принимается максимальная активность)
24	Сквер перед цирком	40°10'17.54" с. ш. 44°30'30.79" в. д.	0,27	0,26 (22)	6,25 (14)
25	Пространство перед зданием Матенад-рана	40°11'31.07" с. ш. 44°31'14.73" в. д.	0,16	0,16 (23)	3,13 (16)
26	Пространство перед Церковью Святой Богородицы Катоги-ке	40°11'3.57" с. ш. 44°31'7.66" в. д.	0,4	0,39 (20)	6,25 (14)

В статье уже упоминалось о важности луча север-юг как основного направления для пешеходного движения. В ходе исследования выявились его закономерности, основанные на базе данных из подробной свободной географической карты мира, сведенные в таблице. Ось север-юг на участке, начинающаяся с пересечения композиционной оси Кольцевого бульвара с просп. Тиграна Меца с юга и заканчивающаяся территорией памятника «50-летия Октябрьской революции» с севера, проходит через ряд общественных пространств:

- начало Кольцевого бульвара;
- площадь Республики;
- Северный проспект;
- площадь Свободы с примыкающей территорией в границах ул. Туманяна и Теряна, просп. Саят-Новы и Месропа Маштоца;
- сквер в контурах ул. Московян, просп. Саят-Новы и Месропа Маштоца;
- сквер им. Александра Таманяна;
- архитектурно-монументальный комплекс «Каскад» и территория памятника «50-летия Октябрьской революции».

Стоит также обратить внимание на то, что на этих территориях находятся архитектурные объекты, имеющие доминирующий характер в среде. Таким образом, начало Кольцевого бульвара акцентируется собором Святого Григория Просветителя и бывшим кинотеатром «Россия», площадь Республики – Национальной галереей Армении (при наблюдении с юга), площадь Свободы – Национальным академическим театром оперы и балета им. Александра Спендиаряна. Архитектурно-монументальный комплекс «Каскад» и памятник «50-летия Октябрьской революции» являются доминантами на своих территориях. Данные из таблицы показывают, что пеше-

ходная активность на протяжении всего луча до комплекса обладает высокой активностью, также можно заметить закономерность увеличения пешеходного потока при движении с центра города на его территорию. Таким образом, на площади Республики видно 54,69 % активности пешеходного движения, что является пятым результатом среди проанализированных пространств. По композиционной оси север-юг на площадь можно попасть с просп. Тиграна Меца. Следующим общественным пространством на композиционном луче является Северный проспект, который является первой масштабной застройкой на территории Армении после распада СССР [25].

Пешеходная активность составляет 31,25 %, что является шестым результатом. Снижение активности может быть связано с распределяющим характером площади Республики. Она находится на пересечении нескольких пространственных лучей, на которых наблюдается большое количество общественных пространств, следовательно, люди двигаются по разным направлениям. Данные таблицы показывают, что 57,14 % пешеходов, находящихся на главной площади страны, продолжают движение по Северному проспекту. Территория этого важнейшего градостроительного узла устанавливает пространственную связь между комплексами Оперного театра и Площадью Республики [26].

Другим общественным пространством при движении по лучу является площадь Свободы с примыкающей территорией в границах ул. Туманяна и Теряна, просп. Саят-Новы и Месропа Маштоца. Процент активности составляет 68,75 %, что является третьим результатом после «Каскада» и Кольцевого бульвара.

Немалую роль в формировании такого потока имеет Национальный академический театр оперы и балета им. Александра Спендиаряна, который является важной пространственной доминантой и точкой притяжения горожан и гостей города. Созданный архитектором Александром Ивановичем Таманяном Народный дом явился вершиной его многогранной творческой деятельности, изучение которой в последние годы получает новое качество. Не случайно в 1933 г. зодчий изображен другим великим основателем нового армянского искусства Мартиросом Сарьяном на фоне именно этой постройки [27].

Седьмым по результату исследования активности на участке по данным GPS-треков является сквер в контурах ул. Московян, просп. Саят-Новы и Месропа Маштоца, через него можно попасть на сквер им. Александра Таманяна, чьи данные совпадают с данными Северного проспекта.

Максимальную активность по данным таблицы имеет архитектурно-монументальный комплекс «Каскад». Это может быть связано с рядом причин:

- наличие ресторанов и кафе по ул. Таманяна;
- создание на территории сквера им. Александра Таманяна музея под открытым небом [28] с экспонатами современного искусства от авторов из разных уголков мира;
- открытие центра искусств Гафесчяна на территории «Каскада».

В контексте общественных пространств города, таких как площадь, улица, автобусная остановка, рынок, кафе или торговый центр, парки имеют большое значение как места, формирующие и демонстрирующие имидж города. Сквер им. Александра Таманяна яв-

ляется таким пространством и направляет пешеходный поток к «Каскаду» [29].

Стоит отметить, что и с точки зрения расположения у него есть преимущество, так как он находится в «малом центре» города [30]. В ходе исследования получается график движения пешеходов по общественным пространствам по лучу север-юг (рис. 2), на котором можно увидеть закономерность: чем ближе к комплексу, тем выше активность людей. Это можно увидеть при сравнении таких общественных центров, которые примыкают к архитектурным доминантам, либо сами такими являются:

- площадь Республики с Национальной картинной галереей;
- площадь Свободы с Национальным академическим театром оперы и балета им. Александра Спендиаряна и архитектурно-монументальный комплекс «Каскад» (рис. 3).

Но при анализе всего изучаемого пространства наблюдается резкое сокращение пешеходного потока после комплекса (рис. 2, 3).

Следовательно, активность на территории памятника «50-летия Октябрьской революции» в восемь раз меньше, чем на территории комплекса. Интересным является тот факт, что вышеперечисленные общественные пространства, начиная с площади Республики и до комплекса «Каскад», по активности пешеходного движения занимают места с первого по третье и с пятого по седьмое (таблица). Для выявления конкретных причин, составляющих данную проблему, в статье приводятся результаты анализа формирования пешеходного движения по архитектурно-монументальному комплексу «Каскад» по траектории юг-север.

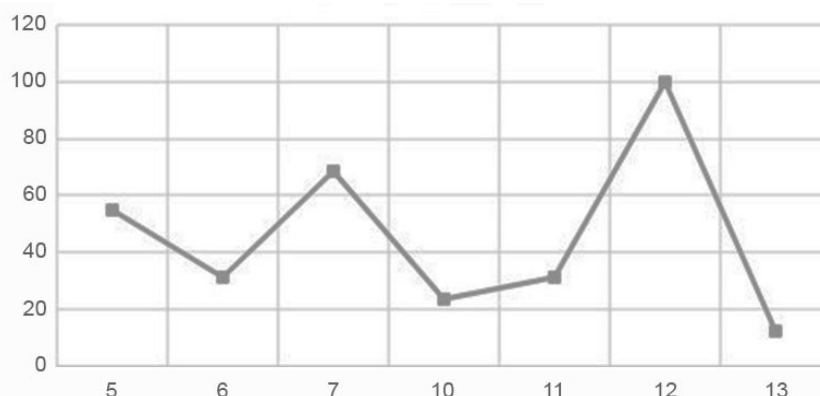


Рис. 2. График движения пешеходов по общественным пространствам по лучу север-юг (горизонтальные отметки соответствуют номеру общественного пространства из таблицы)

Fig. 2. The graph of pedestrian movement in public spaces along the North-South beam (horizontal marks correspond to the number of public space from the table)

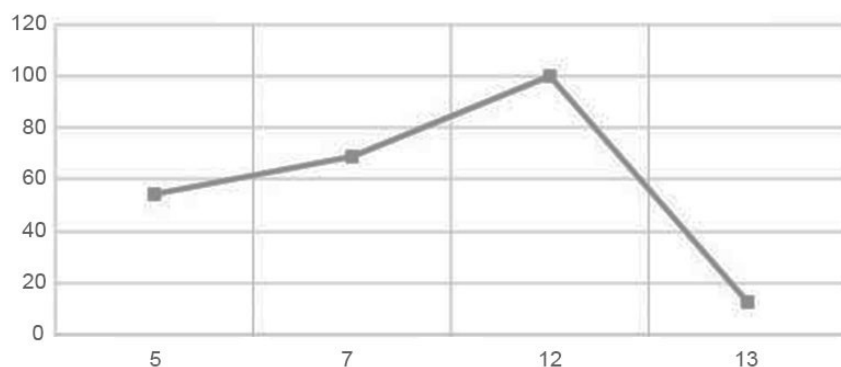


Рис. 3. График движения пешеходов по общественным пространствам по лучу север-юг, где есть доминанты (горизонтальные отметки соответствуют номеру общественного пространства из таблицы)

Fig. 3. The graph of pedestrian movement in public spaces along the North-South beam, where there are dominants (horizontal marks correspond to the number of public space from the table)

Для определения закономерностей формирования пешеходного движения по архитектурно-монументальному комплексу «Каскад» по траектории юг-север (с центрального района г. Еревана в район Канакер-Зейтун) проводится анализ общедоступных GPS-треков из картографического сервиса OpenStreetMap (рис. 4) [31]. Изучив интенсивность движения пешеходов по всему комплексу можно определить зоны, которые создают проблемы в коммуникации между районами города. В ходе исследования становится видно, что весь поток движения к архитектурно-монументальному комплексу «Каскад» осуществляется по ул. Таманяна и расположенному по центру скверу им. Александра Таманяна. Анализ показывает, что у подножья

Канакерских холмов, у основания комплекса, пешеходное движение делится на два потока: восточный и западный. Это происходит из-за особой структуры пешеходного движения по «Каскаду». По данным пешеходной активности на территории комплекса до второй террасы 46,88 % людей двигаются по восточному крылу, а 53,13 % – по западному (рис. 3). Это может быть связано с ориентацией. «Каскад», находясь на луче север-юг, развивался линейно. Направление композиционной оси и контуры совпадают. Следовательно, при движении к верхним террасам, человек может выбрать по какой стороне комплекса будет двигаться. Симметричная композиция формирует две возможные траектории движения: по восточной и западной частям (рис. 5).

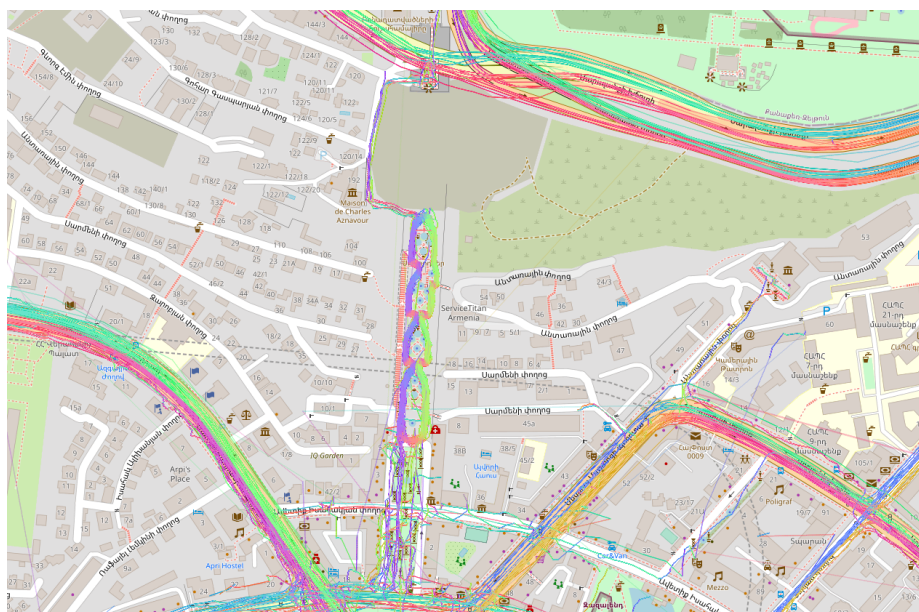


Рис. 4. GPS-треки на территории «Каскада» и на приливающей территории

Разница пешеходных потоков может быть определена движением солнца с востока на запад. Пешеходов с востока может быть меньше из-за дискомфорта при движении по этой стороне в солнечное время дня. Также на людей может повлиять другой фактор. Стоит отметить, что у западной части комплекса находится «Центр Азнавура». 7,81 % пешеходов, после подъема на верхнюю террасу, продолжают свою дорогу, двигаясь к нему. Они могут начать свое движение с западного крыла комплекса, чтобы сократить путь. «Центр Азнавура» является ярким визуальным образом в среде.

По мнению Виктории Эдуардовны Шевченко, визуальные образы легко запоминаются и дольше сохраняются в памяти, что обусловлено ее ассоциативностью [32]. Желание визуального изучения здания тоже может стать причиной движения по западному крылу «Каскада». У основания третьей террасы наблюдается изменение процентного соотношения движения пешеходов: 42,19 % справа и 57,81 % слева. У основания четвертой террасы ситуация не меняется из-за особенностей

архитектуры комплекса. Между ними есть промежуточный уровень, который нарушает ритмический ряд основных сегментов. Там установлены три хачкара и монумент, в верхней части которого находится распутившийся цветок, из которого появляется крест. Композиция выполнена целиком из травертина, как и весь комплекс, что придает цельности сооружению [33]. Эта часть создает то условие, при котором пешеходные потоки не пересекаются. Ближе к концу четвертой террасы недостроенная часть комплекса заканчивается и потоки пересекаются (рис. 6). Территория, около 146 м до памятника «50-летия Октябрьской революции», остается недостроенной. Следует отметить, что 7,81 % пешеходов продолжают свой путь, двигаясь к «Центру Азнавура», а потом направляются на север по ул. Верин Антараин и, добравшись до просп. Сараланджа, поднимаются на уровень памятника. Таким образом, для подъема на уровень памятника требуется пройти около 300 м, несмотря на возможность движения по прямой с конца четвертой террасы до его территории, что составляет примерно 150 м.

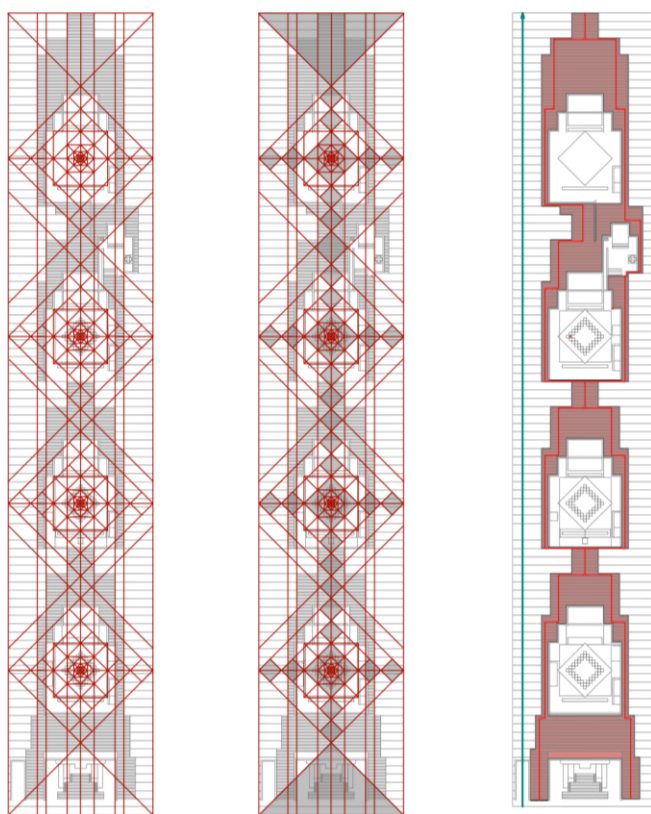


Рис. 5. Выявление пространственной структуры архитектурно-монументального комплекса «Каскад» и движения по комплексу, 2023 г.

Автор Г.Г. Шагинян, руководитель Р. А. Селиванов

Fig. 5. Identification of the spatial structure of the architectural and monumental complex Cascade and movement around the complex, 2023.

Author G.G. Shaginyan, supervisor R.A. Selivanov

Остальные пешеходы (92,19 %) поднимаются до конца верхней террасы, чтобы посмотреть на город с высоты и полюбоваться г. Арарат. В дальнейшем они спускаются вниз по комплексу в центральный район.

Исследование показывает, что сегодняшний архитектурно-монументальный комплекс «Каскад» не выполняет свою роль в качестве коммуникационной зоны между районами города. Люди поднимаются на верхнюю террасу, чтобы увидеть панораму города, хотя изначально пространство было задумано как одно из связывающих звеньев пешеходной системы. Было проведено анкетирование, целью которого являлось определение запросов

горожан и гостей г. Еревана для последующего развития архитектурно-монументального комплекса «Каскад» и пространственной среды.

В опросе приняло участие 236 человек, из них 72 % – представители женского пола, 28 % – мужского (рис. 7). Среди опрошенных 72,9 % – жители г. Еревана, 14,4 % – другие регионы Армении, 12,7 % – иностранцы из Российской Федерации, Соединенных Штатов Америки и Италии. Возраст 35,6 % опрошенных в пределах 35–50, 28 % – 18–23, 8,5 % – 27–35, 6,8 % – старше 50 лет, 5,9 % – 23–27 и 14–18, 5,1 % – 10–14 и 4,2 % – до 10-и лет (рис. 8).

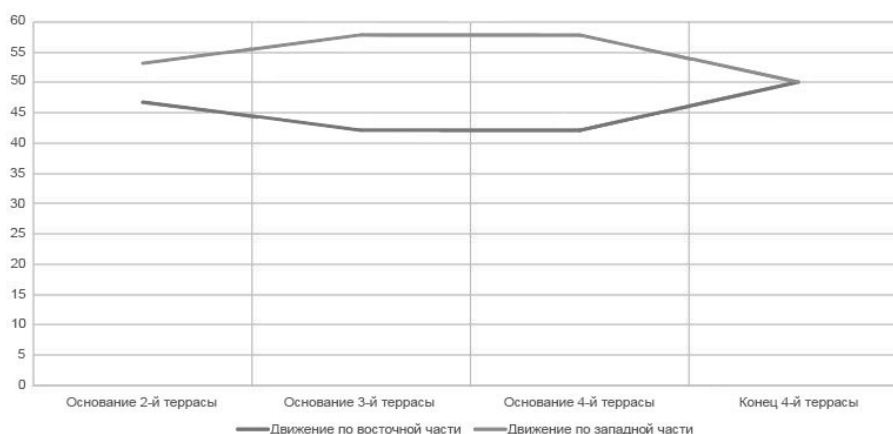


Рис. 6. График движения пешеходов по открытой части архитектурно-монументального комплекса «Каскад»

Fig. 6. Pedestrian movement schedule for the open part of the architectural and monumental complex Cascade

Укажите Ваш пол.

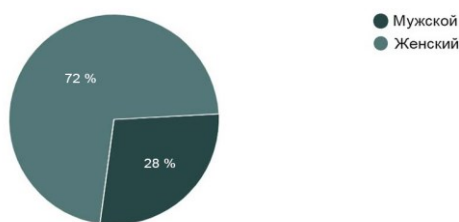


Рис. 7. Диаграмма половой принадлежности респондентов

Fig. 7. Gender diagram of respondents

Сколько Вам лет?

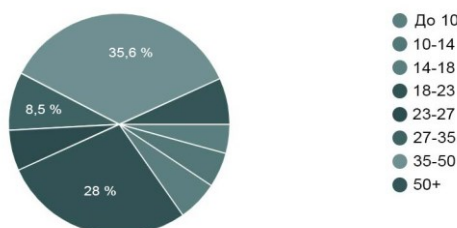


Рис. 8. Диаграмма возрастных категорий респондентов

Fig. 8. Diagram of age categories of respondents

На вопрос, каким видят развитие «Каскада», большинство опрошенных (67,6 %) хотели бы видеть парковые пространства для проведения отдыха с семьей и друзьями. Было отмечено, что дальнейшее развитие комплек-

са может быть осуществлено в виде системы закрытых и открытых амфитеатров (40,7 %), выставочных пространств (33,9 %), молодежного центра (33 %) и оранжереи (10,1 %) (рис. 9).

Каким Вы видите дальнейшее развитие «Каскада»?

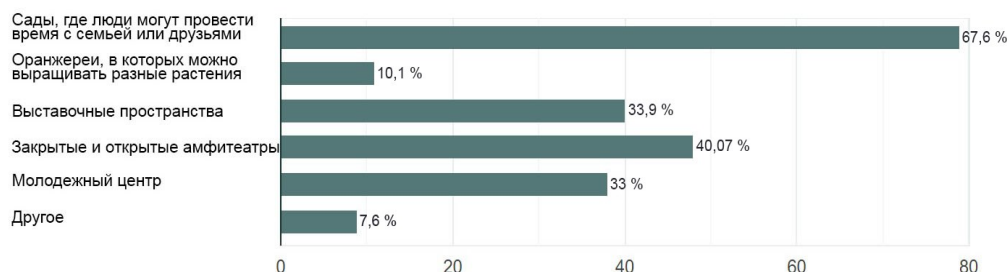


Рис. 9. Диаграмма предпочтений респондентов по функциональному наполнению «Каскада»
Fig. 9. Diagram of respondents' preferences for the functional content of Cascade

В ходе изучения данных социологического исследования видно, что 86,4 % опрошенных хотели бы видеть положительную динамику в развитии популярного среди населения комплекса. Из ответов на вопрос, какие иные варианты развития среды видят респонденты, можно выделить пять основных вариантов:

1. Создание озелененной амфитеатровой среды до памятника «50-летия Октябрьской революции» в структуре «Каскада».

2. Работа с окружающей средой архитектурно-монументального комплекса, максимально возможное озеленение Канакерских холмов.

3. Создание центров для молодежи и мастерские для творчества.

4. Формирование такой среды, функциональное наполнение которой отвечало бы принципу «больше культуры, меньше коммерции» с одной стороны, и с другой – не нагружало бюджета города.

5. Создание музейного комплекса, где могли бы быть представлены произведения искусства и центр паблик-арта в г. Ереване.

Результаты опроса показывают важность дальнейшего развития комплекса для горожан и гостей города. Развитие пятой террасы решит проблему коммуникации между районами и может стать одним из востребованных общественных пространств. Жители столицы в своих ответах акцентировали внимание на необходимости развития «Каскада» в архитектурной гармонии с уже существующими компонентами комплекса. Жители города чувствуют связь с их создателями и ответствен-

ность за трансляцию смыслов потомкам, а гости воспринимают памятники как материальное отражение чужой культуры.

Эстетические характеристики памятника для туристов являются первоочередными [34].

Жители Еревана видят дальнейшее развитие комплекса в гармонии с характерным для Еревана изобразительным языком [35]. Также опрошенные выделили важность пространства для коммуникации между людьми.

В процессе проектирования благоустройства «Каскада» необходимо предусмотреть общее пространство для социального взаимодействия [36].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования качественных и количественных характеристик общественных пространств выявили проблемы коммуникации между районами города на композиционном луче север–юг.

Подробный анализ пешеходной активности на «Каскаде» показывает проблему коммуникации между общественными пространствами, возникшую из-за незавершенности комплекса, что в свою очередь влияет на связь между районами Кентрон и Канакер-Зейтун.

Социологическое исследование подтверждает необходимость завершения комплекса. Ереванское общество давно ждет развития любимого общественного пространства и символа г. Еревана.

Опрос показал желание жителей увидеть комфортное озелененное пространство в среде комплекса, которое гармонизировало бы с

рельефом и окружающей его застройкой. Объект, который может появиться на незастроенной территории, должен стать фрагментом целостной среды архитектурно-монументального комплекса «Каскад» [37]. Контекстуально уместные пространственные решения помогут развить и сохранить «образ

места», встроиться в сложившуюся градостроительную ситуацию [38, 39]. При формировании новых объектов необходимо учитывать сложившуюся конфигурацию образной составляющей города, его традиций в формировании пространственных структур [40].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Оганян А.А., Азатян К.Р. Перспективы реконструкции жилых кварталов центра города Ереван // Архитектура и современные информационные технологии. 2020. № 1 (50). С. 225–237. <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2020-15014>. EDN: BNLUCP.
2. Иванов А.В. Вернакуляр как антиимперия: культура 3 // Проект Байкал. 2022. Т. 19. № 74. С. 58–71. <https://doi.org/10.51461/pb.74.13>. EDN: LLMLUF.
3. Цайдлер Э. Многофункциональная архитектура. М.: Стройиздат, 1988. 151 с.
4. Багина Е.Ю., Арустамян М.А. Ереван-1924: генеральный план // Проект Байкал. 2020. Т. 17. № 65. С. 172–180. <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.65.1704>. EDN: TWYQYP.
5. Епископосян Ш. Семиотическая организация и трансформация городского пространства центра Еревана // Город, миграция, рынок: Новый взгляд на социокультурные проблемы в исследованиях ученых Южного Кавказа. Тбилиси, 2011. С. 13–47.
6. Ключко А.Р. Сохранение своеобразия национальной армянской архитектуры с 1919 г. до 2019 г. – от А. Таманяна до наших дней // Архитектура и современные информационные технологии. 2019. № 4 (49). С. 108–119. <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2019-00009>. EDN: CJDOZQ.
7. Арутюнян М.В. Развитие архитектуры Республики Армения // Polish Journal of Science. 2023. № 61 (61). С. 4–12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7835005>. EDN: NBSQHZ.
8. Бальян К.В. Город, смотрящий на Арапат // Проект классика. 2006. Режим доступа: http://www.projectclassica.ru/school/18_2006/school2006_18_03a.htm (дата обращения: 06.12.2023).
9. Гейл Я. Города для людей. М.: Альпина Паблишер, 2012. 277 с.
10. Чан А.Д., Гаврилов А.Г., Бабенко А.Г. Положительные стороны использования трансформируемых структур при формировании общественных пространств // Новые идеи нового века: материалы междунар. науч. конф. ФАД ТОГУ. 2022. Т. 1. С. 481–484. EDN: ZEIRGA.
11. Финк Д., Селиванов Р.А. Влияние контекста на формообразование современной застройки. Контур проблемы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 3. С. 156–167. EDN: ZHZEJ.
12. Мамян Т.А. Социальные аспекты развития и формирования адаптивной среды для систем общественных пространств // Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского государственного технического университета: тезисы докладов. В 2-х ч. (г. Волгоград, 16–19 мая 2017 г.). Волгоград, 2017. Ч. 2. С. 111–112. EDN: ZALJHH.
13. Поляков Д.К., Пупенцова С.В., Некрасова Т.П. Мировой и отечественный опыт редевелопмента территорий // Проблемы социально-экономического развития Сибири. 2018. № 4 (34). С. 67–75. EDN: YUDHBR.
14. Арустамян М.А. Сохранение исторической структуры и исключение конфликтных зон при реконструкции Конда в Ереване // Архитектон: известия вузов. 2022. № 3 (79). С. 1–10. [https://doi.org/10.47055/1990-4126-2022-3\(79\)-9](https://doi.org/10.47055/1990-4126-2022-3(79)-9). EDN: WGKEAK.
15. Гельфонд А.Л. Методы организации общественных пространств исторического поселения // Труды научного конгресса 13-го российского архитектурно-строительного форума (г. Нижний Новгород, 19–22 мая 2015 г.). Нижний Новгород, 2016. С. 13–17. EDN: WBHNBf.
16. Селиванов Р.А. Большаков А.Г. Моделирование архитектурного пространства в контексте кварталов исторического центра // Баладинские чтения. 2018. Т. 13. № 1. С. 83–88. <https://doi.org/10.24411/9999-001A-2018-10012>. EDN: YMJIQX.
17. Тер-Минасян А. Архитектор по призванию. Памяти Джима Торосяна // Архитектура. Строительство. Дизайн. 2014. № 3 (76). С. 88–93. EDN: SUCJL.
18. Теодоронский В.С., Леонова В.А., Варданян К.К. Исторически сложившаяся структура системы озеленения центра г. Еревана и современная ее проблематика // Ландшафтная архитектура в эпоху глобализации. 2020. № 4. С. 5–19. <https://doi.org/10.37770/2712-7656-2020-4-5-19>. EDN: ITLNYJ.
19. Бальян К. Архитектура Армении в поисках национальной формы // Проект Байкал. 2020. Т. 17. № 64. С. 52–63. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.64.1634>. EDN: IPBWCE.
20. Амирханян Т.А. Ереванский каскад. Градостроительная роль, история и перспектива // Большая студенческая конференция. Сб. статей V Междунар. науч.-практ. конф. в 2 ч. (г. Пенза, 5 мая 2023 г.).

Пенза, 2023. Ч. 1. С. 239–243. EDN: UVTPDU.

21. Мелкумян Ю.Г. Визуальные коммуникации: роль памятников в городской среде Еревана // Корпоративные стратегические коммуникации: тренды в профессиональной деятельности: материалы Третьей Междунар. науч.-практ. конф. (г. Минск, 08–09 октября 2020 г.). Минск, 2020. С. 170–178. EDN: KKAHOL.

22. Валетов Т.Я. Применение открытых картографических сервисов (Google, Яндекс, OSM) при создании исторических ГИС: разработка цифровой карты Транссибирской магистрали // Историческая информатика. 2021. № 3 (37). С. 19–37. <https://doi.org/10.7256/2585-7797.2021.3.36547>. EDN: CHPMUQ.

23. Андреевкова А.В. Сравнительное социальное исследование как особый вид социальных исследований // Социодинамика. 2019. № 11. С. 105–111. <https://doi.org/10.25136/2409-7144.2019.11.31024>. EDN: RPCENC.

24. Никитина А.Д. Обзор зарубежного опыта реновации общественных пространств в исторической части города // Научные вести. 2022. № 11 (52). С. 80–87. EDN: FOUANO.

25. Vermishyan H., Michikyan S. The Transformation of Urban Public Space of Post-Soviet Yerevan: The Case of Northern Avenue // Journal of Sociology: Bulletin of Yerevan University. 2020. Vol. 11. Iss. 1. P. 3–15. <https://doi.org/10.46991/BYSU:F/2020.11.1.003>. EDN: OXBZFM.

26. Григорян Т.В. Особенности архитектуры и историко-культурной жизни Еревана // World Science: Problems and Innovations: сб. статей XVII Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 ч. (г. Пенза, 30 января 2018 г.). Пенза, 2018. Ч. 1. С. 243–250. EDN: YRJHKA.

27. Казарян А.Ю. Архитектурная идея народного дома в Ереване: размышление о творческом методе Александра Таманяна // Вопросы театра. 2014. № 1-2. С. 267–279. EDN: TMWMOF.

28. Narutyun V., Lilit B. Yerevan Center Urban Parks and Garden Squares: Places for People, Places of Meanings // Urbis et Orbis. Microhistory and Semiotics of the City. 2022. Iss. 1 (2). P. 157–184. [https://doi.org/10.34680/urbis-2022-1\(2\)-157-184](https://doi.org/10.34680/urbis-2022-1(2)-157-184). EDN: ELLNND.

29. Tonnelat S. The Sociology of Urban Public Spaces // Territorial Evolution and Planning Solution: Experiences from China and France. Paris: Atlantis Press, 2010. p. 1–10.

30. Вермишян А.Р., Баласанян С.А., Григорян О.Г., Керобян С.Н. Локальные идентичности в Ереване: структуры городского пространства. Ереван.: Ереванский государственный университет, 2015. С. 108–109.

31. Нурланкызы Ж. Интерактивная карта, как учет пространственных характеристик объектов // Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. № 5-1. С. 93–95. EDN: TBSMOB.

32. Шевченко В.Э. Визуальные коммуникации: тенденции форм и технологий передачи информации // Вестник Челябинского государственного университета. 2015. № 5 (360). С. 189–195. EDN: TQSSWV.

33. Амирханян Т.А. Декоративное убранство архитектурно-монументального комплекса «Каскад» в Ереване // Актуальные научные исследования: сб. статей XII Междунар. науч.-практ. конф.: в 4 ч. (г. Пенза, 05 июня 2023 г.). Пенза, 2023. Ч. 1. С. 216–221. EDN: BGBQSQ.

34. Кораблева Г.Б., Меренкова А.В. Социальное пространство современного города. Екатеринбург: Урал. ун-т, 2015. С. 83.

35. Финк Д., Селиванов Р.А. Критерии оценки тактичности вхождения в контекст // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 1. С. 222–232. EDN: YUVVPA.

36. Самойлова Н.В. Социально-демографические аспекты организации общественных пространств городских парков // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1 (52). С. 1–13. EDN: YLQAAW.

37. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. М.: Стройиздат, 1984. 256 с.

38. Selivanov R.A. The Song or Arpentage? In The Spatial Context of the Quarters of the Historical Center of Irkutsk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 751. Iss. 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012056>.

39. Большаков А.Г., Сельви А.А.С. Социальные факторы и архитектура Старого города Саны, их трансформация и принцип преемственности в пространстве новой Саны: монография. Белгород: Белгородский государственный ун-т, 2014. 159 с. EDN: TSFMWN.

40. Аракелян Р.Г. Раскрытие ценностей объемно-пространственных характеристик традиционных жилых образований на территории армянского нагорья // Московский архитектурный институт. Государственная академия. 2011. № 3 (16). С. 1–23. Режим доступа: <http://www.marhi.ru/AMIT/2011/3kvart11/arakelyan/abstract1.php> (дата обращения: 12.12.2023).

REFERENCES

1. Oganyan A.A., Azatyan K.R. Perspectives of Reconstruction of the Residential Quarters in The Centre of Yerevan City. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020;1(50):225-237. (In Russ). <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2020-15014>. EDN: BNLUCP.
2. Ivanov A.V. Vernacular as Anti-Empire: Culture 3. *Project Baikal*. 2022;19(74):58-71. (In Russ).

<https://doi.org/10.51461/pb.74.13>. EDN: LLMLUF.

3. Tsaidler E. *Multifunctional Architecture*. Moscow: Stroyizdat, 1988. 151 p. (In Russ).
4. Bagina E.Yu., Arustamyan M.A. Yerevan 1924: Master Plan. *Project Baikal*. 2020;17(65):172-180. (In Russ). <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.65.1704>. EDN: TWYQYP.
5. Episkoposyan Sh. Semiotic Organization and Transformation of the Urban Space of the Center of Yerevan. In: *Gorod, migratsiya, rynok: Novyi vzglyad na sotsiokul'turnye problemy v issledovaniyakh uchenykh Yuzhnogo Kavkaza = City, Migration, Market: A New Look at Sociocultural Problems in The Research of Scientists of the South Caucasus*. Tbilisi; 2011. p. 13–47. (In Russ).
6. Klochko A.R. Preservation of Singularity of the National Armenian Architecture from 1919 to 2019 – from A. Tamanyan to Present Days. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019;4(49):108-119. (In Russ). <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2019-00009>. EDN: CJDOZQ.
7. Arutyunyan M.V. Development of Architecture of the Republic of Armenia. *Polish Journal of Science*. 2023;61(61):4-12. (In Russ). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7835005>. EDN: NBSQHZ.
8. Bal'yan K.V. City Looking Towards Ararat. *Project Classic*. 2006. Available from: http://www.projectclassica.ru/school/18_2006/school2006_18_03a.htm [Accessed 06 December 2023]. (In Russ.).
9. Geil Ya. *Cities for People*. Moscow: Alpina Publisher, 2012. 277 p. (In Russ.).
10. Chan A.D., Gavrilov A.G., Babenko A.G. Positive Aspects of Using Transformable Structures in The Formation of Public Spaces. In: *Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii FAD TOGU = New Ideas of the New Century: Materials of The International Scientific Conference FAD TOGU*. 2022: Vol. 1. p. 481–484. (In Russ.). EDN: ZEIRGA.
11. Fink D., Selivanov R.A. Context Effect On the Form Making of Modern Development. *Contours of A Problem. Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2017;7(3):156-167. (In Russ.). EDN: ZHZEJ.
12. Mamyán T.A. Social Aspects of the Development and Formation of an Adaptive Environment for Systems of Public Spaces. In: *Smotr-konkurs nauchnykh, konstruktorskiikh i tekhnologicheskikh rabot studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: tezisy dokladov. V 2-kh chastyakh = Review-Competition of Scientific, Design and Technological Works of Students of the Volgograd State Technical University: Abstracts of Reports*. In 2 Parts. 16–19 May 2017, Volgograd. Volgograd; 2017. P. 2. p. 111–112. (In Russ.). EDN: ZALJHH.
13. Polyakov D.K., Pupentsova S.V., Nekrasova T.P. World and Domestic Experience in Redevelopment of Territories. *Issues of Social-Economic Development of Siberia*. 2018;4(34):67-75. (In Russ.). EDN: YUDHBR.
14. Arustamyan M.A. Preservation of The Historical Structure and Exclusion of Conflict Zones at Reconstruction of Konda in Yerevan. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2022;3(79):1-10. (In Russ.). [https://doi.org/10.47055/1990-4126-2022-3\(79\)-9](https://doi.org/10.47055/1990-4126-2022-3(79)-9). EDN: WGKEAK.
15. Gel'fond A.L. Methods for Organizing Public Spaces of a Historical Settlement. In: *Trudy nauchnogo kongressa 13-go rossiiskogo arkhitekturno-stroitel'nogo foruma = Proceedings of The Scientific Congress of The 13th Russian Architectural and Construction Forum*. 19–22 May 2015, Nizhny Novgorod. Nizhny Novgorod; 2016. p. 13–17. (In Russ.). EDN: WBHNB.
16. Selivanov R.A., Bolshakov A.G. Modeling of The Architectural Space in The Context of the Blocks of the Historic Center. *Baladinskie chteniya*. 2018;13(1):83-88. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/9999-001A-2018-10012>. EDN: YMJIQX.
17. Ter-Minasyan A. Architect by Vocation. In Memory of Jim Torosyan. *Architecture, Construction, Design*. 2014;3(76):88-93. (In Russ.). EDN: SUCEJL.
18. Teodoronsky V.S., Leonova V.A., Vardanyan K.K. Historically Formed Structure of the Gardening System Inthe Center of Yerevan and Its Modern Problems. *Landscape Architecture in The Globalization Era*. 2020;4:5-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.37770/2712-7656-2020-4-5-19>. EDN: ITLNYJ.
19. Balyan K. Armenian Architecture in Search of Its Indigenous Form. *Project Baikal*. 2020;17(64):52-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.64.1634>. EDN: IPBWCE.
20. Amirkhanian T.A. Yerevan Cascade. Urban Planning Role, History and Perspective. In: *Bol'shaya studentcheskaya konferentsiya. Sbornik statei V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii v 2 chastyakh = Large Student Conference. Collection of Articles of the V International Scientific and Practical Conference in 2 Parts*. 05 May 2023, Penza. Penza; 2023. P. 1. p. 239–243. (In Russ.). EDN: UVTPDU.
21. Melkumyan Yu.G. Visual Communications: The Role of Monuments in The Urban Environment of Yerevan. In: *Korporativnye strategicheskie kommunikatsii: trendy v professional'noi deyatel'nosti: materialy Tret'ei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Corporate Strategic Communications: Trends in Professional Activities: Materials of The Third International Scientific and Practical Conference*. 08–09 October 2020, Minsk. Minsk; 2020. p. 170–178. (In Russ.). EDN: KKAHOL.
22. Valetov T.Ya. Free Map Services (Google, Yandex, Osm) For Creating Historical Gis: Digital Map of the Trans-Siberian Railroad. *Historical Information Science*. 2021;3(37):19-37. (In Russ.).

<https://doi.org/10.7256/2585-7797.2021.3.36547>. EDN: CHPMUQ.

23. Andreenkova A.V. Comparative Social Research as A Special Type of Social Research. *Sociodynamics*. 2019;11:105-111. (In Russ.). <https://doi.org/10.25136/2409-7144.2019.11.31024>. EDN: RPCENC.

24. Nikitina A.D. Review of Foreign Experience in Renovation of Public Spaces in The Historical Part of the City. *Nauchnye vesti*. 2022;11(52):80-87. (In Russ.). EDN: FOUANO.

25. Vermishyan H., Michikyan S. The Transformation of Urban Public Space of Post-Soviet Yerevan: The Case of Northern Avenue. *Journal of Sociology: Bulletin of Yerevan University*. 2020;11(1):3-15. <https://doi.org/10.46991/BYSU:F/2020.11.1.003>. EDN: OXBZFM.

26. Grigorian T.V. Features of Architecture and Yerevan Historical and Cultural Life. In: *World Science: Problems and Innovations: sbornik statei XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 3 chastyakh = World Science: Problems and Innovations: Collection of Articles of The XVII International Scientific and Practical Conference: In 3 Parts*. 30 January 2018, Penza. Penza; 2018. P. 1. p. 243–250. (In Russ.). EDN: YRJHKA.

27. Kazaryan A.Yu. The Architectural Idea of the People's House at Yerevan. Reflections On Artistic Method of Alexander Tamanyan. *Voprosy teatra*. 2014;1-2:267-279. (In Russ.). EDN: TMWMOF.

28. Harutyun V., Lilit B. Yerevan Center Urban Parks and Garden Squares: Places for People, Places of Meanings. *Urbis et Orbis. Microhistory and Semiotics of the City*. 2022;1(2):157-184. [https://doi.org/10.34680/urbis-2022-1\(2\)-157-184](https://doi.org/10.34680/urbis-2022-1(2)-157-184). EDN: ELLNND.

29. Tonnelat S. The Sociology of Urban Public Spaces. In: *Territorial Evolution and Planning Solution: Experiences from China and France*. Paris: Atlantis Press, 2010. p. 1-10.

30. Vermishyan A.R., Balasanyan S.A., Grigoryan O.G., Kerobyan S.N. *Local Identities in Yerevan: Structures of Urban Space*. Yerevan: Yerevan State University, 2015. p. 108–109. (In Russ.).

31. Nurlankyzy Zh. Interactive Map, Consideration of The Spatial Characteristics of Objects. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*. 2019;5-1:93-95. (In Russ.). EDN: TBSMOB.

32. Shevchenko V.E. Visual Communication: The Trends of Forms and Technology of Information Transferring. *Bulletin of Chelyabinsk State University*. 2015;5(360):189-195. (In Russ.). EDN: TQSSWV.

33. Amirkhanian T.A. Decoration of The Architectural Complex «Cascade» In Yerevan. In: *Aktual'nye nauchnye issledovaniya: sbornik statei XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 4 chastyakh = Current Scientific Research: Collection of Articles of The XII International Scientific and Practical Conference: In 4 Parts*. 05 June 2023, Penza. Penza; 2023. P. 1, p. 216–221. (In Russ.). EDN: BGBQSQ.

34. Korableva G.B., Merenkova A.V. *Social Space of a Modern City*. Ekaterinburg: Ural University, 2015. p. 83. (In Russ.).

35. Fink D., Selivanov R.A. Estimation Criteria of Tactfulness to Enter the Context. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2018;8(1):222-232. (In Russ.). EDN: YUVVPA.

36. Samoylova N.V. Socio-Demographic Aspects of the Organization of Public Spaces of Urban Parks. *Engineering Journal of Don*. 2019;1(52):1-13. (In Russ.). EDN: YLQAAW.

37. Gutnov A.E. *The Evolution of Urban Planning*. Moscow: Stroyizdat, 1984. 256 p. (In Russ.).

38. Selivanov R.A. The Song or Arpentage? In The Spatial Context of the Quarters of the Historical Center of Irkutsk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciencethis*. 2021;751(1):1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012056>.

39. Bol'shakov A.G., Sel'vi A.A.S. *Social Factors and Architecture of the Old City of Sana'a, Their Transformation and The Principle of Continuity in The Space of the New Sana'a: Monograph*. Belgorod: Belgorod State University, 2014. 159 p. (In Russ.). EDN: TSFMWN.

40. Arakelyan R.G. Disclosure of The Values of Volumetric-Spatial Characteristics of Traditional Residential Formations On the Territory of the Armenian Highlands. *Moscow Architectural Institute. State Academy*. 2011;3(16):1-23. Available from: <http://www.marhi.ru/AMIT/2011/3kvart11/arakelyan/abstract1.php> [Accessed 12th December 2023]. (In Russ.).

Информация об авторах

Дружинина Инна Евгеньевна,
профессор кафедры архитектурного
проектирования,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: irk.allegro.id@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0602-4364>
Author ID: 728329

Information about the authors

Inna E. Druzhinina,
Professor of the Department
of Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russia,
e-mail: irk.allegro.id@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0602-4364>
Author ID: 728329

Роман Александрович Селиванов,
кандидат архитектуры, доцент кафедры
архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: romanseliva@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4247-8622>
Author ID: 812068

Roman A. Selivanov,
Cand. of Architecture, Associate Professor
of the Department of Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: romanseliva@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4247-8622>
Author ID:812068

Шагинян Грач Гамлетович,
студент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: shahinyan.2004@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0007-9308-3771>
Author ID: 1195265

Grach G. Shaginyan,
Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russia,
✉e-mail: shahinyan.2004@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0007-9308-3771>
Author ID: 1195265

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 14.04.2024.
Одобрена после рецензирования 13.05.2024.
Принята к публикации 27.05.2024.

Information about the article

The article was submitted 14.04.2024.
Approved after reviewing 13.05.2024.
Accepted for publication 27.05.2024.

**Формирование транспортно-пересадочного узла с аэровокзалом международных и общественных авиалиний в неблагоприятных условиях города Иркутска****А.С. Ромыш^{1✉}, Ц.Б. Дагданова², М.Б. Хадеев³**¹ООО «Тентовые конструкции», г. Иркутск, Россия^{2, 3}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Целью данной работы является исследование возможности строительства нового аэропорта в г. Иркутске в составе крупного транспортно-пересадочного узла на территории, равноудаленной от городов Иркутск, Ангарск и Шелехов, близко примыкающей к Восточно-Сибирской железнодорожной магистрали, федеральной автомобильной трассе Р-255 «Сибирь» и объездной дороге г. Иркутска. Для решения проблем необходимо оценить преимущества размещения нового аэропорта на предлагаемом участке по сравнению с расположением действующего аэропорта в черте города. Проведенный анализ и теоретические исследования транспортно-пересадочного узла и типов аэровокзалов показали, что формирование аэропорта как части транспортно-пересадочного узла с железнодорожным вокзалом и автовокзалом является наиболее правильным выходом для развития города. В работе использовался метод сравнительного анализа затрат времени пассажиров на проезд до нового аэровокзала и старого, который показал экономию времени пассажиров при переездах и пересадках при размещении аэропорта за пределами города, удобной доступности для жителей трех городов. Проведен анализ современных тенденций в развитии транспортно-пересадочного узла с рекомендациями по выбору определенного типа для условий города. Результатом предложения является увеличение пассажиропотока, площадей для обслуживания пассажиров и самолетов, увеличение длины взлетно-посадочных полос. Размещение аэропорта как части транспортно-пересадочного узла на свободной территории между тремя большими городами и модернизация обеспечат высокий уровень качества полетов и обслуживания пассажиров, повышение качества жизни горожан, значительное улучшение экологии города.

Ключевые слова: аэропорт, аэровокзал, пассажиропоток, транспортно-пересадочный узел, экология города

Для цитирования: Ромыш А.С., Дагданова Ц.Б., Хадеев М.Б. Формирование транспортно-пересадочного узла с аэровокзалом международных и общественных авиалиний в неблагоприятных условиях города Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 646–659. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-646-659>. EDN: OKVXOC.

Original article**Formation of a transport hub with an air terminal of international and public airlines under adverse conditions of Irkutsk****Alexey S. Romysh^{1✉}, Tsyredar B. Dagdanova², Mihail B. Khadeev³**¹ООО Tentovie Konstruktsii, Irkutsk, Russia^{2, 3}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The study is aimed at exploring the possibility of building a new airport in Irkutsk as part of a major transport hub on the territory equidistant from the cities of Irkutsk, Angarsk and Shelekhov, close to the East Siberian Railway, R255 Siberia Federal Highway and the bypass road of Irkutsk. This problem requires evaluating the advantages of locating a new airport on the proposed site compared to the

location of the existing airport within the city. The analytical and theoretical studies of the transport hub and types of air terminals proved the formation of the airport as part of a transport hub with a railway station and a bus station to be the most appropriate solution for the development of the city. A comparative analysis of time necessary to get to the new air terminal and to the old one showed that passengers would save time if the airport is placed the outside the city due to its easy access for residents of three cities. The conducted analysis of current trends in the development of the transport interchange hub formed the basis for recommendations on the choice of a hub type appropriate for the conditions of the city. The proposed hub will increase passenger traffic, areas for servicing passengers and aircraft, and the length of runways. Placing the airport as part of a transport hub on a free territory between three large cities and modernization will ensure a high level of quality of flights and passenger service, increase the quality of life of citizens, and significantly improve the ecology of the city.

Keywords: airport, transport hub, airport terminal, passenger traffic, city ecology

For citation: Romysh A.S., Dagdanova T.B., Khadeev M.B. Formation of a transport hub with an air terminal of international and public airlines under adverse conditions of Irkutsk. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):646-659. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-646-659>. EDN: OKVXOC.

ВВЕДЕНИЕ

Город Иркутск – крупный административный, научный, культурный и промышленный центр Восточной Сибири, с численностью населения около 580 тыс. жителей, расположен на обоих берегах р. Ангары. Действующий аэропорт Иркутска был построен в 1933 г. на правом берегу реки, в непосредственной близости от общегородского центра с жилой застройкой. Взлетно-посадочная полоса была построена в 1953 г., в последующем проводилась ее реконструкция. Недостаточные размеры искусственной взлетно-посадочной полосы (ИВПП) летной полосы ограничивают возможности аэропорта г. Иркутска для промежуточной посадки большегрузных самолетов на грузовых авиалиниях, соединяющих Юго-Восточную и Восточную Азию с Европой и по трансполярной магистрали через Северный полюс с Америкой. Поэтому повышение экономической эффективности аэропорта г. Иркутск невозможно без увеличения авиaperевозок, для чего необходимо обеспечить прием дальних магистральных самолетов (ДМС) пассажирского и грузового потоков [1–3].

Взлет и посадка самолетов в основном производится над центральной частью города и требует ограничения строительства жилой застройки на территории более 9,5 км², т. к. при полетах создается недопустимое шумовое воздействие на жилые кварталы и не обеспечивается безопасность жителей прилегающих районов. Город развивается, численность населения растет, но аэропорт и здание аэровокзала остаются без существенных изменений, в черте города. По объему пассажирских перевозок аэропорт относится ко II

классу. На сегодняшний день он работает на пределе возможностей и нуждается в расширении и модернизации.

Новый тип аэровокзалов начал формироваться в 60–70-е гг. XX века, и за это время он постоянно совершенствовался [4–7]. Помимо аэровокзала в городе есть другие транспортные сооружения: автовокзал, связывающий город с областью и соседними регионами, расположен в центре города, железнодорожный вокзал, который был построен на левом берегу р. Ангары в 1897–1898 гг. Время на пересадку с одного вида транспорта на другой растет и в крупных городах достигает 40–60 мин. Как следствие, появляется потребность в объединении нескольких видов транспорта в одном сооружении. Таким образом происходит формирование транспортно-пересадочных узлов (ТПУ).

Исследование проблем с транспортными связями в г. Иркутске, анализ доступности и местонахождения пассажирских вокзалов, и особенно проблем, связанных с авиaperевозками, не отвечающих современным требованиям, подвели к решению переноса аэропорта на новую площадку. Главной задачей выступает организация понятных и логичных путей пассажиропотоков, легкой транспортной доступности, комплексное формирование среды, соответствующей требованиям комфорта и удобства для пассажиров при всех видах передвижения [8].

Целью данной работы является исследование возможности формирования транспортно-пересадочного узла и строительства нового аэропорта с аэровокзалом международных и общественных авиалиний в г. Иркутске в составе крупного транспортно-пересадочного

узла на свободной, удаленной от города территории.

Соглашение между Администрацией Иркутской области и Федеральным агентством воздушного транспорта Министерства транспорта РФ от 12.07.06 г. предполагало строительство нового аэропорта для возможности приема и обслуживания тяжелых широкофюзеляжных воздушных судов типа Ан-124, Ил-86, Ил-96, Боинг 747 и увеличение размеров ИВПП летной полосы. Аэропорт за пределами города обеспечивал бы безопасность жителей и убирал шумовое воздействие на жилую территорию.

МЕТОДЫ

Анализ площадок для строительства

Проводилось изучение потенциальных площадок для строительства нового комплекса аэропорта, в том числе участка в 40 км к северо-востоку от центра г. Иркутска и в 15 км к востоку от с. Поздняково [9]. После анализа плюсов и минусов была выбрана площадка вблизи ущелья Глухая падь, как наиболее удобная, также учитывалось постановление мэра Ангарского муниципального образования о резервировании земельного участка для строительства авиатранспортного узла Иркутск-Новый от 10.10.06 г.

Данной работой предлагается формирование крупного ТПУ для авиапассажиров на территории Иркутского муниципального района, с удобными связями с железнодорожным

вокзалом и автовокзалом. Предлагаемый участок находится в непосредственной близости от Федеральной автомобильной трассы Р-255 «Сибирь», объездной дороги, объединяющей в единое транспортное кольцо города Иркутск, Ангарск и Шелехов, и Восточно-Сибирской железнодорожной магистрали [10]. Кроме того, территория равноудалена от трех больших городов: в 18 км западнее русла р. Ангары и г. Иркутск, в 26 км южнее г. Ангарска, в 13 км северо-западнее г. Шелехова и в 2 км западнее объездной дороги Ангарск–Шелехов [11, 12]. Сравнительный анализ радиусов доступности от трех городов до нового участка, технико-экономическое обоснование подтверждают преимущества размещения ТПУ на данной территории. Ограничение скоростного режима дорог составляет 90 км/ч, что позволит сократить время проезда до аэропорта.

Выявление основных тенденций в архитектуре аэровокзалов и их особенностей

Мировой опыт демонстрирует создание запоминающегося выразительного архитектурного облика зданий аэровокзалов как «ворот города» [13–21]. Современный аэровокзал формирует у человека образ города и включает в себя новые функции: досуг, развлечения, культурные мероприятия, торговлю, бытовые услуги, трансформируясь в социально активное пространство. В табл. 1 приведены примеры международных аэропортов с оригинальным архитектурным замыслом.

Таблица 1. Архитектура международных аэропортов

Table 1. Architecture of international airports

Год	Аэропорт, архитектор	Пример	Концепция формирования образа
1962	Аэропорт им. Джона Кеннеди, США. Архитектор: Эро Сааринен		Архитектура аэровокзала воплощена в образе парящей птицы
2008	Международный аэропорт Шоуду, Китай. Архитектор: Рафаэль Виньоли		Общий силуэт, схожий с силуэтом дракона, придает сооружению восточные черты

Окончание таблицы 1

2015	Международный аэропорт Курумоч. Архитектор: Дмитрий Овчаров		В интерьере использовалась тема космоса: Самара – один из центров космической промышленности страны
2017	Терминал аэропорта в Перми. Архитектурное бюро Асадова		Образное «деревянное крыло»
2018	Международный аэропорт Симферополь, Крым. Архитектурное бюро SAMOO Architects & Engineers. Разработка архитектурной концепции.		Идея морской волны, которая раскрывается в движении, в материалах интерьера, в форме фасада, и связывает аэропорт с морем и крымским пейзажем

Сравнительный анализ типов концепций современных пассажирских аэровокзалов и обоснование выбора перспективного варианта для г. Иркутска [22–26]

Простая концепция.

Самолеты на стоянках носовой частью обращены к аэровокзалу или от аэровокзала, для выруливания используют собственную тягу. Перрон располагают в стороне от аэровокзала для уменьшения шумов и выброса вредных газов (рис. 1а).

Линейная концепция

Удобное использование стоянки: самолеты размещаются под углом или параллельно аэровокзалу, носовой частью к зданию, обеспечивая простое маневрирование воздушного судна. Пространство между краем перрона и зданием используется для обслуживающего транспорта, пространство при носовой части самолета – для наземного обслуживания. Для

длинного фюзеляжа планируется соответствующая глубина перрона. Линейная и простая концепция открытого перрона дают возможность расширения (рис. 1б).

Полуостровная концепция

Этот вариант концепции – с длинными зонами ожидания, повторяя форму посадочной галереи, недостаточно комфортен для пассажиров. Самолеты размещаются у посадочных выходов с обеих сторон галереи под углом, параллельно или перпендикулярно (носовой частью к аэровокзалу) (рис. 2а).

Островная концепция

Островная концепция предполагает отдельно стоящее сооружение, с местами стоянки самолетов по кругу радиально, параллельно или иначе вокруг этого сооружения. Доступ пассажиров из аэровокзала в островное сооружение – по подземному или надземному переходу (рис. 2б).

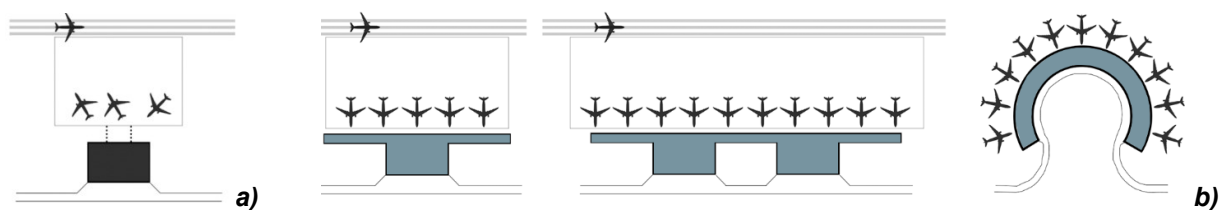


Рис. 1. а) Простая концепция; б) Линейная концепция
Fig. 1. a) Simple concept; b) Linear concept

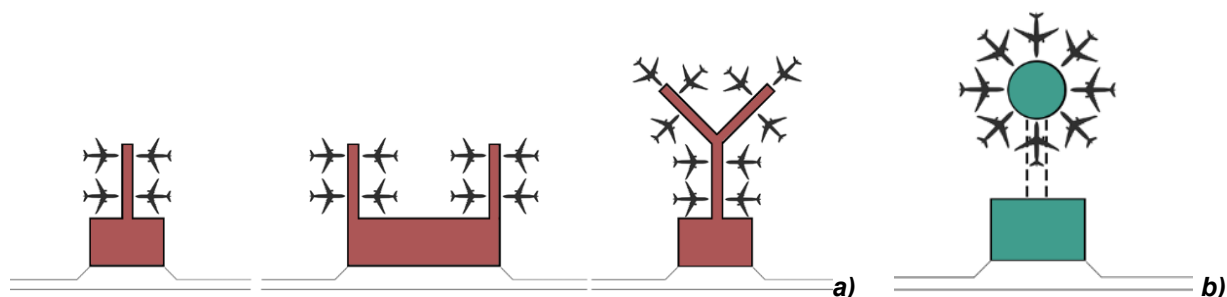


Рис. 2. а) Полуостровная концепция; б) островная концепция
Fig. 2. a) Peninsular concept; b) island concept

Вывод: предпочтительна линейная концепция, со входом в самолет из здания аэропорта, дающая возможность для дальнейшего его развития.

Варианты размещения воздушных судов относительно здания аэровокзала (рис. 3):

– носовой частью к зданию аэровокзала, с использованием телескопических трапов при сокращении времени обслуживания самолета.

– носовой частью к зданию аэровокзала под углом, самолет выруливает самостоятельно, без тягача.

– носовой частью в сторону от здания аэровокзала под углом, подходит для небольших аэропортов.

– параллельно зданию аэровокзала. При островной концепции дает простоту в маневрировании для самолета.



Рис. 3. Схемы расположения воздушных судов относительно здания аэровокзала
Fig. 3. Aircraft location diagrams relative to the terminal building

Наиболее оптимальным и распространенным считается расположение самолета носовой частью к аэровокзалу, т. к. посадочный телескопический трап удобнее использовать именно при таком расположении.

В остальных случаях шум от реактивной тяги самолета будет оставлять неприятные ощущения в здании аэровокзала.

Вывод: для г. Иркутска предлагается вариант с расположением носовой части самолета

к зданию аэровокзала, как наиболее безопасный и бесшумный.

Анализ планировочных вариантов при перемещении пассажиров внутри здания

Одной из основных задач при разработке здания аэровокзала является разделение потоков прибывающих и убывающих пассажиров [27].

При исключении встречных потоков пассажиров достигается экономия времени, легкая

ориентация в здании аэровокзала и комфорт обслуживания [28].

Подъездные пути / здание аэровокзала на одном уровне (рис. 4).

Схема встречается в небольших аэропортах. Небольшие встречные потоки пассажиров на одном уровне не конфликтуют из-за малого количества людей.



Рис. 4. Подъездные пути на одном уровне / здание аэровокзала на одном уровне
Fig. 4. Access roads on one level / terminal building on one level

Подъездной путь на одном уровне / здание аэровокзала на двух уровнях. Пассажиропотоки пересекаются лишь у входа/выхода здания. Второй уровень используют для посадки пассажиров с использованием телескопических трапов (рис. 5). Подъездные пути / здание аэровокзала на двух уровнях.

Удобная для пассажиров схема. Первый уровень предназначен для прибывающих пассажиров, второй уровень для убывающих (рис. 6). Подъездные пути на одном уровне / здание аэровокзала на двух уровнях. Необычная схема для аэровокзала. Здание можно разместить над дорогой (рис. 7)¹.



Рис. 5. Подъездной путь на одном уровне / здание аэровокзала на двух уровнях
Fig. 5. Access roads on one level / terminal building two levels

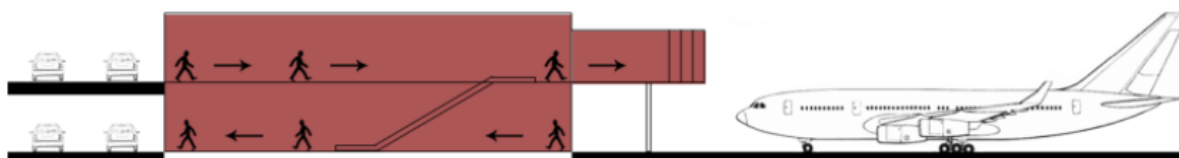


Рис. 6. Подъездные пути на двух уровнях / здание аэровокзала на двух уровнях
Fig. 6. Access roads on two levels / terminal building on two levels

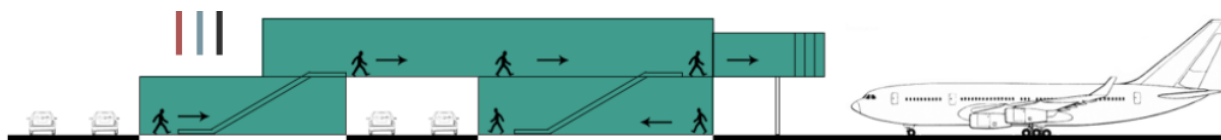


Рис. 7. Подъездные пути на одном уровне / здание аэровокзала на двух уровнях
Fig. 7. Access roads on two levels / terminal building on two levels

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обоснование выбора участка для строительства нового аэровокзала как части транспортно-пересадочного узла [29]

В пользу данного участка для размещения

на нём аэропорта можно привести следующие пункты:

1. Равноудаленность предлагаемого участка для нового аэропорта (рис. 8).
2. Удобная доступность для жителей

¹Бажов Л.Б. Аэропорты и их эксплуатация: учебное пособие. Ульяновск: УВАУ ГА, 2008. 66 с.

г. Иркутска, Ангарска и Шелехова без излишних затрат времени, ресурсов на передвижение по центру города в условиях перегруженности улиц и транспортных пробок. На рассматриваемой территории по левую сторону от р. Ангары проходят Восточно-Сибирская железнодорожная магистраль, федеральная автомобильная трасса Р-255 «Сибирь» и объ-

ездная дорога г. Иркутска, что дает явные преимущества предлагаемого участка для строительства нового ТПУ с аэровокзалом в Иркутском регионе (рис. 9) [30, 31].

Это предложение предпочтительнее в сравнении с другими вариантами размещения крупного ТПУ в плане экономии ресурсов, средств и времени.

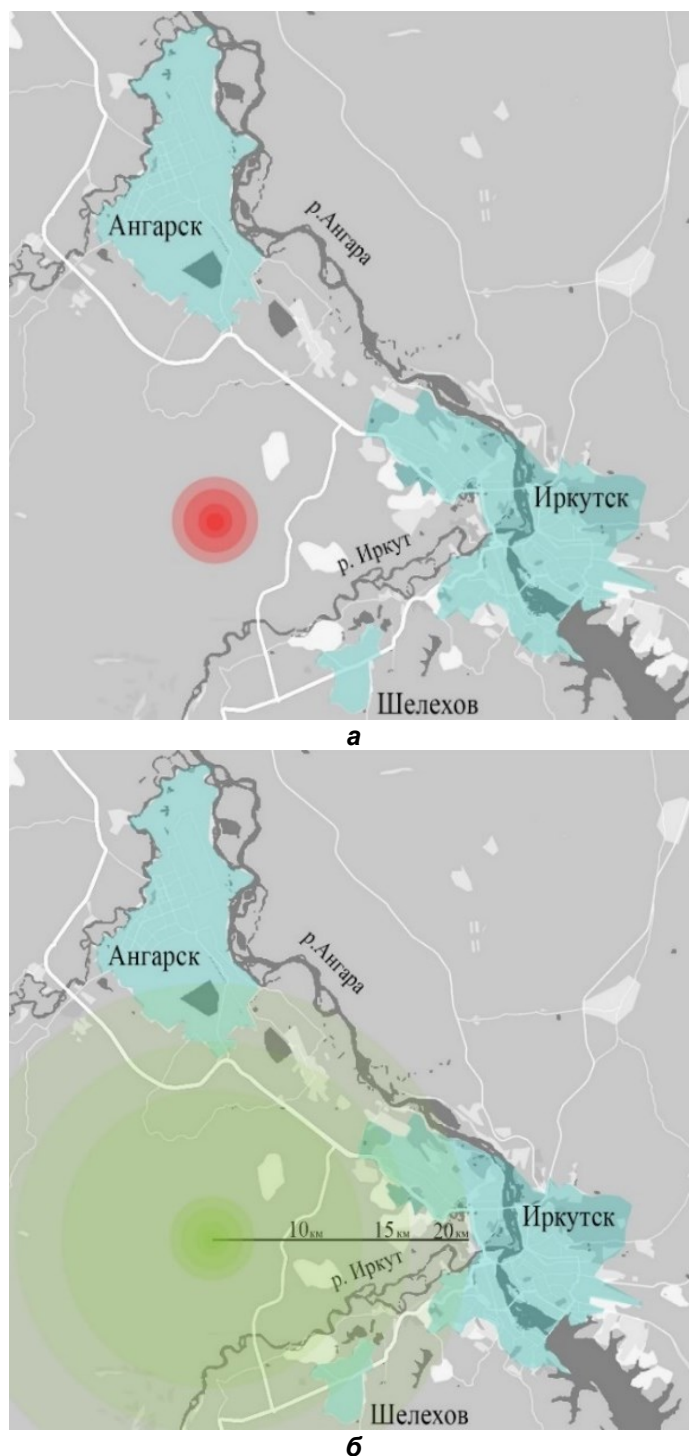


Рис. 8. а) Расположение нового транспортно-пересадочного узла (обозначено красным); б) радиусы доступности
Fig. 8. a) Location of the new transport hub (indicated in red); b) availability radii

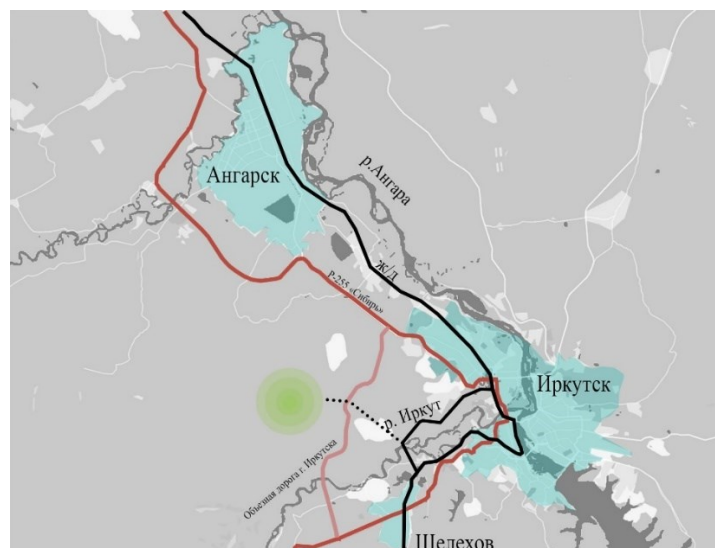


Рис. 9. Схема транспортной доступности предлагаемой территории аэропорта
 (Зеленый круг – участок аэропорта; черная сплошная линия – Восточно - Сибирская железнодорожная магистраль, черная пунктирная линия – железная дорога для электрички и автотрасса; красная линия - федеральная автотрасса Р-255 «Сибирь»;
 розовая линия - объездная дорога Ангарск – Шелехов)

Fig. 9. The scheme of transport accessibility of the proposed airport territory
 (Green circle - airport section; black solid line - East Siberian Railway, black dotted line - railway for electric trains and highway; red line - federal highway R-255 "Siberia"; pink line - bypass road Angarsk - Shelekhov)

3. Одним из важных критериев размещения аэропорта является рельеф местности. Территория проектируемого международного аэропорта в составе ТПУ попадает в неблагоприятные условия рельефа. Рельеф представлен рядом холмов, вытянутых с юго-востока на северо-запад, разделенных глубокими падами. Перепад высот рельефа составляет около 50 м (рис. 10). Хотя чаще для снижения объема земляных работ при строительстве аэропортов выбирают участок со спокойным рельефом, но, поскольку другие

варианты размещения нового аэропорта в г. Иркутске или застроены, или имеют схожий рельеф, или находятся близко к городской застройке, результатом исследования предлагается территория к западу от города в районе Глухой пади на левом берегу р. Ангары. В соответствии с Федеральными Авиационными правилами полетов в воздушном пространстве в Российской Федерации аэродром на пересеченном рельефе местности с абсолютными отметками, превышающими значения 500 метров, может считаться горным (рис. 11).

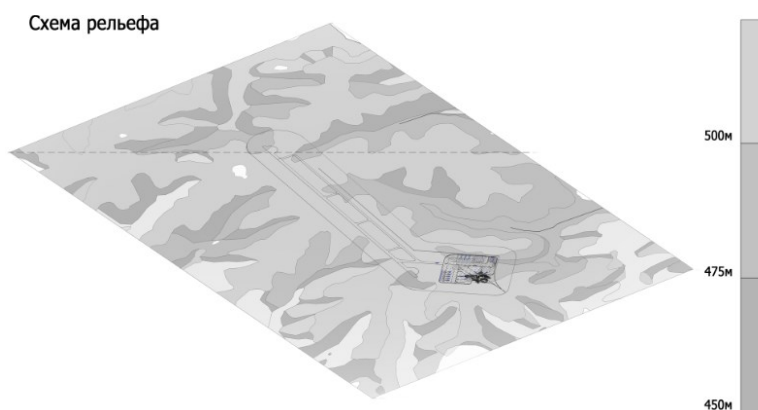


Рис. 10. Схема размещения аэропорта в зоне неблагоприятного рельефа
Fig. 10. Layout of the airport in an unfavorable terrain area

4. Летное поле предполагается разместить на вершине одной из гряд.

Господствующие ветры влияют на направление взлетно-посадочной полосы, в проектном решении они располагаются вдоль преобладающих С-З ветров, что необходимо для более прогнозируемого управления самолетом, во избежание боковых сносов судна вблизи земной поверхности (рис. 12).

Ось летной полосы будет ориентирована с МКдос" 150-330° по направлению господствующих ветров.

Ориентация новой ВПП и ее размещение на местности были приняты из следующих условий:

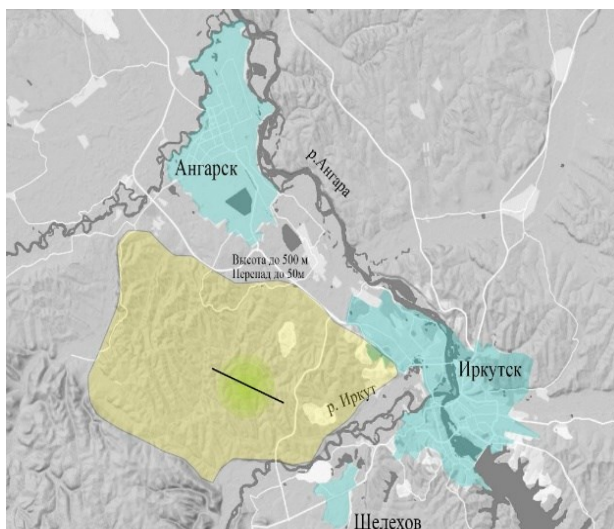


Рис 11. Рельеф и линия взлетно-посадочных полос аэропорта
Fig. 11. Terrain and line of airport runways

5. Задача организации понятных и коротких путей передвижения пассажиров с возможностью пересадок с одного вида транспорта на другой решена путем переноса части железнодорожной магистрали с обходом города севернее, от станции Иркутск-Сортировочный. Главный городской железнодорожный вокзал становится ТПУ-1 с пригородными электричками и городским авто транспортом, откуда иркутяне могут проследовать в новый аэропорт. Направление Иркутск – Аэропорт-Новый дублируется скоростной автотрассой. Пассажиры электричек из г. Ангарск и Шелехов достигают непосредственно аэровокзала, а пассажиры поездов дальних направлений делают пересадку на скоростной автобус до аэропорта в новом ТПУ-2 на пересечении железнодорожной линии и автотрассы.

– снижение шумового воздействия от посадок и взлетов воздушных судов на селитебную территорию в пределах границ городской застройки. Возможность эксплуатации аэродрома в более выгодных условиях с точки зрения ветровой загрузки и высотных препятствий в приаэродромной территории;

– при размещении ВПП полосы воздушных подходов с обоих направлений свободны от препятствий.

Высота местности (абсолютная отметка) также играет роль: чем выше участок, тем более разрежен воздух, и самолету потребуются взлетно-посадочная полоса длиннее и шире, чем при более низкой абсолютной отметке.

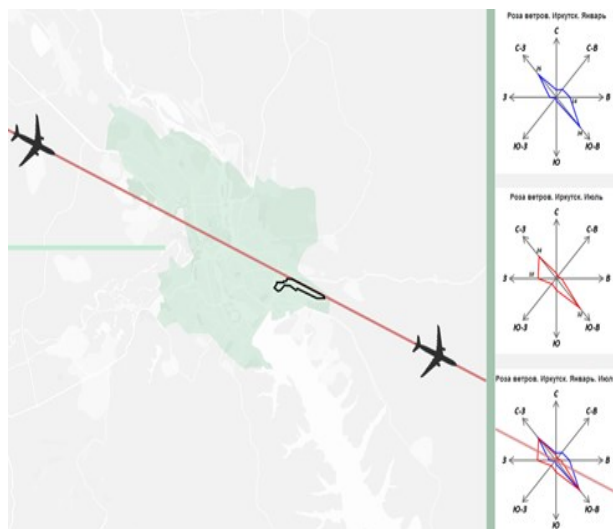


Рис. 12. Схемы преобладающих ветров С-З и Ю-В
Fig. 12. Schemes of prevailing winds N-W and S-E

Для ТПУ предлагается использовать четыре вида транспорта:

- индивидуальный автотранспорт и такси;
- общественный транспорт (трамваи и маршрутные автобусы);
- железнодорожный транспорт (электрички Ангарск–Иркутск–аэропорт–Шелехов);
- воздушный транспорт.

В табл. 2 приведены сравнительные данные средних затрат времени пассажиров для проезда в аэропорт по состоянию на 2023 г. и в новый аэропорт (по проекту). Внутри здания аэровокзала для удобства и экономии времени авиапассажиров предлагается вертикальное зонирование в двух уровнях разнонаправленных пассажиропотоков, с одноуровневыми подъездными путями. Как вариант, для прямой связи аэровокзала с железной дорогой используется подземный уровень (рис. 13, 14).

Таблица 2. Сравнительные затраты времени на проезд
Table 2. Comparative travel time

Маршрут	2023 г.		По проекту	
Ангарск–аэропорт	Электричка+автобус 1 ч 30 мин	Такси 1 ч 20 мин	Электричка 1 ч	Такси 30–40 мин
Иркутск– левобережный- аэропорт	Автобус 30–40 мин	Такси 20–30 мин	Электричка 15–20 мин	Такси 30 мин
Шелехов– аэропорт	Электричка+автобус 1 ч	Такси 50 мин	Электричка 15 мин	Такси 15 мин

Примечание: время ориентировочное, без учета транспортных пробок

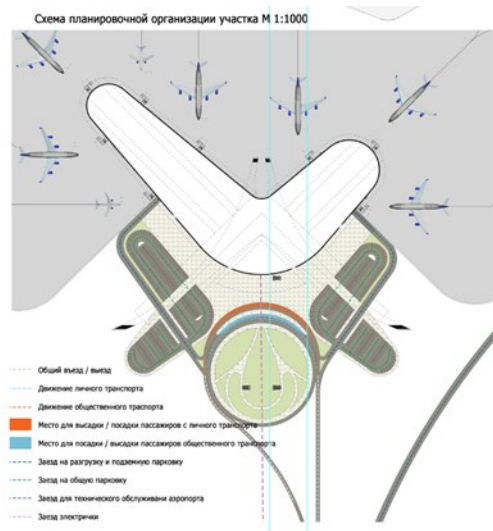


Рис. 13. Схема генерального плана проектируемого аэропорта
Fig. 13. Scheme of the master plan of the designed airport

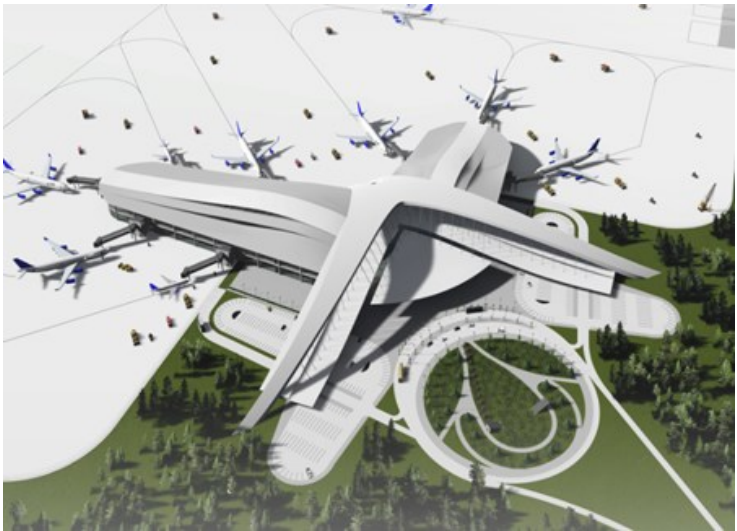


Рис. 14. Общий вид аэропорта
Fig. 14. General view of the airport

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Современное техническое состояние существующего аэропорта г. Иркутск, его местоположение ограничивают возможности его расширение для приема и обслуживания тяжелых широкофюзеляжных воздушных судов типа Ан-124, Ил-86, Ил-96, Боинг 747.

2. Формирование транспортно-пересадочного узла в г. Иркутске на предлагаемой проектом территории в районе Глухой пади является оптимальным в плане:

- доступности аэропорта не только для жителей г. Иркутска, но еще и Ангарска и Шелехов;
- разгрузки улиц г. Иркутска от автомобильного транспорта и транзита авиапассажиров через перегруженную транспортом центральную часть города;
- уменьшения затрат времени для проезда в аэропорт и повышения уровня комфорта проезда;

– улучшения экологии города из-за значительного сокращения выбросов CO₂ в атмосферу;

– развития международного туризма и, как следствие, развития экономического, культурного потенциала и торговли Иркутского региона.

3. Рассматриваемая площадка дает возможность для строительства и расширения аэропорта для приема и обслуживания тяжелых широкофюзеляжных воздушных судов и планируемого увеличения объемов грузоперевозок и пассажиров.

4. С учетом рекомендаций, схем, особенностей проектирования аэропортов, местных условий предлагается линейная концепция пассажирского аэровокзала с носовым расположением самолетов к зданию аэровокзала со стороны выхода пассажиров на посадку.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лошаков П.И., Негода М.В. Значимость транспортно-пересадочных узлов в системе городской инфраструктуры // Инновации и инвестиции. 2022. № 7. С. 128–132. EDN: VUCMSX.
2. Медведев П.В. Формирование транспортно-пересадочных узлов в городах // Вестник Университета. 2014. № 11. С. 120–124. EDN: SXHJLB.
3. Lijun Chen, Haiping Zhang, Zhiqiang Wang Township Development and Transport Hub Level: Analysis by Remote Sensing of Nighttime Light // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. Iss. 4. P. 1–19. <https://doi.org/10.3390/rs15041056>.
4. Вакуленко С.П., Евреенова Н.Ю. Транспортно-пересадочные узлы – основа мультимодальных пассажирских перевозок // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019). Материалы двенадцатой Междунар. Конф. (г. Москва, 01–03 октября 2019 г.). М., 2019. С. 590–598. <https://doi.org/10.25728/mlsd.2019.2.0590>. EDN: NGENMH.
5. Власов Д.Н. Транспортно-пересадочные узлы: монография. М.: Московский государственный строительный университет, 2017. 192 с.
6. Воронов В.А., Чистяков К.Ю. Транспортно-пересадочные узлы и интермодальные комплексы. Термины и определения // Архитектура и современные информационные технологии. 2020. № 3 (52). С. 252–264. <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2020-15214>. EDN: PVFFBO.
7. Hachette M., L'Hostis A. Mobility Hubs, an Innovative Concept for Sustainable Urban Mobility? // Smart Cities. Studies in Energy, Resource and Environmental Economics. Springer: Cham, 2024. P. 245–278. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35664-3_14.
8. Бовэнь Ц., Чупарин Е.Н. Восемь принципов развития транспортно-пересадочных узлов (на примере станции Иркутск-Сортировочный) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 4 С. 225–234. EDN: YLNXJL.
9. Шаймарданова К.А., Прокофьев Е.И. Интеграция транспортно-пересадочных узлов в городскую среду // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. № 4 (62). С. 153–162. https://doi.org/10.52409/20731523_2022_4_153. EDN: XIXIKV.
10. Jaehyun (Jason) So, Munhyun Chae, Jiho Hong, Juhyoum Youm, Sang Hyun Kim, Jinhee Kim Integrated Mobility Hub Location Selection for Sustainable Urban Mobility // Sustainable Cities and Society. 2023. Vol. 99. P. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104950>.
11. Шаймарданова К.А., Прокофьев Е.И. Транспортно-пересадочный узел как градообразующий фактор развития периферийных территорий // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. № 4 (50). С. 175–182. EDN: QERDVI.
12. Сальникова А.Д., Баните А.В., Плотников Д.Г., Кашталинский А.С. Формирование системы транспортно-пересадочных узлов в городской агломерации // Автоматика на транспорте. 2023. Т. 9. № 1. С. 87–98. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2023-9-01-87-98>. EDN: NRZVZMG.
13. Боловинцев М.Ю. Зарубежный опыт функционирования транспортно-пересадочных узлов // STUDNET. 2022. Т. 5. № 1. С. 248–255. EDN: DENBSK.
14. Напреенко Л.С. ТПУ-дизайн: гамма цветов и материалов // Человек и культура. 2021. № 2. С. 28–37. <https://doi.org/10.25136/2409-8744.2021.2.35611>. EDN: UOFDPJ.
15. Zhuzhgova Yu.E., Savelieva V.V. On The Formation of Transport Interchange Hubs (TPU) In The City of Yekaterinburg // International Scientific and Practical Conference "Railway Transport and Technologies" (RTT-2021). Collection of Conference Materials. 2023. Vol. 2624. Iss. 1. <https://doi.org/10.1063/5.0133312>. EDN: SYHWU.
16. Terekhova A.I., Vlasov D.N. Classification of Transport-Transfer Hubs, Taking into Account the Interaction of Modes of Transport in Cities with Million-Strong Cities // XII International Scientific and Practical Forum "Environmentally Sustainable Cities and Settlements: Problems and Solutions" (ESCP-2023). E3S Web Conf. 2023. Vol. 403. P. 1–11. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340307021>.
17. Kalyuzhnyi N.A., Losin L.A. A Method of Mathematical Modeling for Transfer Hub Establishment in Saint Petersburg // Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. P. 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.075>.
18. Patil D.R., Raj M.P. The Architecture of Airport Terminals: Gateway to A City // Creative Space. 2019. Vol. 7. Iss. 1. P. 11–18. <https://doi.org/10.15415/cs.2019.71002>.
19. Jones W. New Transport Architecture: Travel Hubs in the 21st Century. New York: Octopus Books, 2006. 272 p.
20. Elshater A.M., Ibraheem F. From Typology Concept to Smart Transportation Hub // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2014. Vol. 153. P. 531–541. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.086>.
21. Jie Lv, Jianmin Guo, Jin Li From "Comprehensive Transportation Hub" to "City New Sitting Room" – Overall The Design about Jinan East District Comprehensive Transportation Hub // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 81. P. 1–9. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/81/1/012131>.

22. Азаренкова А.З. Планировочная организация транспортно-пересадочных узлов // Academia. Архитектура и строительство. 2011. № 1. С. 76–80. EDN: OOEUOX.
23. Хайруллина Ю.С. Общие положения функционально-пространственной организации современного транспортно-коммуникационного узла // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 4 (18). С. 155–165. EDN: OKGCQB.
24. Безверхая Е.П., Скопинцев А.В. Функционально-типологические модели в архитектуре интермодальных транспортно-пересадочных узлов // Архитектура и современные информационные технологии. 2019. № 3 (48). С. 135–147. EDN: YUUPWH.
25. Staniewska A., Sykta I., Ozimek A., Barnaś K., Dudek M., Marasik M. [et al.] Framework for the Design of a Small Transport Hub as an Interdisciplinary Challenge to Implement Sustainable Solutions // Sustainability. 2023. Vol. 15. Iss. 14. <https://doi.org/10.3390/su151410975>.
26. Дмитриев А.С., Евстигнеев В.Д. Транспортно-пересадочные узлы, проблемы организации движения людских потоков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 3. С. 60–64. https://doi.org/10.12737/article_5abfc9ba7d4db8.70225889. EDN: YVAQHU.
27. Данилина Н.В., Привезенцева С.В. Маломобильные группы населения в транспортно-пересадочных узлах // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 3. С. 49–56. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-3-49-56>. EDN: XQWPDV.
28. Бовень Ц., Чупарин Е.Н., Смолин Е.Е. Интеграция в транспортно-пересадочных узлах // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 1. С. 233–244. EDN: YUVVPJ.
29. Грефенштейн А.П. Анализ системы общественного транспорта при создании транспортно-пересадочных узлов // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие» (г. Санкт-Петербург, 29–31 мая 2019 г.). СПб., 2019. С. 247–251. EDN: ZWMTSP.
30. Escherle S., Sprung A., Bengler K. How Will Automated Trucks Change the Processes and Roles in Hub-to-Hub Transport? // HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. 2023. P. 51–69. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35678-0_4.

REFERENCES

1. Loshakov P.I., Negoda M.V. Importance of Transport Hubs in The System of Urban Infrastructure. *Innovation and Investment*. 2022;7:128-132. (In Russ.). EDN: VUCMSX.
2. Medvedev P.V. The Creation of Transport Hubs in Cities. *Vestnik universiteta*. 2014;11:120-124. (In Russ.). EDN: SXHJLB.
3. Lijun Chen, Haiping Zhang, Zhiqiang Wang Township Development and Transport Hub Level: Analysis by Remote Sensing of Nighttime Light. *Remote Sensing*. 2023;15(4):1-19. <https://doi.org/10.3390/rs15041056>.
4. Vakulenko S.P., Evreenova N.Yu. Transport Hubs Are the Basis of Multimodal Passenger Transportation. In: *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem (MLSD'2019). Materialy dvenadtsatoi mezhdunarodnoi konferentsii = Managing The Development of Large-Scale Systems (MLSD'2019). Proceedings of The Twelfth International Conference*. 01–03 October 2019, Moscow. Moscow; 2019. p. 590–598. (In Russ.). <https://doi.org/10.25728/mlsd.2019.2.0590>. EDN: NGENMH.
5. Vlasov D.N. *Transport Hubs: Monograph*. Moscow: Moscow State Construction University, 2017. 192 p.
6. Voronov V.A., Chsityakov K.Yu. Transport Interchange Hubs and Intermodal Complexes. Terms and Definitions. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020;3(52):252-264. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2020-15214>. EDN: PVFFBO.
7. Hachette M., L'Hostis A. *Mobility Hubs, an Innovative Concept for Sustainable Urban Mobility?* Smart Cities. Studies in Energy, Resource and Environmental Economics. Springer: Cham, 2024. p. 245–278. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35664-3_14.
8. Boven Z., Chuparin E.N. Eight Principles of Development of Transport-Transfer Hubs (At The Example of Station Irkutsk-Sortirovochnii). *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2017;7(4):225-234. (In Russ.). EDN: YLNXJL.
9. Shaimardanova C.A., Prokofiev E.I. Integration of Transport Hubs into The Urban Environment. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2022;4(62):153-162. (In Russ.). https://doi.org/10.52409/20731523_2022_4_153. EDN: XIXIKV.
10. Jaehyun (Jason) So, Munhyun Chae, Jiho Hong, Juhyoun Youm, Sang Hyun Kim, Jinhee Kim Integrated Mobility Hub Location Selection for Sustainable Urban Mobility. *Sustainable Cities and Society*. 2023;99:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104950>.
11. Shaimardanova K.A., Prokofiev E.I. Transport Interchange Hub as A City-Forming Factor in The Development of Peripheral Territories. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2019;4(50):175-182. (In Russ.). EDN: QERDVI.

12. Sal'nikova A.D., Banite A.V., Plotnikov D.G., Kashtalinskiy A.S. Formation of Transport Hub System in Urban Agglomeration. *Transport Automation Research*. 2023;9(1):87-98. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2023-9-01-87-98>. EDN: NRVZMG.
13. Bolovintsev M.Yu. Foreign Experience of Functioning Transport and Transfer Hubs. *STUDENT*. 2022;5(1):248-255. (In Russ.). EDN: DENBSK.
14. Napreenko L.S. TPU-Design: A Range of Colors and Materials. *Man and Culture*. 2021;2:28-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.25136/2409-8744.2021.2.35611>. EDN: UOFDPJ.
15. Zhuzhgovaya Yu.E., Savelieva V.V. On The Formation of Transport Interchange Hubs (TPU) In The City of Yekaterinburg. *International Scientific and Practical Conference "Railway Transport and Technologies" (RTT-2021). Collection of Conference Materials*. 2023;2624(1) <https://doi.org/10.1063/5.0133312>. EDN: SYHWTU.
16. Terekhova A.I., Vlasov D.N. Classification of Transport-Transfer Hubs, Taking into Account the Interaction of Modes of Transport in Cities with Million-Strong Cities. *XII International Scientific and Practical Forum "Environmentally Sustainable Cities and Settlements: Problems and Solutions" (ESCP-2023). E3S Web Conf*. 2023;403:1-11. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340307021>.
17. Kalyuzhnyi N.A., Losin L.A. A Method of Mathematical Modeling for Transfer Hub Establishment in Saint Petersburg. *Transportation Research Procedia*. 2018;36:245-251. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.075>.
18. Patil D.R., Raj M.P. The Architecture of Airport Terminals: Gateway to A City. *Creative Space*. 2019;7(1):11-18. <https://doi.org/10.15415/cs.2019.71002>.
19. Jones W. *New Transport Architecture: Travel Hubs in the 21st Century*. New York: Octopus Books, 2006. 272 p.
20. Elshater A.M., Ibraheem F. From Typology Concept to Smart Transportation Hub. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014;153:531-541. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.086>.
21. Jie Lv, Jianmin Guo, Jin Li From "Comprehensive Transportation Hub" to "City New Sitting Room" – Overall The Design about Jinan East District Comprehensive Transportation Hub. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;81:1-9. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/81/1/012131>.
22. Azarenkova Z.V. Planning Organization of Transport Transferring Junction. *Academia. Architecture and Construction*. 2011;1:76-80. (In Russ.). EDN: OOEUX.
23. Khayrullina Y.S. General Focus Points of Modern Transport and Communication Node Model. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2011;4(18):155-165. (In Russ.). EDN: OKGCQB.
24. Bezverkhaya E.P., Scopintsev A.V. Functional-Typological Models in Architecture of Intermodal Transport Hub. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019;3(48):135-147. (In Russ.). EDN: YUPUWH.
25. Staniewska A., Sykta I., Ozimek A., Barnas K., Dudek M., Marasik M. [et al.] Framework for the Design of a Small Transport Hub as an Interdisciplinary Challenge to Implement Sustainable Solutions. *Sustainability*. 2023;15(14) <https://doi.org/10.3390/su151410975>.
26. Dmitriev A.S., Evstignejev V.D. Transport Interchange Hubs and Problems of Human Flows Traffic Organization. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After. V.G. Shukhov*. 2018;3:60-64. (In Russ.). https://doi.org/10.12737/article_5abfc9ba7d4db8.70225889. EDN: YVAQHU.
27. Danilina N.V., Privezentseva S.V. Disabled People in Public Transport Transfer Hubs. *Journal of Construction and Architecture*. 2018;20(3):49-56. (In Russ.). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-3-49-56>. EDN: XQWPDV.
28. Boven Z., Chuparin E.N., Smolin E.E. Integration in Vehicle and Transportation Hubs. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2018;8(1):233-244. (In Russ.). EDN: YUVVPJ.
29. Grefenshteyn A.P. Analysis of The Public Transport System When Creating Transport Transit Hubs. In: *Sbornik izbrannykh statei po materialam nauchnykh konferentsii GNI «Natsrazvitiye» = Collection of selected articles based on scientific conferences of the State Research Institute "National Development"*. 29–31 May 2019, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2019. p. 247–251. (In Russ.). EDN: ZWMTSP.
30. Escherle S., Sprung A., Bengler K. How Will Automated Trucks Change the Processes and Roles in Hub-to-Hub Transport? *HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems*. 2023:51-69. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35678-0_4.

Информация об авторах

Ромыш Алексей Сергеевич,
архитектор,
ООО «Тентовые конструкции»,
664056, г. Иркутск, ул. Безбокова, 30/6, Россия
✉ e-mail: asromysh@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0006-1781-1522>

Information about the authors

Alexey S. Romysh,
Architect,
ООО Tentovie Konstruktsii,
30/6, Bezbokov St., Irkutsk 664056, Russia
✉ e-mail: asromysh@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0006-1781-1522>

Дагданова Цыредарь Баторовна,
доцент, профессор кафедры архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: dagda40@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-1575-1739>
Author ID: 813609

Хадеев Михаил Борисович
доцент, доцент кафедры архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: m-1@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-6377-4623>
Author ID: 1207233

Tsyredar B. Dagdanova,
Associate Professor, Professor of the Department of Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: dagda40@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-1575-1739>
Author ID: 813609

Mihail B. Khadeev,
Associate Professor, Associate Professor of the Department of Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: m-1@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-6377-4623>
Author ID: 1207233

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 17.05.2024.
Одобрена после рецензирования 14.06.2024.
Принята к публикации 19.06.2024.

Information about the article

The article was submitted 17.05.2024.
Approved after reviewing 14.06.2024.
Accepted for publication 19.06.2024.



Реконструкция среды исторических городов. Методы включения новых объектов в исторически сложившуюся городскую ткань

Р.А. Селиванов^{1✉}

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Целью работы является выявление факторов, оказывающих значительное влияние на закономерности размещения проектируемой застройки в существующей исторически сложившейся среде города. Были изучены теоретические взгляды и проектные методы архитекторов и градостроителей, исследующих на практической основе проблемы включения новых архитектурных объектов в сложносочиненный с семиотической, морфологической и функциональной точки зрения контекст. Временные рамки исследования были определены исходя из актуальности проблемы. По какой причине городам, построенным до XX в. характерна связанность градостроительной ткани, иерархия элементов, выверенность силуэта и ракурсов восприятия среды? Почему современные города или современные включения не обладают перечисленными свойствами и выглядят разрозненно и спорадически возникшими? Предлагается два возможных варианта ответа: уровень мастерства архитекторов до XX в. значительно превосходил своих последователей и отдельность строений, их несогласованность с окружающей застройкой является осознанным профессиональным решением архитекторов и градостроителей. В результате проведенного анализа было выявлено несколько подходов: трехчастное построение архитектурной формы, пространство как структура отношений, формализация объекта до структурного содержания, пространственная структура жилой среды как социально-пространственные комплексы, пространственные решетки, непрерывность, согласованность ткани застройки, фактор навигации, сходство по формальным признакам, отношение к городскому каркасу.

Ключевые слова: застройка, градостроительная ткань, морфотип, пространственная структура

Для цитирования: Селиванов Р.А. Реконструкция среды исторических городов. Методы включения новых объектов в исторически сложившуюся городскую ткань // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 660–671. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-660-671>. EDN: HBTZRK.

Original article

Reconstructing the environment of historic cities. Methods of incorporating new objects into the historic urban fabric

Roman A. Selivanov^{1✉}

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The presented study is aimed at identifying factors that significantly influence the patterns of designed development in the existing historical urban environment. The paper reviews theoretical grounds and design methods of architects and urban designers exploring the practice of incorporating new architectural objects into a semiotic, morphological and functional context. The time frame of the study was determined due to the relevance of the issue. Actually, cities built before the 20th century are characterized by the cohesion of urban fabric, hierarchy of elements, calibrated silhouette and perception angles of the environment, while modern cities or modern inclusions lack these properties and look scattered and sporadic. The paper suggests two possible reasons behind that: the architects from before the 20th century appeared much skillful than their followers; or the professional architects and urban designers are consciously inclined to the separateness of buildings and their incoherence with the environment.

The analysis revealed a number of approaches: three-part construction of architectural form, space as a structure of relations, formalization of the object to structural content, spatial structure of residential environment as socio-spatial bodies, spatial grids, continuity, coherence of the building fabric, navigation factor, formal similarity, relation to the urban framework.

Keywords: Construction, urban planning fabric, morphotype, spatial structure

For citation: Selivanov R.A. Reconstructing the environment of historic cities. Methods of incorporating new objects into the historic urban fabric. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):660-671. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-660-671>. EDN: HBTZRK.

ВВЕДЕНИЕ

Для многих архитекторов и градостроителей Европы, начиная со второй половины XIX в., возникла проблема необоснованных включений новых строений в исторически сложившуюся архитектурную среду.

Потребовалась корректировка случайных решений. До обозначенного периода, о реконструкции, в современном ее понимании, речи не шло.

Как правило, старые строения сносили, на их месте строили новые, не уступающее по качеству архитектурного замысла.

В связи с появлением и частой сменой различных стилистических течений, менялось отношение отдельных строений к градостроительной ситуации в аспекте иерархии и к контексту в принципе.

Это повлекло за собой нарушение сложившихся пространственных сценариев в средневековых городах старой Европы [1].

В предлагаемом исследовании проведен анализ творческих течений авторов различных исторических периодов, создающих свои методы работы с контекстом исторической ткани городов.

МЕТОДЫ

Были изучены этапы генезиса различных творческих методик включения новой застройки в исторически сложившуюся среду городов.

Исследован опыт работы с исторической тканью застройки на физическом уровне ведущих архитекторов как теоретиков, так и практиков, начиная с конца XIX в.

Был применен системный подход в анализе особенностей включения новых архитектурных объектов в среду исторического города, содержащих систематизацию данных из научных, графических, проектных и нормативных материалов по темам, анализ морфотипов застройки кварталов, обобщение данных и выявление закономерностей, выстраивание логических смысловых моделей, концептуально-контекстуальное моделирование среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ современных методов работы с физическим пространством в историческом городе выявил восемь творческих течений. В них входят исследователи конца XIX в., первой половины и середины XX в., большая часть из них была сосредоточена на формообразовании, композиционной и структурной целостности как объекта проектирования, так и его взаимодействия с контекстом, в который он помещается. Меньшая же часть, конец XX в. и начало XXI в., во главу угла ставит функциональные связи, социальные факторы, поведенческие реакции человека в среде. Рассмотрим все перечисленные подходы более детально.

Трехчастное построение архитектурной формы

В труде 1927 г., оказавшем значительное влияние на умы профессионального сообщества, Александр Георгиевич Габричевский обозначил ряд значимых положений, раскрывающих суть архитектурной формы и пространства [2]. Его рассуждения построены на уровне взаимодействия базовых категорий «массы и пустоты». Он дает определение понятию «архитектурного целого» и описывает его устройство. Он размышляет о бесконечном спектре взаимодействия и взаимозависимости массы и пустоты из которого проистекает одна из основных проблем творческого поиска в области пространственных искусств. По его концепции, архитектурная форма представляет собой трехчастную структуру: внутреннее пространство, внешнее пространство и оболочка, их разграничивающая.

Таким образом, геометрия внешней оболочки здания может как скрывать, так и выделять внутреннее пространство в различной степени.

Пространственное ядро сооружения интегрировано в определенную оболочку и находится в близком, неразрывном взаимодействии с ней. Условия оказывают влияние на конфигурацию внешней оболочки, отражая и

фильтруя как ее, так и внутреннее пространство. Ситуация влияет на конфигурацию внешней оболочки, преломляя ее и внутреннее пространство соответственно [2].

Пространство как структура отношений

Проблема «пространственных границ» – одна из фундаментальных профессиональных задач, требующих глубокого анализа. В работе Олега Игоревича Явейна проведено исследованию свойств «пространственных границ» на основе анализа двух полярных творческих концепций формообразования XX в. – Людвига Миса ван дер Роза и Луиса Кана¹. Людвиг Мис ван дер Роза организовывал архитектурное пространство посредством «разбегающихся» плоскостей и парящих поверхностей, не разделяя помещения однозначно явными физическими преградами. Луис Канн формировал пространственную структуру строения, разделяя ее на обслуживающие и обслуживаемые помещения с четко очерченными контурами каждого из них. При исследовании методов разделения архитектурного пространства на части в российской и зарубежной практике, Олег Игоревич Явейн выделил два ключевых подхода к пониманию природы пространства:

- концепция «ящика без стенок»;
- рассмотрение пространства как сложной системы взаимосвязей между материальными объектами.

В перспективе первой концепции пространство интерпретируется как «объем без стенок», который существует независимо от материи, представляя собой пустоту, наполненную лишь «материей воздуха». Архитектор работает с этим пространством, используя воздух в роли основного строительного материала и формируя его границы. В рамках второй концепции пространство рассматривается как составная система взаимосвязей, определяющая расположение и взаимодействие материальных объектов. В этом подходе ключевое значение имеют разнообразие и неравномерность пространства. Взаимосвязи между данными различиями задают форму и структуру объектов.

Формализация объекта до структурного содержания

Исследование Михаила Валерьевича Шубенкова затронуло закономерности структуры, воздействующие на организацию пространства архитектурных объектов. В его работе подробно проанализирована теория пространственной структуры. Было установлено, что

структура пространства, представленная в данной форме, может быть объективно описана при применении принципов структурализма^{2,3}. Автор отмечает, что в начале XX в. русские архитекторы и конструктивисты, такие как Николай Александрович Ладовский, Владимир Федорович Кринский, Николай Васильевич Докучаев, а также Александр Александрович Веснин, Моисей Яковлевич Гинзбург, Николай Александрович Красильников находились на передовом фронте исследований в области пространственной структуры. Научное направление, занимающееся изучением конфигураций связности в пространстве, было создано Бивисом Хиллером и Даниелом Хансоном Бернем. Метод «пространственного синтаксиса» классифицирует городские пространственные структуры, основываясь на развитии топологических связей, на активные, с высокой плотностью населения, и отдельные – с низкой плотностью населения, что позволяет проводить прогнозы и разрабатывать стратегии развития города [3, 4].

Пространственная структура жилой среды, как социально-пространственные комплексы

В качестве неизменяемой в своем морфотипе основы городской среды, Алексей Валентинович Крашенинников называет двор и улицу. Он классифицирует пространственную структуру жилой среды, разделяя ее на социально-пространственные комплексы, составными частями которых являются сама структура и ее функциональное использование. Социальный аспект городской среды – краеугольный камень его научных исследований. Он проявляется в свойствах повседневной деятельности горожан, проводящих время на улицах, площадях и в жилых дворах. Характер застройки квартала влияет на активность передвижения и взаимодействия в этом пространстве.

Наиболее устойчивыми элементами исторически сложившейся городской среды, которые встречаются не только в городах России, но и за ее пределами, являются жилые пространства – двор и улица.

Эти два морфотипа оптимальны для формирования пространства. Они олицетворяют публичность и приватность. Типовая застройка советского периода, грубо внедренная в историческую ткань городов, привела к исчезновению дворовых пространств. Двору, в свою очередь, требуется обеспечить четкие границы,

¹Явейн О.И. Проблема пространственных границ в архитектуре. дис. ... канд. архитектуры. М., 1982. 188 с.

²Шубенков М.В. Структурные закономерности архитектурного формообразования. М.: Архитектура, 2006. 320 с.

³Шубенков М. В. Структура архитектурного пространства. дис. ... д-ра архитектуры: 23.11.2006. М., 2006. 57 с.

простую геометрию в плане, масштабность человеку, отсутствие транзита. Улица и двор – абсолютные антонимы. Алексей Валентинович Крашенинников выделил целый спектр промежуточных типов пространств между этими двумя основными моделями: проходной двор, переулок, бульвар, сквер. Эти архитектурные элементы являются неотъемлемой частью городской застройки, придающей ей многообразие. Он провел параллели между психологическими особенностями активности горожан и характеристиками пространственной структуры, применив социально-пространственный анализ окружающей среды как инструмент для улучшения организации застройки. Опираясь на исследования поведения людей в разных частях города, им была выявлена формализованная социально-пространственная модель, которая включает в себя различные масштабы пространства: «микро», «мезо» и «макро». Каждая из них представляет собой комплекс социально-пространственных взаимодействий, масштаб которых отражает специфику общения людей: непосредственно общение, контроль и взаимосвязи [5–8]⁴. Для изучения разнообразия деятельности горожан, он разработал график средового поведения, оценивающий уровень социального контроля в девяти типах «мезопространств». Важным фактором в совершенствовании жилой зоны является возможность ее контроля. Изучение фундаментальных характеристик архитектурного пространства, оставшихся неизменными независимо от исторических эпох, представлено в исследованиях Елены Геннадьевны Лапшиной [30]. Человек постоянно пребывает, перемещается, проживает в окружающем его пространстве, которое она классифицировала как «поле напряженности». Ей была высказана гипотеза, предполагающая, что перемещение человека в пространстве определяет его конфигурацию (форму). Также было проведено исследование устройства архитектурного пространства, с учетом перемещения человека на телесном уровне⁵.

Пространственные решетки

В своей монографии Андрей Геннадьевич Большаков рассматривает пространственные решетки как инструмент формирования искусственной среды. Они выступают в качестве геометрических совокупностей ячеек. Расположение этих ячеек, их геометрические свойства

и связи между ними – изменяемые параметры. Компиляции этих параметров позволяют формировать разнообразную архитектурную среду в различных градостроительных условиях. Учитывая разнообразие и сложносоставной характер сложившегося историко-культурного контекста исторических центров, Андрей Геннадьевич Большаков акцентирует внимание на то, что проектируемая застройка должна встраиваться в контекст, сверяя свои градостроительные параметры с объектами архитектурного наследия. Архитектурная среда исторического города должна быть непрерывна и преемственна, а архитектурные решетки могут использоваться в качестве инструмента морфотипологического зонирования и формирования необходимых массо-пустотных параметров места [9].

Непрерывность, согласованность городской ткани

Ключевым трудом, оказавшим значительное влияние на многих теоретиков и практиков в вопросах формирования целостности городской ткани, стал труд Камилло Зитте «Художественные основы градостроительства». Основной мыслью его исследования выступает утверждение, что каждый градостроительный фрагмент является частью непрерывного целого [1]. Экстерьер городской среды следует формировать как интерьер с анфиладой – последовательно продолжающих друг друга пространств – комнат с различными по ширине и высоте габаритами и конфигурацией. Главным составляющим при таком подходе к проектированию выступает городское пространство – пустота, которой задаются четкие границы в трех измерениях. Если следовать этому несложному принципу, то отдельных от общих целых частей не образуется. Пропорции пространств, форм и объемов взаимозависимы. Изменение одного параметра влечет за собой и остальные. Иерархия пространств выстраивается за счет их расположения, габаритов и тщательно проработки поверхностей наиболее значимых пространств. Наиболее значимые строения имеют выстроенную драматургию пространственных эффектов. Это достигается за счет смены «кадров восприятия». Например, определенный фасад собора возможно обозревать только с прилегающей к нему площади с рассчитанного для нужного эффекта восприятия расстояния (рис. 1) [1].

⁴Крашенинников А.В. Жилые кварталы: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1988. 87 с.

⁵Лапшина Е.Г. Архитектурное пространство как динамическая система. дис. ... д-ра архитектуры: 19.12.2016. Нижний Новгород, 2016. 60 с.

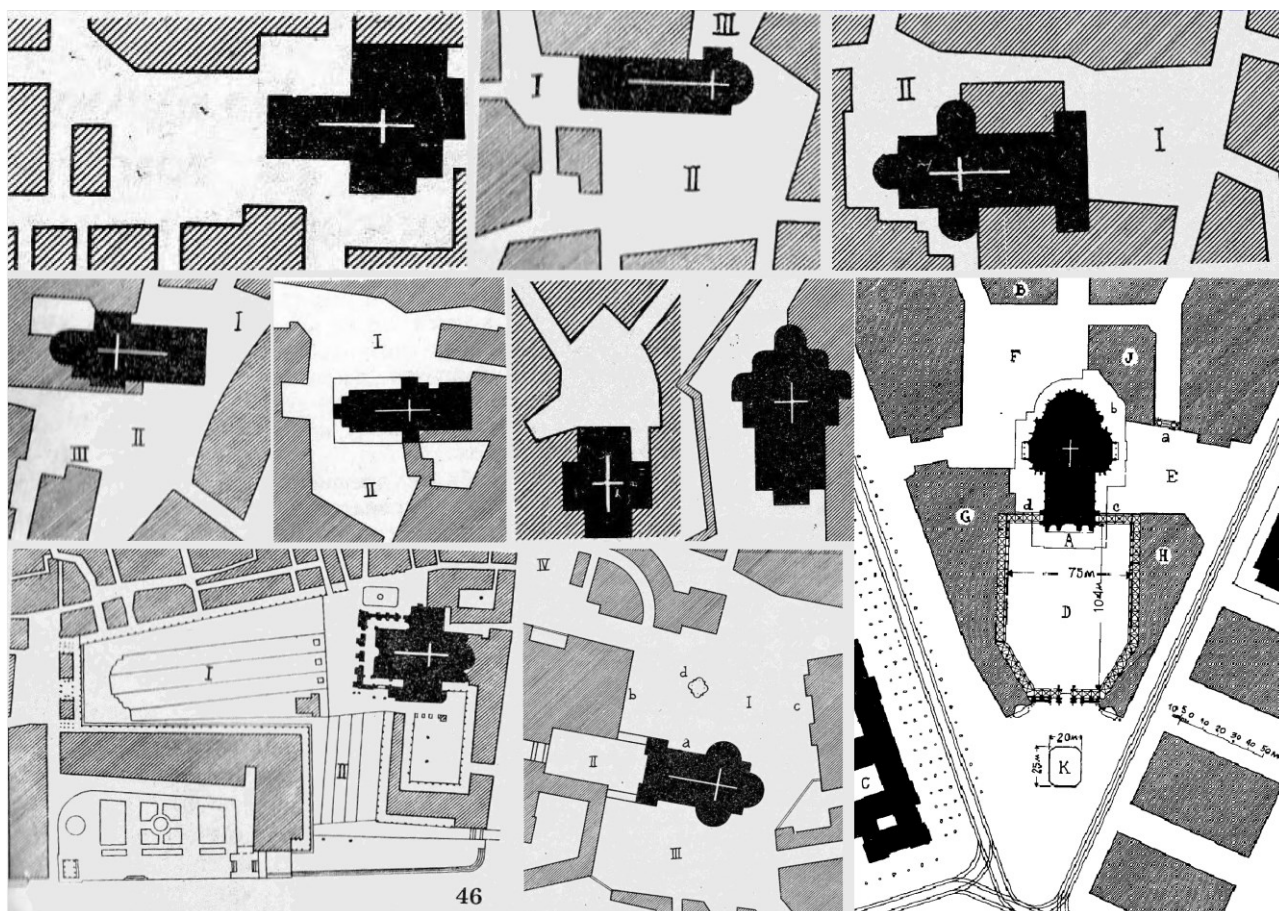
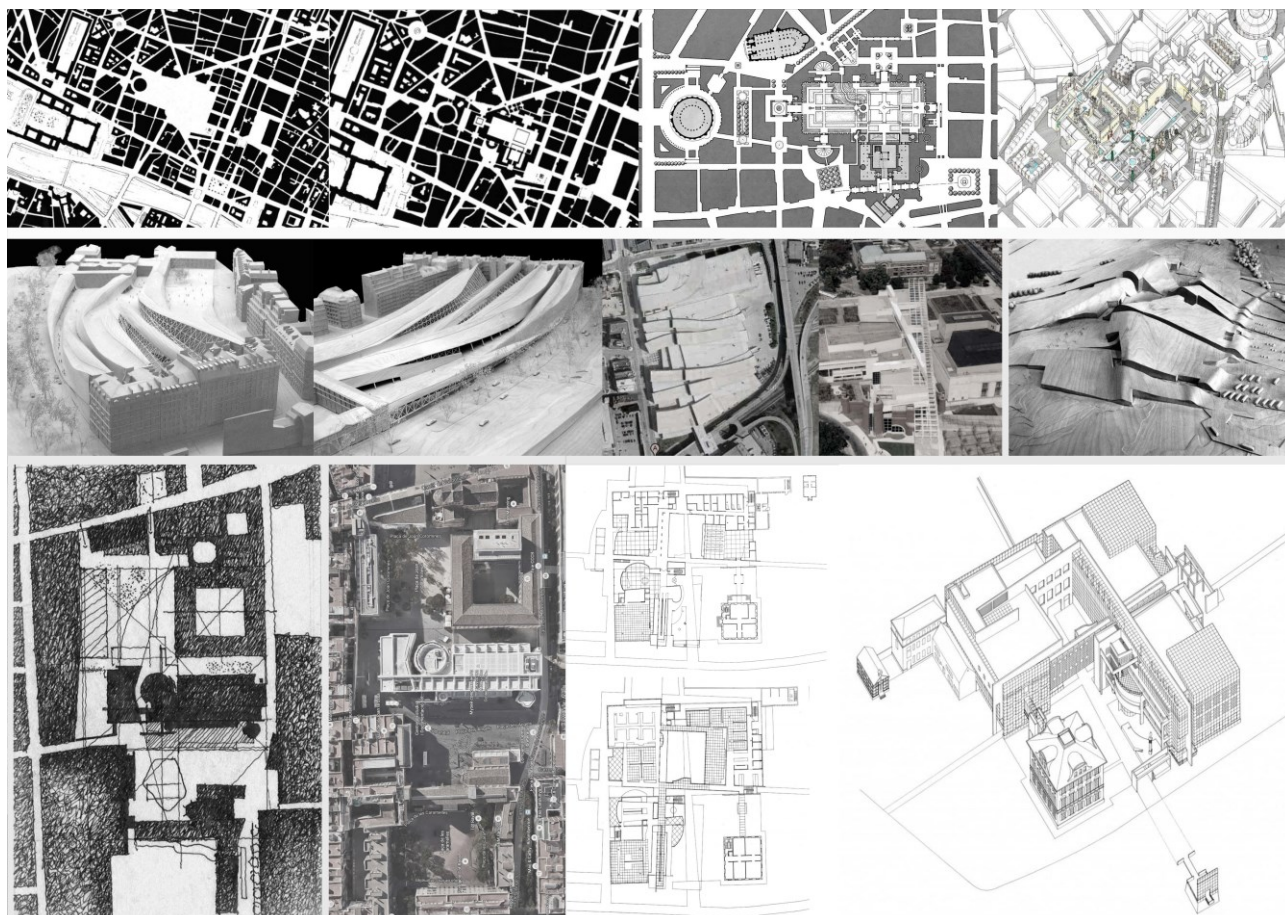


Рис. 1. Анализ размещения соборов на площадях исторических европейских городов
Fig. 1. Analysis of the placement of cathedrals in the squares of historical European cities

Близкой теории формирования городской ткани в первом десятилетии XX в., придерживался теоретик Адольф фон Гильдебранд. Спокойно воспринимаемые нынешними современниками отдельно стоящие и таковыми задуманные самодостаточные модернистские строения расценивались им как антихудожественное явление. Он написал книгу о том, какие свойства градостроительной ситуации приводят к композиционной разобщенности рядом стоящих строений, а какие параметры элементов, вовлеченных в один контекст, делают его ткань застройки целостней. Это позволяет определить конфигурацию и статус части в структуре целого. В исходной ситуации архитектор включается в природное окружение, а творящие после него должны реагировать своим строением на сложившийся архитектурный контекст [10]. Альберт Эрих Бринкман анализирует пример несогласованности Кельнского собора с контекстом, в который его поместили при строительстве. Вся существующая, исторически сложившаяся застройка, прилега-

ющая к площадке строительства, предварительно была снесена. Результатом стало то, что после окончания строительства, собор оказался на пустыре. Для вертикально задуманной композиции готического храма обязательным условием выразительного восприятия необходимо ограничение расстояния плотной рядовой застройкой [11]. Во второй половине XX в. приверженцами формирования непрерывной городской ткани можно назвать таких архитекторов-исследователей, как Колин Роу, Фред Кеттер, Стивен Кент Петерсон и Барбара Литтенберг [12–14]. Творческий метод строится на глубоком анализе закономерностей «градостроительного ковра» и выявлении его элементов. Далее, на основе полученных структурно-пространственных параметров ткани, новыми включениями продлить ее (рис. 2). При обобщении градостроительных форм, которые обладают цельностью и легкой узнаваемостью, применяют термин «поля». В «поле» характерны четкие грани ткани и ярко выраженные центры.



**Рис. 2. Творческий метод включения объектов в контекст архитекторов:
 С.К. Петерсон, Б. Литтенберг, П. Эйзенман, Р. Майер**
**Fig. 2. The creative method of incorporating objects into the context of architects:
 S.K. Peterson, B. Littenberg, P. Eisenman, R. Mayer**

В 1975 г. Колин Роу и Фред Кеттер опубликовали исследование про подход к проектированию городской ткани в виде сложносочиненного коллажа. Сложность заключается не только в морфологических нестыковках разновременной ткани, но и в семиотических конструкциях городской среды [12, 13].

Городская среда состоит из улиц, площадей и ткани застройки. По структуре, градостроительная ткань меняется от упорядоченной до спорадической. У ткани имеются переменные свойства: степень упорядоченности, баланс «массы» и «пустоты», масштаб и тиражирование. К свойствам ткани отнесена такая характеристика, как зернистость, которая зависит от частоты улиц и размеров кварталов. К базовым пространственным элементам Стивен Кент Петерсон и Барбара Литтенберг относят площади и улицы. Главным упорядочивающим элементом является улица. Она структурирует и соединяет части «поля». Площадь популярна по своим свойствам улице. Площадь – пересечение нескольких улиц в одной точке.

В качестве базового инструмента в работе с тканью застройки используется «сегмент». Это сложносоставной массив из отдельных строений. Ему присущи различные габариты и геометрические параметры. У «сегмента» имеется пространственное ядро, обеспечивающее ему объединяющую части составляющую. Внешняя поверхность квартала неразрывно связана с его внутренним пространственным ядром. Стивен Кент Петерсон и Барбара Литтенберг в своей профессиональной деятельности стремятся к тому, чтобы перечень традиционных городских морфотипов был восстановлен.

Модернистская традиция отрицает преемственность морфотипов, уместных в контексте исторически сложившихся городов. Для среднего подхода, явные контуры, отделяющие одно строение от другого, противопоказаны. В этом смысле модернистский постулат «форма следует функции» не подойдет, потому что он разделяет потенциальное целое на части, а не объединяет в непрерывную ткань.

Основой актуального градостроительства необходимо сделать реконструкцию исторически сложившегося города, преемственно формирующей и регулирующей его массо-пустотные отношения и геометрические параметры. Образная составляющая проектируемой среды определяется контекстом.

Город «непрерывного урбанизма» предполагает создание многоуровневой структуры. Здесь важны идеи об общественных пространствах, планировании и картографии. Это сложная система, содержащая элементы случайности и хаоса.

Подлинная ценность этого города проявляется в его способности представлять собой уникальный коллаж, способный успешно решать сложные задачи реконструкции. Не столько важно, где строить здания, сколько значимости придать общественным пространствам – архитектурное решение следует из самой структуры города.

Взаимодействие уже существующих и планируемых участков городской ткани требует определенной методики, вовлекающей разные аспекты, а не только архитектурные. Осознанный выбор заключается в использовании сложных форм взаимодействия масс и пустот, вместо просто построек и пустых участков.

Плотность структуры способствует взаимодействию и четкому разграничению пространства, делая его более гибким, чем бездействие больших пространств. Ключевой целью является продолжение развития и строительства будущего города, который будет одновременно плотным и разнообразным [15].

Фактор навигации

Владимиром Федоровичем Кринским, Николаем Александровичем Ладовским, Лазарем Марковичем Лисицким, в начале XX в., архитектурная среда трактовалась как взаимосвязанная система, которая должна ориентировать человека в городской застройке [16–21]⁶. Современные включения в исторически сложившийся контекст застройки должны были органично артикулировать пространственную ситуацию как отдельных его частей, так и города в целом, в зависимости от статуса постройки. Архитекторы-рационалисты работали с пространственной структурой города только в современной стилистике, исключая малейшие реплики стилистических заимствований.

Диалог с существующей исторической средой города выстраивался на филигранной работе с пространством. Роли места в пространственной структуре города отводилось особое

значение. Экспериментируя и исследуя возможности своего творческого метода, рационалисты тщательно прорабатывали «узлы» структуры градостроительной ткани, выявляя «ориентирующие качества» формы проектируемых объектов (рис. 3). Проект небоскреба архитектора Владимира Федоровича Кринского всецело продиктован контекстом – Лубянской площадью [22]. Отрабатывался статус места и его ориентационное предназначение по отношению к ситуации в целом. Случайный выбор места для строительства американских небоскребов рационалистами нещадно критиковался [22]. Доминирующая вертикаль в ткани города – контрастный средовой инструмент рационалистов. Если на градостроительном уровне инструментом рационалистов выступал ориентирующий фактор, то на уровне средового восприятия с близкого расстояния важнейшим инструментом творческого метода выступала тектоника поверхностей, направленная на гравитацию строения. Знаковым явлением в мировой архитектуре стал проект восьми «парящих небоскребов» Лазаря Марковича Лисицкого в г. Москве. Ориентирующее предназначение строения требует информативного для горожан формообразования. Им были запроектированы лапидарные, пространственные структуры Ч-образного очертания, на вертикально вытянутых лаконичных объемах, которые размещались в узлах пересечения радиусов с кольцом вокруг исторического ядра города. В узлах были задуманы площади со статусными административными функциями [23]. Драматургия восприятия проектируемых небоскребов мыслилась исходя из параметров восприятия с четырех разных локаций. Двигаясь к центральному ядру города, пешеход видит парящую «стрелу», устремляющую его взор в сторону Кремля. Направляясь из центра, небоскреб визуально читается как «ворота». Все восемь небоскребов запроектированы с уникальным цветовым решением.

Принципиальным моментом творческого метода рационалистов можно считать собственный подход к контекстуальному проектированию. Это подтверждается открытым письмом, отправленным Моссовету с заголовком «Дома или улицы». В нем подчеркивается, что за последние четыре года случайным образом было перекрашено целых 15 % фасадов в г. Москве. Необходимо отметить отсутствие заранее разработанного плана, четкой концепции или единого управления данным процессом [24].

⁶Прокудин А.Н. Историческая среда города в концепциях архитектурного формообразования XX в. дис. ... канд. ист. наук. Улан-Удэ, 2006. 25 с.

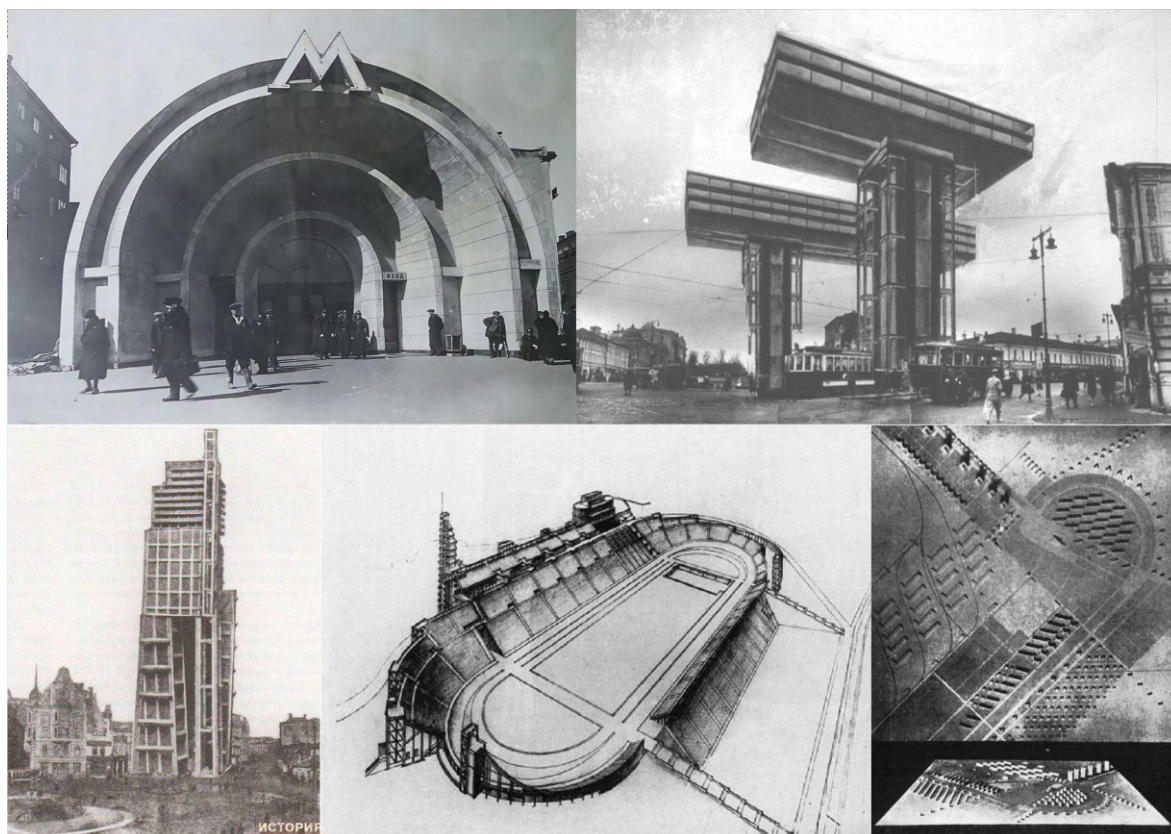


Рис. 3. Творческий метод включения объектов в контекст архитекторов:
Н.А. Ладовский, Л.М. Лисицкий, В.Ф. Кринский
Fig. 3. Creative method of incorporating objects into the context of architects:
N.A. Ladovsky, L.M. Lisitsky, V.F. Krinsky

Сходство по формальным признакам

Архитекторами-постмодернистами (Роберт Вентури, Леон Крие, Роб Крие, Альдо Росси, Джеймс Стерлинг и др.), во второй половине XX в., в качестве инструмента, способствующего интеграции новых строений с историческим контекстом, использовался «обобщенный формализованный образ городского пространства» (рис. 4).

В прилегающей застройке заимствовались исторически сложившиеся шаблоны пространственной структуры (формализованные морфотипы сложившейся застройки).

В определенной степени ироничная и виртуозная интерпретация исторических образов в проектируемых строениях способствовала преемственности и обеспечивала целостность восприятия сложившихся строений с вновь возводимыми [15, 24–28].

Отношение к городскому каркасу

Московскими архитекторами Алексеем Эльбрусевичем Гутновым и Михаилом Васильевичем Посохиным ткань застройки дифференцировалась по принадлежности к градо-

строительному каркасу. о их теории, в том случае, если ткань имеет отношение к структурному каркасу (общественная застройка), то она должна уплотняться, если ткань не часть каркаса (жилище), ее следует разуплотнять.

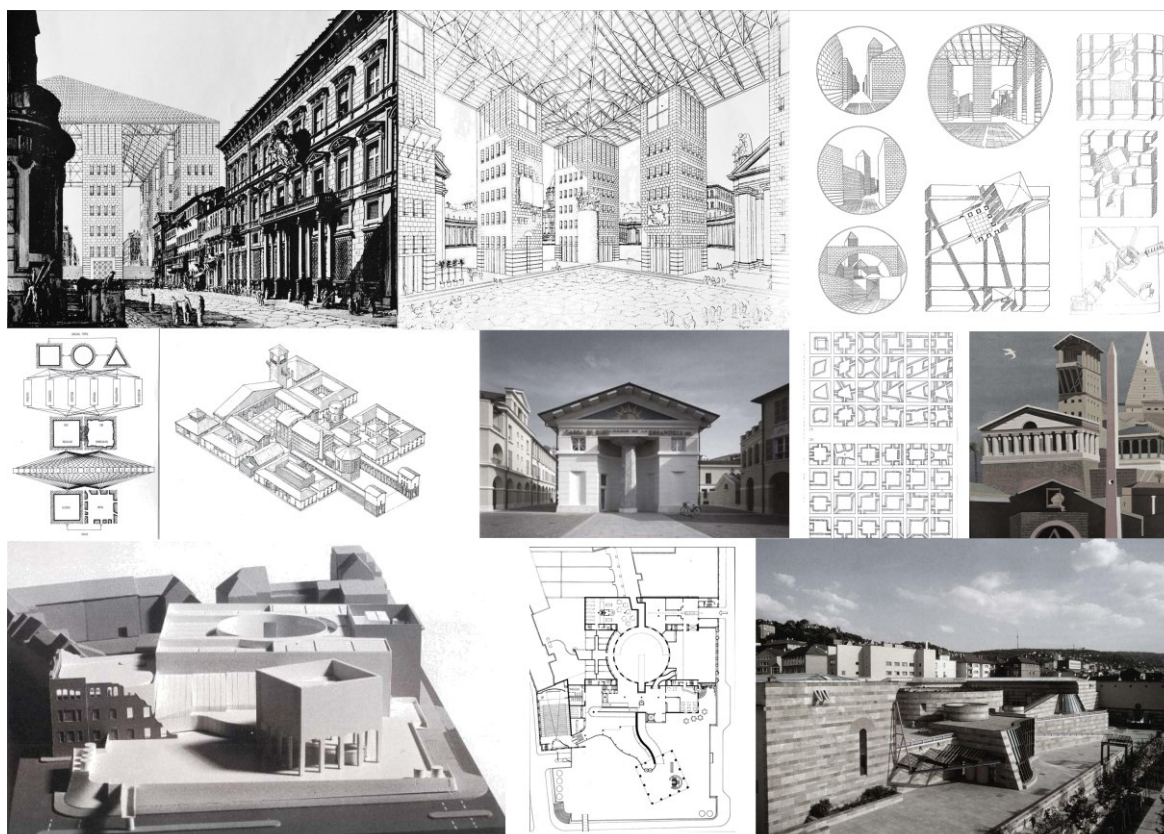
Мероприятия, проводимые в рамках реконструкции исторически сложившейся архитектурной среды, определяются его структурно-функциональным содержанием.

Алексей Эльбрусевич Гутнов выделил два базовых компонента градостроительной формы:

- структурный каркас города (места концентрации функций городского значения);
- ткань застройки.

Для первого компонента (каркаса) необходимо обеспечивать непрерывную, пронизываемую в нужных направлениях концентрированную коммуникационную структуру с застройкой высокой плотности.

Следует отметить, что требуется реализовать при реконструкции – разграничение городской среды на два компонента – «каркас» и «ткань».



**Рис. 4. Творческий метод включения объектов в контекст архитекторов:
Л. Крие, Р. Крие, Д. Стерлинг**

**Fig. 4. The creative method of incorporating objects into the context of architects:
L. Krie, R. Krie, D. Sterling**

Далее, «каркас» следует насыщать застройкой общественного назначения (уплотнять), а «ткань» жилых дворов разуплотнять.

Что касается методики включения современной архитектуры в историческую ткань города, то прежде всего необходимо соблюдать социальную соразмерность пространства. Рассматривать историческую среду необходимо в целом, а не отдельными памятниками.

Главной проблемой строительства в эволюционно сложившейся исторической среде является нарушение масштаба «места» современными постройками. Также отсутствуют взаимодействия архитектуры и объемно-пространственных параметров.

К исторической среде следует относиться как к непрерывному и целостному образованию, не выделяя из него отдельные ценные объекты (памятники). Изначально каждое строение (памятник) вне среды архитекторами не задумывалось. Поэтому, его нельзя отрывать от исторически присущего контекста.

Ценность представляет не только отдельное строение или ансамбль, а их совокупность – целостный фрагмент городской среды (градостроительная ткань).

Для этого необходимо вести застройку в контексте архитектурных и функциональных закономерностей, строго выдерживать сложившиеся линии застройки, следовать этажности среды, соблюдать масштаб застройки, реагировать на стилистические наслоения среды, восстанавливать с аутентичной точностью утраченные части исторического контекста, корректировать транспортную схему места, если она вступает в конфликт с исторической средой [35].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа на выявление методов включения новых объектов в сложившуюся городскую ткань в процессе реконструкции, выявлено девять основных подходов, которые можно обобщить до двух принципиальных:

1. Первый подход основан на организации пространственной структуры и формировании форм.

Подход к интеграции новых застроек в исторические кварталы придается в аспекте сохранения целостности ткани города, причем функциональное назначение отдельных зданий является второстепенным. Основные

черты этого подхода включают непрерывность и гармонию городской ткани, использование исторической среды в качестве системы ориентации, схожесть в морфологии, а также интеграцию в общую структуру.

2. В рамках второго подхода изучаются пространственные характеристики в качестве архетипов, при этом осуществляется анализ их социально-функциональных и когнитивных аспектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зитте. К. Художественные основы градостроительства. М.: Стройиздат, 1993. 255 с.
2. Габричевский А.Г. Морфология искусства. М.: Аграф, 2002. 864 с.
3. Hillier B., Hanson J. The Social Logic of Space. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 1984. 275 p.
4. Hillier B. The Space Is the Machine. A Configurational Theory of Architecture. The Bartlett, University College London: Space Syntax, 2015. 370 p.
5. Крашенинников А.В. Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды: монография. Серия «Наука». М.: КУРС, 2020. 210 с.
6. Крашенинников А.В. Топология и структура городской среды // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАРХИ. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 04–08 апреля 2016 г.). М.: 2016. С. 300–303. EDN: YALMZF.
7. Крашенинников А.В. Мезо-пространства городской среды // Архитектура и современные информационные технологии. 2015. № 4 (33). С. 1–4. EDN: VARXXF.
8. Крашенинников А.В. Макро-пространства городской среды // Архитектура и современные информационные технологии. 2016. № 3 (36). С. 1–12. EDN: WQRXXN.
9. Большаков А.Г. Культура пространственных решеток в архитектуре и градостроительстве: монография. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2021. 260 с. EDN: XCLKXV.
10. Гильдебранд А. Проблема формы в изобразительном искусстве и собрание статей. М.: Логос. 105 с.
11. Бринкман А.Э. Площадь и монумент как проблема художественной формы. М.: ЛКИ, 2010. 296 с.
12. Роу. К., Кеттер Ф. Город коллаж. М.: Strelka Press, 2018. 208 с.
13. Row C., Koetter F. Collage City. Cambridge, Massachusetts, London: The MIT Press, 1978. 185 p.
14. Петерсон. С.К., Литтенберг В.М. Эссе. Цели и средства городского дизайна // Architectural Design Magazine. 1980. № 9/10. С. 4.
15. Петерсон С. К. Тактика городского дизайна // Architectural Design Magazine. 1978. С. 4.
16. Хазанова В.Э. Советская архитектура первой пятилетки. М.: Наука, 1980. 373 с.
17. Хан-Магомедов С.О. Дискуссия в ИНХУКе о соотношении конструкции и композиции (январь–апрель 1921 г.) // Труды ВНИИТЭ. Техническая эстетика. 1979. № 20. С. 47–60.
18. Хан-Магомедов С.О. Две концепции архитектурного пространства на этапе становления советского дизайна // Труды ВНИИТЭ. Техническая эстетика. 1981. № 29. С. 95–111.
19. Хан-Магомедов С.О. Разработка теоретических проблем композиции во ВХУТЕМАСе и ВХУТЕИНе (1923–1930 гг.) // Труды ВНИИТЭ. Техническая эстетика. 1982. № 34. С. 39–54.
20. Хан-Магомедов С.О. Было бы что анализировать... Творческие концепции формообразования в советской архитектуре // Строительная газета. 1982. № 10/520. С. 4–6.
21. Хан-Магомедов С.О. Николай Ладовский: Пионеры советской архитектуры. М.: Знание, 1984. 64 с.
22. Хан-Магомедов С.О. Проблемы формообразования: мастера и течения. М.: Стройиздат, 1996. 709 с.
23. Кринский В.Ф. Небоскреб на Лубянской площади // Известия АСНОВА. 1926. С. 4.
24. Лисицкий Л.М. Серия небоскребов для Москвы // Известия АСНОВА. 1926. С. 2–3.
25. Кринский В.Ф. Дома или улицы? Открытое письмо Моссовету // Известия АСНОВА. 1926. С. 6.
26. Krier L. The Blind spot // Architectural Design. 1978. Iss. 4. P. 219–222.
27. Krier L. Noll: setor XI1 // Architectural Design. 1979. Iss. 3-4. P. 84–104.
28. Krier L. Law and Disorder // Architectural Design. 1978. Iss. 11-12. P. 84–87.
29. Krier L. Typological and morphological elements of the concept of urban space // Architectural Design. 1979. P. 2–17.
30. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. М.: Стройиздат, 1984. 256 с.

REFERENCES

1. Zitte. K. *Artistic Foundations of Urban Planning*. Moscow: Stroyizdat, 1993. 255 p. (In Russ.).
2. Gabrichevskii A.G. *Morphology of Art*. Moscow: Agraf, 2002. 864 p. (In Russ.).

3. Hillier B., Hanson J. *The Social Logic of Space*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 1984. 275 p.
4. Hillier B. *The Space Is the Machine. A Configurational Theory of Architecture*. The Bartlett, University College London: Space Syntax, 2015. 370 p.
5. Krasheninnikov A.V. *Cognitive Urban Studies: Archetypes and Prototypes of the Urban Environment: Monograph. Series «Science»*. Moscow: KURS, 2020. 210 p. (In Russ.).
6. Krasheninnikov A.V. Topology and Structure of the Urban Environment. In: *Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie. Trudy MARKhI. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Science, Education and Experimental Design. Proceedings of The Moscow Architectural Institute. Materials of The International Scientific and Practical Conference*. 04–08 April 2016, Moscow. Moscow, 2016. p. 300–303. (In Russ.). EDN: YALMZF.
7. Krasheninnikov A.V. Meso-Spaces of The Urban Environment. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2015;4(33):1-4. (In Russ.). EDN: VARXXF.
8. Krasheninnikov A.V. Macro-Spaces of Built Environment. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2016;3(36):1-12. (In Russ.). EDN: WQRXXN.
9. Bol'shakov A.G. *The Culture of Spatial Grids in Architecture and Urban Planning: Monograph*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2021. 260 p. (In Russ.). EDN: XCLKXV.
10. Gil'debrand A. *The Problem of Form in Fine Arts and A Collection of Articles*. Moscow: Logos. 105 p. (In Russ.).
11. Brinkman A.E. *Square and Monument as A Problem of Artistic Form*. Moscow: LKI, 2010. 296 p. (In Russ.).
12. Rou. K., Ketter F. *City Collage*. Moscow: Strelka Press, 2018. 208 p. (In Russ.).
13. Row C., Koetter F. *Collage City*. Cambridge, Massachusetts, London: The MIT Press, 1978. 185 p.
14. Peterson. S.K., Littenberg V.M. Essay. Goals and Means of Urban Design. *Architectural Design Magazine*. 1980;9/10:4. (In Russ.).
15. Peterson. S.K. Urban Design Tactics. *Architectural Design Magazine*. 1978:4. (In Russ.).
16. Khazanova V.E. *Soviet Architecture of the First Five-Year Plan*. Moscow: Nauka, 1980. 373 p. (In Russ.).
17. Khan-Magomedov S.O. Discussion at INKHUK About the Relationship Between Design and Composition (January–April 1921). *Trudy VNIITE. Tekhnicheskaya estetika*. 1979;20:47-60. (In Russ.).
18. Khan-Magomedov S.O. Two Concepts of Architectural Space at The Formation Stage of Soviet Design. *Trudy VNIITE. Tekhnicheskaya estetika*. 1981;29:95-111. (In Russ.).
19. Khan-Magomedov S.O. Development of Theoretical Problems of Composition at VKHUTEMAS and VKHUTEIN (1923–1930). *Trudy VNIITE. Tekhnicheskaya estetika*. 1982;34:39-54. (In Russ.).
20. Khan-Magomedov S.O. It Would Be Something to Analyze... Creative Concepts of Shape Formation in Soviet Architecture. *Stroitel'naya gazeta*. 1982;10/520:4-6. (In Russ.).
21. Khan-Magomedov S.O. *Nikolai Ladovsky: Pioneers of Soviet architecture*. Moscow: Knowledge, 1984. 64 p. (In Russ.).
22. Khan-Magomedov S.O. *Problems of Shaping: Masters and Trends*. Moscow: Stroyizdat, 1996. 709 p. (In Russ.).
23. Krinskii V.F. Skyscraper on Lubyanka Square. *Izvestiya ASNOVA*. 1926:4. (In Russ.).
24. Lisitskii L.M. A Series of Skyscrapers for Moscow. *Izvestiya ASNOVA*. 1926:2-3. (In Russ.).
25. Krinskii V.F. Houses or Streets? Open Letter to The Moscow City Council. *Izvestiya ASNOVA*. 1926:6. (In Russ.).
26. Krier L. The Blind Spot. *Architectural Design*. 1978;4:219-222.
27. Krier L. Noll: Setor XI1. *Architectural Design*. 1979;3-4:84-104.
28. Krier L. Law and Disorder. *Architectural Design*. 1978;11-12:84-87.
29. Krier L. Typological and Morphological Elements of the Concept of Urban Space. *Architectural Design*. 1979:2-17.
30. Gutnov A.E. *The Evolution of Urban Planning*. Moscow: Stroyizdat, 1984. 256 p. (In Russ.).

Информация об авторе

Роман Александрович Селиванов,
кандидат архитектуры, доцент кафедры
архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
✉ e-mail: romanseliva@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4247-8622>
Author ID: 812068

Information about the author

Roman A. Selivanov,
Cand. of Architecture, Associate Professor
of the Department of Architectural Design,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉ e-mail: romanseliva@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4247-8622>
Author ID: 812068

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 03.06.2024.
Одобрена после рецензирования 17.06.2024.
Принята к публикации 25.06.2024.

Contribution of the author

Author has conducted the study, prepared the manuscript for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The author declares that there is no conflict of interest.

The final manuscript has been read and approved by the author.

Information about the article

The article was submitted 03.06.2024.
Approved after reviewing 17.06.2024.
Accepted for publication 25.06.2024.

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) 40-52-74 – Маркина Ирина Павловна, редактор.

**ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ**

Научный журнал

12+

Том 14 № 3 (50)

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.П. Маркина

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 30.09.2024. Формат 60 x 90 / 8 (А4).
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 27,80.
Тираж 500 экз. Зак. 56. 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

